



Trabajo Fin de Grado  
**Alejandro González Chamorro**

# Arquitectura Construcción y digital

Convocatoria:  
01/03/2019

Tutor:  
Jesús San José Alonso



**ETSAVA**

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA  
UNIVERSIDAD DE VALLADOLID



# Arquitectura y Construcción digital

Trabajo Fin de Grado

Autor:

**Alejandro González Chamorro**

Tutor:

Jesús San José Alonso

Convocatoria:

01/03/2019



**ETSAVA**

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA  
UNIVERSIDAD DE VALLADOLID





The background is a black and white halftone pattern. It features a perspective view of a tunnel or a series of overlapping planes that create a sense of depth and movement. The lines of the planes converge towards a vanishing point in the upper center of the image. The halftone dots are arranged in a grid that follows the perspective, becoming smaller and more densely packed as they approach the vanishing point.

**RESUMEN**

# RESUMEN

En la actual Era de la información, la **Transformación Digital** ha alcanzado todos los sectores, incluidos los de la Arquitectura, la Construcción y la Ingeniería (Industria AEC), que mediante las tecnologías habilitadoras se adaptan a la Cuarta Revolución Industrial, la **Industria 4.0**. La **Fabricación Digital** permite cerrar la brecha existente entre la tercera dimensión y la manufactura, con nuevos métodos de producción más veloces, eficientes económicos, y **sostenibles** que los medios tradicionales.

Para lograrlo disponemos de recientes tecnologías como la robótica avanzada, las Realidades Virtual y Aumentada, los Drones y la Fabricación Aditiva, junto con otras ciencias aplicadas como la Inteligencia Artificial, el *cloud computing*, o el Internet de las Cosas.

El éxito de la Arquitectura y la Construcción 4.0 nace de la combinación y el trabajo colaborativo entre todas las anteriores y la metodología BIM (*Building Information Modeling*) como nuevo paradigma de edificación en busca de las **Ciudades Inteligentes**.

# Construcción 4.0  
# BIM  
# Realidad Virtual  
# Drones  
# Fabricación Aditiva

# ABSTRACT

*In the current age of information, the Digital Transformation has reached all sectors, including Architecture, Engineering and Construction (AEC Industry). These sectors adapt to the Fourth Industrial Revolution, the Industry 4.0, through the enabling technologies. The Digital Fabrication closes the existing gap between the third dimension and manufacturing, with faster, more sustainable and economically efficient new methods of production than the traditional ones.*

*These aims can be achieved thanks to the development of recent technologies such as advanced robotics, Virtual and Augmented Reality, Drones and Additive Manufacturing, together with other applied sciences like Artificial Intelligence, cloud computing or the Internet of Things.*

*The success of Architecture and Construction 4.0 arises from the combination and collaborative effort among all the above, as well as the Building Information Modelling (BIM) methodology as a new edification paradigm in pursuit of Smart Cities.*

# Construction 4.0  
# BIM  
# Virtual Reality  
# Drones  
# Additive Manufacturing



En el presente Trabajo Final de Grado (TFG), vamos a realizar un recorrido por todas las tecnologías más punteras que desde hace relativamente muy poco se aplican con éxito en la Arquitectura y la Construcción. Desde la Fabricación Digital arquitectónica (CAD/CAM) aplicada con éxito por primera vez en el templo de la Sagrada Familia de Barcelona en 1991, hasta llegar a las Ciudades Inteligentes del futuro, estudiaremos paso a paso las tecnologías habilitadoras de la Industria 4.0 hoy por hoy utilizadas en la ingeniería de la edificación. Por el camino intentaremos no olvidarnos de mencionar y explicar todos los temas de actualidad como por ejemplo el *BlockChain*, las generaciones *Millennial* y *Centennial*, o la *Mass Customization* (Personalización Masiva).

Con ello no se pretende otra cosa que mostrar la necesidad de adoptar los preceptos y beneficios de la automatización y la digitalización en todos los ámbitos para así poder dar respuesta a las cambiantes exigencias y necesidades de nuestro mundo cambiante, haciendo sobre todo hincapié en mejorar la sostenibilidad de los medios de producción y aumentar su eficiencia.

El sector AEC (Arquitectura, Ingeniería y Construcción) se está transformando por completo, abriéndose a nuevas formas de diseño computacional y fabricación digital. La implantación de los nuevos paradigmas de la edificación resultan ya imparables, y todo aquel que no los adopte quedará fuera del terreno de juego. Como ya decía Charles Darwin: *"No es el más fuerte de las especies el que sobrevive, tampoco es el más inteligente el que sobrevive. Es aquel que es más adaptable al cambio."*

El trabajo lo desarrollaremos en cinco apartados en los que investigaremos en el siguiente orden: la robótica avanzada y el CAD/CAM (como tecnologías esenciales para la Arquitectura y la Construcción Digital); el BIM (para la gestión de cantidades masivas de datos de la edificación en una plataforma única de trabajo multidisciplinar); la Realidad Virtual y la Realidad Aumentada (herramientas que facilitan la conexión del mundo físico con el virtual); los drones (dispositivos voladores con multitud de aplicaciones diversas en el sector); y por último la Fabricación Aditiva (como medio de producción totalmente disruptivo y revolucionario). Finalmente podremos concluir en cómo la metodología BIM debe constituirse inexorablemente como común denominador a todas las anteriores tecnologías, sirviéndoles como contenedor y fuente de información.

En todos los apartados veremos cómo se repiten conceptos muy importantes como: Big Data, Inteligencia Artificial, IoT, *cloud computing*, cognitiva humana o trabajo colaborativo.

La consecución final de la aplicación de todas estas novedades resultará en las Smart Cities, nuevo arquetipo de ciudad inteligente, eficiente y sostenible, capaz de adaptarse a las necesidades de sus ciudadanos y turistas, basándose en las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) que fomentan la innovación, la productividad, la participación y la calidad de vida de forma multidisciplinar. Uno de los requisitos básicos para lograrlo es la interconexión de todo lo material entre sí y el ciberespacio, así como la optimización de los recursos y el espacio.

En ningún momento se pretende hacer una crítica destructiva hacia los medios, metodologías y profesiones tradicionales. Lo que queremos conseguir es ilustrar las numerosas tecnologías más punteras y pioneras a las que tenemos acceso hoy en día, que no han hecho otra cosa en las últimas décadas que demostrar los grandes beneficios y facilidades que nos aportan en nuestros quehaceres profesionales más rutinarios.

En especial, este TFG está dedicado a todos los lectores que desconocen de estos temas, o cuyos conocimientos al respecto son reducidos, de forma que puedan iniciarse en la revolución que a todos nos atañe y que poco a poco transformará el mundo tal y como hoy lo conocemos.

Para los ya enterados, quizá el inicio de cada apartado les podrá resultar un pesado e iterativo, en donde explicaremos partiendo de cero, de qué estamos hablando, cuáles son sus orígenes, ventajas y aplicaciones generales. Sin embargo espero que la profundización progresiva en las materias hasta llegar a los ejemplos reales y los pronósticos de futuro les resulten interesantes.

En lo personal, puedo asegurar que he disfrutado mucho aprendiendo y descubriendo estas nuevas ciencias y tecnologías aplicadas que me apasionan, y que sin duda me han servido para aclarar ideas en lo que respecta a mi futuro profesional. De la misma manera deseo que estos textos os proporcionen a vosotros los lectores, agradables sentimientos similares a los míos ante el futuro que nos espera digno de la ciencia ficción cinematográfica.





*“La mayoría de las personas viven en una época anterior, pero uno debe vivir en su propio tiempo.”*

Herbert Marshall McLuhan (1911-1980)

# ÍNDICE



# ÍNDICE

## pág. 11 **1.0 La REVOLUCIÓN 4.0**

- pág. 12 **1.1** Introducción a la Transformación Digital.  
Conceptos básicos
- pág. 15 **1.2** Industria 4.0
- pág. 17 **1.3** Fabricación Digital
- pág. 19 **1.4** Robótica
- pág. 21 **1.5** Arquitectura Digital
- pág. 24 **1.6** Construcción 4.0

## pág. 31 **2.0 EL BIM**

- pág. 32 **2.1** Qué es, usos, orígenes e implantación
- pág. 40 **2.2** Profundizando en conocimientos  
técnicos. Los LOD, las dimensiones, el  
IFC, etc.
- pág. 43 **2.3** Ventajas de la implantación BIM
- pág. 45 **2.4** Qué futuro nos depara el BIM: cambios  
en el sector AEC y la educación; las  
Smart Cities

## pág. 51 **3.0 REALIDADES VIRTUAL Y AUMENTADA**

- pág. 52 **3.1** Qué es, orígenes y aplicaciones
- pág. 57 **3.2** La Era de la información: la Realidad  
Virtual como nueva forma de  
comunicación
- pág. 60 **3.3** Aplicación en la Arquitectura y la  
Construcción 4.0
- pág. 52 **3.4** El futuro de esta tecnología

## pág. 67 **4.0 LOS DRONES**

- pág. 68 **4.1** Qué son, orígenes y aplicaciones
- pág. 74 **4.2** Ventajas y aplicaciones actuales en la  
Industria AEC
- pág. 82 **4.2.1** Investigaciones actuales, aplicaciones  
del futuro
- pág. 88 **4.3** Los drones construyen nuestro futuro
- pág. 91 **4.4** BIM + Drones

## pág. 93 **5.0 FABRICACIÓN ADITIVA**

- pág. 94 **5.1** Qué es y cuáles son sus orígenes
- pág. 97 **5.2** Tipos
- pág. 101 **5.3** Aplicaciones y ventajas
- pág. 101 **5.3** Aplicaciones y ventajas
- pág. 108 **5.3.1** Ventajas, aplicaciones y ejemplos en la  
Arquitectura y la Construcción Digital
- pág. 132 **5.4** Trabajo colaborativo con BIM
- pág. 134 **5.5** Qué futuro nos depara su uso

## pág. 146 **6.0 CONCLUSIONES**

## pág. 148 **7.0 BIBLIOGRAFÍA**



# **GLOSARIO DE TÉRMINOS UTILIZADOS**

# GLOSARIO DE ACRÓNIMOS UTILIZADOS

- AEC** » *Architecture, Engineering and Construction Industry.* -Industria de la Arquitectura, Ingeniería y Construcción- en español.
- AM** » *Additive Manufacturing.* -Fabricación Aditiva- en español.
- AR** » *Augmented Reality.* -Realidad Aumentada- (RA) en español.
- BIM** » *Building Information Modeling.* En español puede traducirse como Modelo de Información del Edificio.
- BEP o BIM EP** » *BIM Execution Plan.* En español se le puede llamar PEB "Plan de Ejecución BIM".
- CAD** » *Computer Aided Design.* -Diseño Asistido por Computadora- en español.
- CAM** » *Computer Aided Manufacturing.* -Fabricación Asistida Computacionalmente- en español.
- CC** » *Contour Crafting.* -Elaboración por Contornos- en español. Una de las primeras tecnologías de FA aplicadas a la construcción desarrollada por el Dr. Ing. Behrokh Khoshnevis.
- CNC** » *Computer Numerical Control.* -Control Numérico por Computador- en español. Sistema de automatización de maquinaria que es operada con comandos programados digitalmente.
- COBie** » *Construction Operation Building Information exchange.* Extensión del formato IFC de BIM para la gestión y administración de las operaciones de mantenimiento durante la vida útil de una edificación.
- CPS** » *Cyber Physical System.* -Sistemas Ciberfísicos- en español.
- DFMA** » *Design for Manufacture and Assembly.* -Diseño para Fabricación y Montaje- en español.
- EIR** » *Employer's Information Requirements.* Documento que recoge las necesidades del cliente en un proyecto BIM.
- ERP** » *Enterprise Resource Planning.* -Sistemas de Planificación de Recursos Empresariales- en español.
- FA** » Fabricación Aditiva.
- FDM** » *Fused Deposition Modeling.* -Modelado por Deposición Fundida- en español. Un tipo de FA y RP.
- I4.0** » Industria 4.0 como sinónimo de la Cuarta Revolución Industrial.
- IFC** » *Industry Foundation Classes.* Formato estándar para el intercambio de datos de un modelo de información, independientemente del software utilizado y que permite la interoperabilidad dentro del sector de la construcción propia de la metodología BIM.
- IMU** » *Inertial Measurement Unit.* -Unidad de Medición Inercial- en español. Dispositivo utilizado para maniobrar drones y otras aeronaves que permite medir su velocidad, orientación y fuerzas gravitacionales.
- IoT** » *Internet of Things.* -Internet de las Cosas- en español.
- ITE** » Inspección Técnica de Edificios.
- LIDAR** » *Light Detection and Ranging o Laser Imaging Detection and Rangin.* Tecnología de medición y escaneado láser.
- LOD** » *Level Of Development.* -Nivel De Desarrollo- de un proyecto BIM o alguna de sus partes o elementos.
- LOI** » *Level Of Information.* Información no modelada de un proyecto BIM.
- MDE** » Modelo Digital de Elevaciones.
- MDT** » Modelo Digital del Terreno.
- MET** » *Model Element Table.* -Tabla de Elementos Modelados- en español. Establece los LOD exigidos en un proyecto BIM.
- RP** » *Rapid Prototype.* -Prototipado Rápido- en español.

- RPA » *Remotely Piloted Aircraft*. -Aeronave Pilotada Remotamente- en español, una de las denominaciones más populares para los drones.
- SLS » *Selective Laser Sintering*. -Sinterizado Selectivo por Láser- en español. Un tipo de FA y RP.
- STL » *Stereolithography*. -Estereolitografía- en español. Otro tipo de FA y RP. También sirve para denominar un formato de archivo CAD apto para esta tecnología, el *Standard Triangle Language*.
- TIC » Tecnologías de la Información y la Comunicación (ICT en inglés).
- UA » *Unmanned Aircraft*. -Aeronave No Tripulada- en español. Denominación genérica para los drones más profesional, que no especifica si está tripulada remotamente o es autónoma.
- UAS » *Unmanned Aerial System*. -Sistema Aéreo No Tripulado- en español. Denominación utilizada en el ámbito de los drones para referirse al sistema en vez de la propia aeronave.
- UAV » *Unmanned Aerial Vehicle*. -Vehículo Aéreo No Tripulado- en español. Otra de las denominaciones en desuso para los drones.
- VANT » Vehículo Aéreo No Tripulado. Denominación para los drones, ya en desuso.
- VCM » *Virtual Construction Model*, o Modelo de Construcción Virtual en español.
- VOXEL » *Volumetric Pixel* en inglés. Unidad mínima que compone un objeto tridimensional físico o virtual. Equivalente al pixel en una imagen 2D. Aplicado a la FA corresponde a la resolución de la impresión, al elemento más pequeño que la máquina puede imprimir.
- VR » *Virtual Reality*. -Realidad Virtual- en español.



En el desarrollo de este trabajo iremos ilustrando la obra francesa realizada por Jean-Marc Côté y otros artistas denominada *En L'An 2000* (En el año 2000). Se trata de una serie de postales realizadas a finales del s. XIX y principios del XX en las que representan cómo se imaginan que serán los avances científicos y tecnológicos en el año 2000.

En esta ilustración podemos ver (en relación con el apartado que vamos a desarrollar a continuación) su predicción muy acertada sobre cómo sería la Construcción en nuestro siglo mediante maquinaria controlada remotamente.



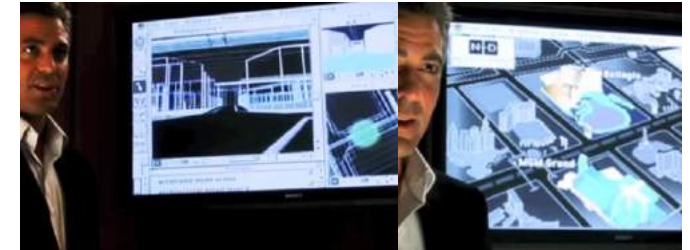




10

**LA REVOLU-  
CIÓN 4.0**

# Introducción a la Transformación Digital. Conceptos básicos



Películas aparte, la existencia de ese modelo virtual que contiene toda la información del edificio, todos los planos, los materiales con los que está construido, su programa, dimensiones, superficies y mediciones, todas las instalaciones que integra, su funcionamiento, etc., no es cosa de ciencia ficción, sino que se trata de algo tan real y actual como lo es el **BIM** (*Building Information Modeling*), sistema de generación y gestión de datos que si aún no termina de quedarte muy claro qué es, lo entenderás a la perfección con el desarrollo de este trabajo. El objetivo del BIM y su aplicación para proyectar un edificio mediante la recolección, análisis, interpretación y almacenado de millones de datos y parámetros en un modelo virtual para su uso durante todas sus etapas. Junto a la integración de otras tecnologías, instalaciones, sensores y sistemas que permiten al edificio sentir, percibir el entorno físico y responder ante él gestionando y automatizando todas sus funciones, ese objetivo es el de lograr un edificio inteligente o *Smart Building*. Y el objetivo final no se queda en un solo edificio, sino en las ciudades al completo, o *Smart Cities*, basadas en la sostenibilidad y las tecnologías digitales que les permiten adecuarse a las cambiantes necesidades de sus habitantes.

Pensemos por un momento las películas de ciencia ficción donde un grupo de ladrones muy profesionales se preparan para asaltar y robar un edificio. Un banco o un gran casino por ejemplo. Proyectan como esquivar todas las barreras de seguridad, planificando meticulosamente todas sus posiciones y desplazamientos hasta llegar al botín, y su posterior huida sin dejar rastro. Para organizarse visualizan el edificio en tres dimensiones sobre grandes pantallas sobre las que interactúan directamente con las manos. En estas pantallas son capaces de manipular con total naturalidad el modelo virtual edificio, seccionándolo en numerosos puntos para ver cada una de las plantas, las comunicaciones interiores los recorridos de evacuación; añadiendo o suprimiendo capas para conocer la estructura o por dónde circulan las instalaciones del edificio por las que se pueden colar sin ser vistos.

Figuras 1 y 2: *Ocean's 11*, film del año 2001. Ladrones planeando un atraco con modelos virtuales del edificio. Obtenidas de: <https://www.youtube.com>

<sup>1</sup> Iron Man es un superhéroe ficticio creado por el escritor y editor Stan Lee que aparece en los cómics de Marvel Comics y en la saga de películas de Marvel Cinematic Universe.

Pensemos nuevamente en otras películas de ciencia ficción, por ejemplo en la saga de Iron Man<sup>1</sup> en las que su protagonista Tony Stark, un empresario y científico multimillonario que fabrica armaduras robóticas inteligentes con las cuales lucha contra el mal. Obviando toda la trama de la película, quiero que nos quedemos con los momentos en los que Stark fabrica esas armaduras en el taller de su casa. Diseña computacionalmente todas las piezas, su ensamblaje y funcionamiento, que acto seguido una serie de brazos robóticos fabrican autónomamente con total sencillez. Una vez fabricadas las armaduras, éstas pueden ser controladas o pilotadas presencial o remotamente. En algunas ocasiones podemos ver a un numeroso grupo de ellas trabajando en grupo colaborativa y coordinadamente.

Todo esto nos sirve para introducir unos cuantos temas que vamos a desarrollar también en este trabajo, como son: el dibujo asistido computacionalmente -cuando diseña las piezas-, la fabricación digital y el CAM (*Computer Aided Manufacturing*, Fabricación Asistida Computacionalmente) -los brazos robóticos que fabrican las piezas a partir del diseño anterior-, los drones -armaduras (vehículos o artefactos) controlados remotamente para realizar alguna labor-, las realidades virtual y aumentada -la interfaz a través de la que Tony interactúa con las armaduras y trabaja en el taller- y por último los enjambres de robots -las armaduras robóticas trabajando en conjunto coordinadamente para lograr un objetivo concreto-.



Como podemos ver las películas futuristas de hace unos años siempre nos han mostrado tecnologías nada desacertadas que

finalmente casi siempre terminan por cumplirse: vehículos que conducen solos, coches voladores, ciudades verticales e inteligentes, robots autónomos, realidad virtual, la modificación genética, la biología sintética, etc. Y es que como dijo el informático estadounidense Alan Kay en 1972 "*La mejor forma de predecir el futuro es inventarlo*". Los videojuegos y el cine nos han permitido liberarnos de todas las limitaciones, barreras y prejuicios de la época en la que vivimos, nos han permitido imaginar y diseñar libremente nuestro futuro. El resultado visualizado por millones de personas queda impregnado en sus mentes a modo de imaginario colectivo, de forma que cuando la tecnología avanza y se desarrolla, cuando disponemos de los medios para innovar e inventar nuevos artilugios y nuevos medios, no los inventamos sino que tendemos a fabricar lo que ya teníamos inculcado previamente en nuestras mentes. La ficción nos permite focalizar nuestra imaginación hacia un objetivo concreto, y constituye sin duda un excelente campo de pruebas en el que testar y visualizar cambios y tecnologías sin tener que hacerlo en el mundo real poniendo en peligro nuestra seguridad.

Vivimos en un momento fascinante de la historia, similar al descubrimiento del fuego, de la rueda, de la electricidad o de la radio. Estamos viviendo el final de una era y el comienzo de otra, presenciando la transformación de nuestro mundo, muy acostumbrados a ver como la tecnología evoluciona con pasos de gigante, mucho más grandes de lo que nosotros podemos dar. Por eso tenemos la necesidad de adaptarnos a estos cambios, con agilidad y flexibilidad, de reaprender a pensar, hacer y utilizar las cosas de formas totalmente novedosas. La transformación digital es el proceso por el que estamos reinventando los medios de producción, los métodos de trabajo y nuestra forma de vivir la vida, desde las rutinas más banales a las actividades más complejas. La tecnología es una herramienta que hemos inventado las personas para simplificarlos y facilitarlos nuestro día a día. Y no es algo a lo que tengamos que temer, forma parte de nuestra evolución como especie, de nuestra condición humana que nos mueve siempre hacia delante con el objetivo de sobrevivir y trascender nuestra existencia. Antes por ejemplo tomábamos los apuntes en papel, pero ahora los podemos tomar digitalmente, subirlos a la nube y disponer de ellos en cualquier momento y en cualquier lugar. Hoy en día no concebimos un trabajador que no tenga conocimientos en informática y Office que le permiten mejorar su eficiencia y

Figura 1: Tony Stark en la película de Iron Man, pilotando y controlando su armadura a través de Realidad Aumentada. Obtenida de: <https://inspirandotalento.com>

Figuras 2-4: trabajo asistido por brazos robóticos en el taller de Tony Stark. Obtenidas de: <https://www.youtube.com>

Figura 1: Obtenida de: <https://pxhere.com>

<sup>2</sup> ARQUITECTURAVA. (Julio de 2017). Revista del Colegio de Arquitectos de Valladolid. BIM Metodología: presente y futuro de la arquitectura (9.) MIC. *Arquitectos de la modernidad en Valladolid*. Roberto Valle, 59.

<sup>3</sup> *Cyborg* del acrónimo inglés *cyber* y *organism*, organismo cibernético. Organismo que integra dispositivos cibernéticos para mejorar sus capacidades y garantizar su supervivencia en entornos hostiles mediante el uso de tecnología. Comúnmente utilizado para referirnos a sistemas hombre-máquina. Por ejemplo una persona con marcapasos o un audifono es considerada *cyborg*.

<sup>4</sup> Los *millennials* o Generación Y, concepto utilizado para referirse a la generación de personas nacidas más o menos entre mediados de los 80 y mediados de los 90 que han llegado a su edad adulta después del 2000, asociada al uso y la familiaridad con los medios de comunicación y las tecnologías digitales. También conocida por ser la primera generación nacida en la era de Internet.

<sup>5</sup> Los *centennials* o Generación Z, es la generación siguiente a la Y. Pertenecen a esta los nacidos desde finales de los 90 hasta principios del segundo milenio. Estos se caracterizan por, a diferencia de los *millennials* (han tenido que acostumbrarse a los cambios tecnológicos) por haber nacido directamente dentro de esta era digital con la que se encuentran totalmente familiarizados. Más creativos e innovadores, independientes, autodidactas y más comprometidos con la sostenibilidad.

productividad. El trabajador actual debe *estar al día en las tecnologías, conocerlas y actualizarlas continuamente. Tienen grandes posibilidades y sería un craso error no aprovecharlas. Son las herramientas de este momento.*<sup>2</sup>

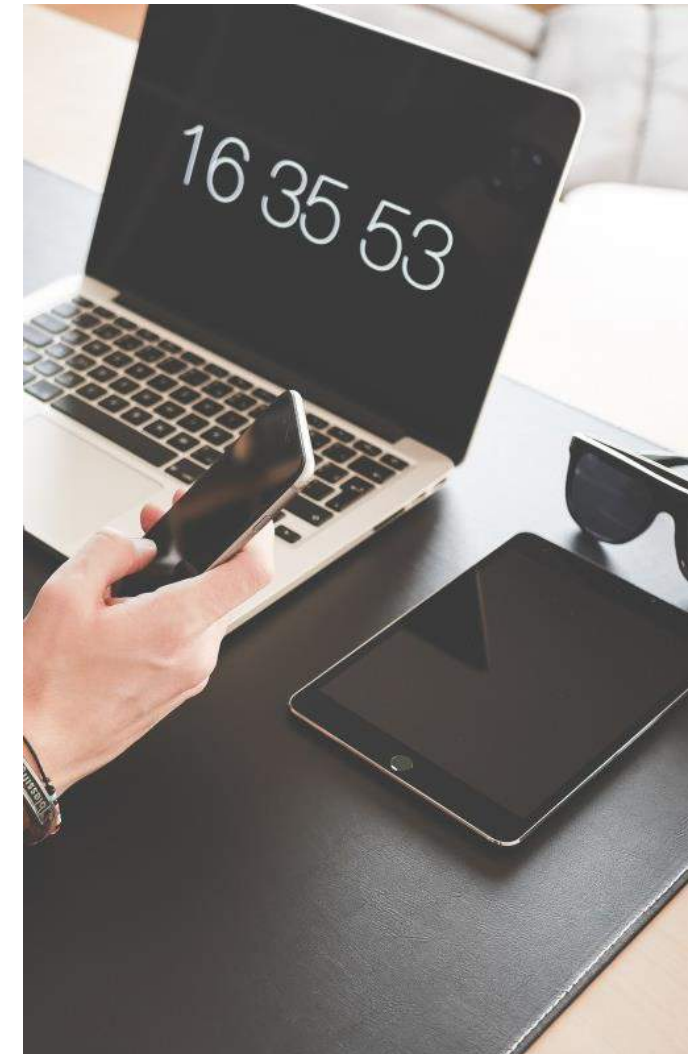
La digitalización actualmente es omnipresente, vivimos en la era de las pantallas: ordenadores personales, Smart Phones, Smart TV, Smart Watches, Tablets, hasta los dispositivos más simples también integran pantallas con las que interactuar. Somos *cyborgs*<sup>3</sup>, la cibernética se ha convertido en una extensión de nuestros cuerpos. Utilizamos nuestros Smart Phones para casi absolutamente todo: comunicarnos, tomar fotos, despertador, comprar, pedir un taxi, leer y culturizamos, entretenimiento, música, controlar la domótica de nuestras casas, etc.

Los *millennials*<sup>4</sup> hemos crecido acostumbrados a continuos cambios y al surgimiento de nuevas tecnologías emergentes, a las que hemos aprendido a adaptarnos con inmediatez y flexibilidad, incorporándolas a nuestra vida y trabajo. Los *centennials*<sup>5</sup> sin embargo ya han crecido familiarizados con ellas, dan por hecho su presencia extendida sistemáticamente en todos los sectores y ámbitos. Estas últimas generaciones no están de acuerdo con los sistemas educativos tradicionales que no fomentan el aprendizaje sino la memorización. Prefieren fomentar la inteligencia, la creatividad, la capacidad para resolver problemas de manera autodidacta, buscar y aplicar información de forma rápida y eficiente. No se conforman con lo existente, y si no disponen de los medios para crear algo, los inventan. En la actualidad tenemos numerosos casos de niños y adolescentes que saben programar, que han inventado patentes o fundado empresas.

El nuevo lenguaje universal no es el inglés ni el chino, es la imagen y la programación, características de la comunicación masiva global, entre personas y entre máquinas. El poder reside en el conocimiento y la información. Nuestro mundo cada vez es más exigente y competitivo, las necesidades de la sociedad son muy cambiantes y es por ello que las empresas de los distintos sectores han de adaptarse a ellas con flexibilidad si no quieren quedar fuera de tablero de juego. En los últimos años hemos sufrido un crecimiento exponencial de aportes científicos y nuevas tecnologías en todos los campos de conocimiento. El mercado laboral y financiero están transformándose rápidamente y los profesionales deben saber responder a estas demandas sociales y económicas en las que todas las decisiones están enfocadas a

ofrecer nuevos servicios en los que el cliente disponga de mayor información y colaboración. La industria está interconectada y definida por el desarrollo tecnológico y del conocimiento.

A continuación vamos a desarrollar unos conceptos básicos de la transformación digital, con brevedad y sin profundizar demasiado ya que los seguiremos viendo y complementando a lo largo del trabajo.



# Industria 4.0

# 1.2

**Industria 4.0** o **I4.0** es el concepto internacional que utilizamos para referirnos a la cuarta revolución industrial. En España también se le conoce como Industria Conectada 4.0.

La Revolución industrial, la primera, se desarrolló con la llegada de la máquina de vapor y el poder mecánico en los siglos XVIII y XIX. La Segunda Revolución Industrial, mediados del XIX a principios del XX llegó de la mano con la producción en cadena y el uso extensivo de la electricidad. A finales de este siglo y hasta los comienzos del XXI comenzó la Tercera Revolución Industrial, o revolución científico-tecnológica, caracterizada por la fabricación flexible y automatizada mediante el uso de la electrónica avanzada, en la que los medios de comunicación y las tecnologías de la información se convirtieron en el medio de organización y gestión de una sociedad más compleja. Pertenecer a esta revolución también la aparición de nuevas fuentes de energía renovables.

La Cuarta Revolución Industrial, Industria Inteligente, Industria Conectada 4.0, I4.0 o Ciberindustria es la que estamos viviendo actualmente, marcada por la convergencia de las tecnologías digitales, físicas y biológicas. Se considera que su inicio data de 2010 y a ella pertenecen la aparición de la industria conectada, --

*-las Smart Factories o fábricas inteligentes- ... es la denominada industria conectada, es decir aquella que aprovecha la capacidad de gestión de millones de datos para su mejora competitiva. Se trata de que todas las piezas del engranaje de la cadena de valor de un producto, proceso o servicio se encuentren interconectadas de forma inteligente, desde las necesidades del cliente hasta el elemento final, eliminando "desperdicios", stocks, retrasos, sobrecostes, es decir, todo aquello que no aporta valor.<sup>6</sup>*

La barrera con la anterior revolución está marcada por la velocidad, alcance e impacto de los nuevos sistemas. La automatización se lleva a otro nivel hasta la automatización casi total de la fabricación. Radical ruptura con los anteriores medios de producción en cadena, rígidamente seriados y estandarizados. Esta revolución está recuperando algunas características antiguas propias de la artesanía, como son la personalización y customización de los productos. Las series de producción pueden ser cortas e independientes sin que por ello aumenten los costos. Eficiencia, velocidad, colaboración, competitividad, flexibilidad, virtualización, interconexión, instantaneidad, descentralización, etc., son características comunes. La velocidad de procesamiento, la velocidad de la red y la capacidad de almacenamiento son factores responsables del nivel y la velocidad de desarrollo de nuestra era.

En España esta industria se encuentra respaldada por el MinETUR (Ministerio de Industria, Energía y Turismo), que con su documento "La Transformación Digital de la Industria Española" define una serie de "habilitadores digitales" que permiten conectar el mundo físico y digital, y tomar datos masivamente para así gestionar las empresas a nivel individual y colectivo.

Los macrodatos, la información masiva, o **Big Data**<sup>7</sup> y su gestión son los responsables del avance y desarrollo en todos los sectores. Estos datos constituyen una nueva manera de organizar los medios de producción. Los comercios y empresas de

<sup>6</sup> M. Cobreros, E. (Enero de 2016). Revista del Colegio de Arquitectos de Valladolid. Sistemas Innovadores Aplicados a la Arquitectura (6) MIC. *¿Arquitectura 4.0?*, 34.

<sup>7</sup> Big Data, macrodatos, datos masivos, inteligencia de datos, o datos a gran escala. Concepto asociado a la gestión de cantidades de datos tan grandes que es necesario su procesamiento mediante aplicaciones informáticas no tradicionales. Disciplina que permite optimizar la eficiencia, la productividad y formular predicciones en todos los sectores.

cualquier sector y a cualquier escala (como por ejemplo los supermercados), obtienen y gestionan grandes cantidades de datos sobre sus clientes, información que les permite conocer lo que consumen; los coches toman datos de su entorno físico mediante sensores para conducir y aparcar solos; nuestros Smartphones rastrean nuestra ubicación y escuchan lo que hablamos para vender esta información a las empresas; las fábricas poseen maquinaria automatizada, flexible y cognitiva que toma datos que se transfieren entre unas y otras para obtener una inteligencia artificial que les permite aprender, auto-evaluarse y asistir de forma segura el trabajo de los humanos.

Existe un temor generalizado sobre la reducción de puestos de trabajo para su reemplazo por trabajo robótico. Todas las innovaciones tecnológicas a lo largo de la historia han transformado las actividades laborales, pero también han generado nuevas oportunidades de empleo asociadas a las nuevas actividades y necesidades. Si bien los robots eliminan mano de obra barata, generan otros nuevos puestos de trabajo para los que es necesario formación especializada. Sólo así se garantizará la productividad y eficiencia de las industrias en un mundo cada vez más competente. Los humanos ya no somos competitivos frente a las posibilidades de trabajo que ofrecen las nuevas tecnologías en cuanto a trabajos repetitivos, exigentes y peligrosos se refiere. Pero somos muy necesarios para permitir que los robots puedan realizar esas labores, mediante su creación y mantenimiento, el diseño de los productos y la supervisión de los procesos.

Tenemos que mencionar la “**mecatrónica**”, materia muy presente e importante para la I4.0. Se trata de la disciplina muy versátil que combina la ingeniería mecánica, ingeniería electrónica, ingeniería de control e ingeniería informática en una sola para constituir la **ingeniería de la precisión** por excelencia. Surge ante la necesidad de automatizar la industria y convertirla en un medio de producción más preciso, ágil y flexible; para crear sistemas industriales, robots, procesos y productos inteligentes que respondan a las nuevas necesidades contemporáneas.

La robótica avanzada, la inteligencia artificial, el tercer entorno, la fabricación aditiva, los vehículos autónomos y los nuevos materiales están cada vez más presentes en todos los ámbitos industriales. Se está produciendo un cambio de paradigma de la producción hacia uno más eficiente llevando las ventajas de la

digitalización a todas las etapas de producción y servicios, combinando los sistemas físicos con las tecnologías de la computación. Esta combinación se produce a través de los *Cyber Physical Systems (CPS)* o **Sistemas Ciberfísicos**: mecanismos físicos controlados computacionalmente gracias a los protocolos de Internet, en los que el software y la red de elementos que interaccionan entre sí, integrándose perfectamente a diferencia de los sistemas embebidos tradicionales donde estaban aislados. Los CPS se aplican no sólo en la robótica sino también en el transporte inteligente, en las ciudades inteligentes, en la tecnología médica, etc. La conectividad e interoperabilidad entre los componentes se realiza a través del **Internet de las Cosas**, *Internet of Things* o **IoT**, Internet que permite que los objetos puedan ser gestionados y operados por otros equipos en vez de por seres humanos. La tendencia es conectar todo, absolutamente todo entre sí, y permitir una mejor comunicación e interacción entre humanos y objetos. Esto combinado con el *cloud computing*<sup>8</sup>, la robótica avanzada, los macrodatos analíticos, la inteligencia artificial y los sensores otorga a los procesos autonomía y la capacidad de tomar decisiones propias. En resumen, la conexión entre los sistemas físicos y los virtuales (CPS) a través del Internet de las cosas IoT constituye el motor de la I4.0.

Las “**tecnologías habilitadoras**” anteriormente mencionadas, son las herramientas que permiten a las empresas adaptarse a la transformación digital, al modelo de la fábrica inteligente y en definitiva a la Industria 4.0. Ellas son: *el cloud computing*, el IoT, la inteligencia artificial y los sistemas ciberfísicos anteriormente mencionados, junto a otras nuevas tecnologías como los drones, la realidad virtual, la realidad aumentada, la simulación BIM, la fabricación aditiva, el *blockchain*<sup>9</sup> y la ciberseguridad.

<sup>8</sup> La computación en la nube o *cloud computing*, es un nuevo paradigma que permite la computación de sistemas a través de la red global sin disponer físicamente de infraestructuras propias. La información es almacenada permanentemente y procesada a través de servidores de Internet, lo que permite garantizar mayor velocidad y eficiencia, reducción de costes, escalabilidad y flexibilidad, independencia ante la ubicación y el dispositivo utilizado, y la mejora de la seguridad.

<sup>9</sup> El BlockChain es una gran base de datos descentralizada, distribuida y segura donde los usuarios pueden realizar transacciones de todo tipo directamente sin necesidad de intermediarios.

# Fabricación Digital

# 1.3

La **fabricación digital** es el medio de producción característico de la Industria 4.0. Corresponde a los procesos mediante los cuales la fabricación del producto se realiza a partir del diseño y modelado del objeto virtualmente en 2D o 3D mediante el dibujo asistido computacionalmente o **CAD** (*Computer Aided Design*), su sometimiento a software **CAE** (*Computer Aided Engineering*) para realizar análisis y simulaciones bajo ciertas condiciones, la simulación del proceso de maquinado y fabricación mediante software **CAM** (*Computer Aided Manufacturing*), y la manufactura mediante alguna tecnología **CNC** (*Computer Numerical Control*) tales como fresadoras, tornos, cortadoras láser o por chorro, brazos robóticos o impresoras 3D. El software CAM proporciona a la maquinaria los archivos con las instrucciones para la fabricación de la pieza, como los movimientos que debe realizar, asociando letras y valores numéricos a los movimientos, direcciones, velocidad y latencia, presión, giros, etc. Instrucciones o "lenguaje" denominado "Código G".

Primeramente las máquinas de control numérico (NC) no estaban controladas por la computadora, sino por una serie de comandos contenidos en tarjetas perforadas que la máquina era capaz de leer e interpretar. Desarrolladas tras la segunda guerra mundial se utilizaban ampliamente en la producción en serie. A mediados del XX se demostró que dividiendo un mensaje en símbolos discretos mediante la computación digital, las máquinas no confiables se podían convertir en máquinas precisas y confiables, de la misma

manera en que los materiales no confiables se transformaban en confiables. Así las máquinas comenzaron a controlarse por ordenador y se extendieron en muchos sectores como el automovilístico. Más adelante se dieron cuenta de que esto no sólo era útil para el corte de perfiles bidimensionales, sino para cualquier tipo de operaciones que requieran movimiento continuo.

Este tipo de producción se puede dividir en dos sectores, los que sustraen o transforman el material mediante la perforación, corte, doblado, soldado, etc., y los de prototipado rápido que añade capas de material partiendo de cero (que posteriormente derivó en la impresión 3D y la fabricación aditiva).

El CAD fue desarrollado por el MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) en los 50 como sistema gráfico militar. Su exitosa comercialización posterior y el abaratamiento de los ordenadores personales permitieron que en 1982 Autodesk lanzase su conocido software AutoCAD, más sencillo y asequible al público. De esta manera se convirtió en una herramienta esencial en numerosos sectores. Las formas libres y las curvas se convirtieron en algo tan factible como las líneas rectas. Antes del CAD los diseñadores y arquitectos invertían demasiado tiempo en la documentación de los proyectos y productos. Con su llegada este proceso se automatizó y aumentó su precisión, permitiendo repetir tareas con sencillez, copiar y pegar, reutilizar partes y componentes de proyectos anteriores, etc. Más adelante el CAD/CAM eliminó la necesidad de documentar todo en papel, transfiriendo directamente los archivos digitales a la maquinaria.

El **CAD/CAM** son los sistemas que permiten pasar directamente de la fase de diseño CAD a la de producción CAM. Al principio ambos procesos estaban separados, pero poco a poco se han ido fusionando hasta convertirse en una disciplina única, que ha permitido potenciar y ampliar las posibilidades del diseño, de los materiales y de los procesos de producción, rompiendo la brecha que existía entre las fases de concepción y de fabricación, romper con las limitaciones físicas de la producción seriada, de las limitaciones del imaginario colectivo asociado a las anteriores, y la emancipación respecto a las grandes multinacionales de producción.

Su aplicación es la responsable de la exploración de geometrías complejas no conseguibles con los medios tradicionales, de flexibilizar y optimizar los procesos y de permitir series de producción cortas o individualizadas, y la customización masiva. Para su correcto funcionamiento los únicos requisitos son que los sistemas geométricos y las superficies complejas utilizadas sean racionales, es decir, que se puedan definir numéricamente a través de fórmulas y relaciones geométricas.

La verdadera integración del CAD y el CAM tiene mucho que ver con el sector de la arquitectura y la construcción, pues anteriormente en muchas de las ocasiones se utilizaban como procesos separados e independientes. Y aquí es donde obligatoriamente tenemos que mencionar los trabajos realizados en el **Templo Expiatorio de la Sagrada Familia en Barcelona**.

El proyecto de La Sagrada Familia ni lo comenzó Antoni Gaudí, ni evidentemente pudo acabarlo. Todo comenzó en 1866 cuando el barcelonés Josep Maria Bocabella fundó una asociación en la que decidieron construir un templo dedicado a La Sagrada Familia en el ensanche de Barcelona. El proyecto se le encargó al arquitecto Francisco de Paula del Villar y Lozano, al que renunció en 1883 habiendo comenzado la obra en 1882. Fue entonces cuando tomó el relevo uno de sus discípulos, A. Gaudí, que partiendo de las trazas originales y de las obras de la cripta y el ábside en neogótico, realizó un nuevo proyecto aplicando sus conocimientos y convirtiéndolo en el máximo exponente del modernismo catalán y de su estilo naturista.

Dedicó la mayor parte de su vida a la construcción de esta basílica, de la que solo culminó la cripta, el ábside y parcialmente una de las fachadas, la de la Natividad. Decisión premeditada ya que sabía que la construcción del templo tomaría varias décadas y según sus palabras: *"Dejemos pues una vigorosa muestra de nuestra huella, para que las generaciones venideras sientan el estímulo de continuarla y no nos atemos para el resto de la obra... Los nuevos artistas que intervendrán con el tiempo e incluso los nuevos estilos arquitectónicos darán más expresión y riqueza monumental al conjunto. Los grandes templos nunca han sido obra de un solo arquitecto... No hay que lamentar que yo no pueda acabar el templo. Yo me haré viejo, pero otros vendrán detrás de mí. Lo que debe conservarse siempre es el espíritu de la obra, pero su vida tiene que depender de las generaciones que se la transmiten y con las cuales vive y se encarna."* Fue por

esto que la construcción se planteó por zonas y se centró solo en estas. De hecho, Antoni fue un visionario que trabajaba con las tecnologías más vanguardistas del momento, pero eso no impidió que realizase diseños que no se podían fabricar por aquel entonces, porque él tenía la esperanza de que las siguientes generaciones tendrían los medios para hacerlo.

Durante la Guerra Civil los planos se quemaron, y las maquetas por ser de yeso sobrevivieron, aunque fueron destruidas. Una vez reconstruidas el trabajo ha podido continuar gracias a ellas respetando así los diseños del arquitecto.

En 1979 se introdujo en la continuación del proyecto y las obras el CAD, y en 1987 Jordi Bonet arquitecto director en aquel entonces, introdujo las nuevas tecnologías de fabricación. Por aquel momento solo se había construido la base estructural de la columna de Tarragona (1921), y la columna de Barcelona completa (1954-56). Una vez terminada toda la documentación destruida de todas las columnas helicoidales de doble giro, adoptaron el sistema CAD/CAM para la construcción de la **"columna de Lleida"** concluida en 1991, mediante tecnología de corte de piedra CNC. Esta columna se ha constituido como un hito de la integración total del sistema CAD/CAM globalmente, y sin duda el primer elemento arquitectónico fabricado digitalmente, marcando un antes y un después en la historia, dando el comienzo a la **Arquitectura Digital** junto a Frank Gehry como veremos más adelante. (Camille Halabi, 2008)

Para las columnas Gaudí había creado un nuevo orden de gran complejidad que la tecnología de la época no permitía fabricar. La "columna de Lleida" es un símbolo de las nuevas posibilidades en la arquitectura gracias al empleo de las tecnologías digitales. **Por primera vez la tecnología se adapta al diseño en vez de ser el diseño el que se adapta a las limitaciones de la tecnología.**



Más adelante veremos otras aplicaciones de nuevas herramientas en la continuación de las obras de La Sagrada Familia.

Figura 1: interior del Templo Expiatorio de la Sagrada Familia en Barcelona. Obtenida de: <https://blog.sagradafamilia.org>



# ROBÓTICA

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

Alumno: ALEJANDRO GONZÁLEZ CHAMORRO

Tutor: JESÚS SAN JOSÉ ALONSO

La **robótica** es la ciencia y tecnología de los robots (del checo *robota* que significa trabajos forzados y que se tradujo al inglés como *robot*). Se ocupa de diseñar, fabricar, controlar y aplicar los robots. Para ello se combinan disciplinas como la mecánica, la electrónica, la informática, la inteligencia artificial y la ingeniería de control. Como vemos tiene mucho que ver con la mecatrónica vista anteriormente.

Los robots son herramientas programables y reprogramables controlados computacional y automáticamente. Existen diferentes tipos según el tipo de tarea que deban realizar: manipuladores, de aprendizaje o repetición, inteligentes y nano-robots. En 1937 se presentó en Inglaterra el primer robot industrial, una grúa con 5 ejes de movimiento, controlado por códigos grabados en papel perforado. Progresivamente han transformado los medios de producción convirtiéndolos en procesos más veloces, baratos, eficientes, precisos y seguros.

En las fábricas su aplicación ha sido encomendada a realizar las tareas que resultan sucias, peligrosas, aburridas o difíciles para los humanos (regla de las 4 -d- de la robotización: *dirty, dull, dangerous and difficult*).

La creciente competitividad de nuestro mundo y del aumento de las exigencias y necesidades de la sociedad, requiere de sistemas cada vez más inteligentes capaces de tomar decisiones inteligentes, lo que ha llevado a combinar la robótica con el Big Data, el *cloud computing*, sensores inalámbricos, el IoT y la inteligencia artificial lo que ha desembocado en: la **robótica avanzada**.

Los humanos hemos dejado de ser competitivos por nuestras capacidades físicas en comparación con ellos. Sin embargo es necesaria la estrecha colaboración entre ambos. Por sí mismos no pueden controlar su mantenimiento, manejar y optimizar los procesos ni los costes, no pueden adaptarse a cambios ni a nuevos productos con nuevas propiedades.

La robótica avanzada permite al robot percibir y relacionarse con su entorno a través de sensores integrados. La integración de sus componentes cibernéticos con los físicos, su conexión a la nube y la dotación con inteligencia artificial y sistemas cognitivos ha permitido la creación de robots inteligentes y autónomos, que razonan, se mueven, aprenden y evolucionan de manera similar a como lo hacemos los humanos. También están dotados de sistemas de auto-predicción, recuperación ante errores, toma de decisiones dirigidas hacia un objetivo, control y modelado del proceso, auto-evaluación, etc. Estos "operarios" no suelen utilizarse para tareas repetitivas y seriadas como los tradicionales, sino que su aplicación es más común en el trabajo colaborativo con los humanos, realizando labores complejas, dinámicas, flexibles y variadas. Los más comunes son los brazos robóticos con 6 ejes de movimiento que acostumbramos a ver en sectores como el del automovilístico.



Figura 1: Brazos robóticos aplicados en el sector automovilístico. Obtenida de: <https://www.abc.es>

Una de las premisas más importantes para su uso colaborativo es garantizar la seguridad del humano por encima de todo evitando cualquier tipo de accidente. Dotados de numerosos sensores, pueden sentir y monitorizar los procesos de producción, del ambiente de trabajo e incluso a sí mismos: sensores auditivos, visuales, detención de fuerza y presión, detención de obstáculos, percepción de la distancia, etc. que les permiten coger objetos automáticamente y su manejo seguro, detectar sus partes, etc. esenciales también para reconocer a los humanos, rastrear su posición y predecir sus movimientos para lograr un trabajo colaborativo seguro. Para mejorar estas capacidades los humanos también pueden vestir sensores y escáneres, que otorguen información útil a los robots sobre su posición y movimientos, además de otros *gadgets* o dispositivos que mejoren sus capacidades, como gafas que aporten información adicional mediante realidad aumentada, que además les permiten trabajar con las dos manos sin desviar la mirada (concepto de *cyborg*).

Los sensores visuales integran tecnologías como la fotogrametría, visión estéreo, incluso visión 3D, escáner de luz estructurada, tiempo de vuelo y triangulación láser, esenciales para que los robots puedan obtener información decisiva para sus labores industriales.

La información obtenida, combinada con la inteligencia artificial y el *cloud computing* les otorgan capacidades predictivas. De esta manera pueden regular su posición, recalcular sus movimientos ante incertidumbres del entorno, obstáculos, calibrar sus errores, solucionar desalineaciones del producto, etc., reaccionar ante desajustes y defectos en la dinámica de trabajo, y tomar decisiones concretas para posibles reconfiguraciones de la fabricación en busca de optimizar su flexibilidad, eficiencia y autonomía.

El objetivo final del *cloud computing* y el IoT aplicado en este sector es que toda la información recopilada de una fábrica inteligente pueda transferirse a los robots de otra fábrica con labores similares. Con los conocimientos adquiridos ellos pueden aprender y mejorar sus capacidades.

(Ustundag & Cevikcan, 2017, págs. 187-198)

# Arquitectura Digital

El sector de la arquitectura está realizando una transformación digital lenta y mal ejecutada. Si bien se beneficia desde hace años de los beneficios de la computación en las fases conceptuales, de diseño y de elaboración de la documentación básica de un proyecto, no ha continuado con la digitalización de los demás procesos y etapas. Los arquitectos han automatizado esos procesos iniciales gracias al CAD que le ha permitido mejorar la precisión y trabajar con geometrías complejas con total sencillez. Sin embargo no terminan de instaurar en sus estudios la metodología BIM, que como veremos más adelante permitirá cerrar el ciclo proyectual digitalizando todas las etapas, incluso las de construcción y mantenimiento del edificio, evitar el reflujo de datos, universalizar su lenguaje y facilitar la colaboración entre todos los agentes participantes. El sector de la construcción, uno de los más grandes y potentes a nivel mundial, es uno de los que erróneamente ha permanecido durante años invariable frente a las tecnologías de la fabricación digital.

La arquitectura digital no es una moda ni un estilo, es una nueva forma de pensar y hacer arquitectura. Las tecnologías de la computación se deben utilizar en todas las etapas proyectuales, en las fases de diseño, en las de construcción y en las de mantenimiento. Utilizar el CAD y el BIM para pasar proyectos a limpio es un trabajo doble y absurdo. Su potencial y eficacia radica en su aplicación en todo el ciclo proyectual. Una revolución que no se limita a ser un simple relevo de herramientas, sino que abre nuevas vías de concepción y expresión arquitectónica, simplificando y agilizando procesos, aumentando la precisión, la colaboración y la transparencia. Su desarrollo es paralelo a la velocidad, la flexibilidad y la fluidez de la sociedad contemporánea.

De acuerdo, pero ¿qué es la **Arquitectura Digital** o **Arquitectura 4.0**? Es aquella que se practica mediante las tecnologías de la

computación y la comunicación. Con *“Arquitectura 4.0”* nos referimos a la *traslación provocadora y consciente del término “Industria 4.0”* con el objetivo de buscar posibles paralelismos y, sobre todo, aquellos conceptos, ideas, procesos, etc., de provecho de ésta para aquélla.<sup>10</sup> Los “habilitadores digitales” son herramientas para su desempeño, y serán más valiosas cuanto más nos faciliten la consecución del entendimiento vitruviano (firmitas, utilitas y venustas).

Arquitectura digital es un término un poco impreciso, pues puede entenderse que es aquella que ha utilizado herramientas digitales, pero que a fin de cuentas es la gran mayoría desde hace algunos años. El término se extiende al pensamiento avanzado y a la práctica paradigmática mediante el uso generalizado de estas herramientas digitales y de la tecnología de la información.

A principios de los 90 comenzó a manifestarse este cambio radical en la forma de hacer arquitectura. Con la implantación de la computación, el diseño se libera formalmente y aparece el diseño paramétrico, las geometrías complejas se vuelven accesibles, y aparecen nuevas tipologías como la arquitectura biológica, la biomímesis, topología, morfogénesis... con la tranquilidad de que su materialización física es factible gracias a las tecnologías CNC, imposibles de conseguir con los medios tradicionales. La inversión inicial para obtener e implementar estas tecnologías se ve ampliamente superada por los numerosos beneficios y la enorme reducción de costos que produce a la larga. Tradicionalmente el arquitecto diseñaba los espacios jugando con la luz y las sombras, la orientación y una serie de vivencias y conocimientos personales que el arquitecto aplicaba sobre sus proyectos. Con la arquitectura digital surgen nuevas posibilidades que permiten trabajar con una recolección masiva de datos del lugar y el entorno para responder a nuevos factores con los que nunca se había trabajado como los campos de fuerzas, geometrías paramétricas, los nuevos materiales y la optimización de su disposición, estructuras más ligeras y resistentes, reducción de las huellas de carbono y ambiental durante y después de la construcción, eficiencia energética con consumo cero o muy reducido, optimización de los residuos, integración de funciones, etc. Un sinfín de datos y parámetros que es posible orquestar gracias a las tecnologías digitales. (Revista del Colegio de Arquitectos de Valladolid, 2015, págs. 26-29)

<sup>10</sup> M. Cobreros, E. (Enero de 2016). Revista del Colegio de Arquitectos de Valladolid. Sistemas Innovadores Aplicados a la Arquitectura (6) MIC. *¿Arquitectura 4.0?*, 34.

La transformación digital, lejos de favorecer la concepción de edificios fríos y mecánicos como podría pensarse, ha dado lugar a otros inspirados en la naturaleza, en los procesos biológicos, a estructuras cristalinas con variaciones biomórficas, a un mayor interés por el cuerpo, por la anatomía humana y su relación con la arquitectura. En vez de favorecer el trabajo autónomo y a las relaciones distantes e impersonales ha beneficiado el trabajo colaborativo entre todos los agentes, ha permitido que el proceso de diseño que tradicionalmente ha sido un proceso exclusivo del arquitecto, contenido en su mente y sus dibujos hasta su correcta maquetación para su exposición, se abra públicamente al entendimiento y al trabajo colaborativo de otros participantes. *"Esta tecnología me permite estar más cerca de la artesanía de obra. En el pasado, existieron muchas capas entre mis croquis y la edificación final y el espíritu del diseño podía perderse antes de que llegara a las manos del artesano. Me siento como si hubiera estado hablando en un idioma extranjero y, de pronto, el artesano me comprende. En este caso el ordenador no deshumaniza sino que interpreta."*, decía Frank O. Gehry. Se ha establecido una continuidad en todas las etapas aunando diseño y fabricación de forma inseparable. (Bruscato Portella, 2006)

Hemos visto que la "columna de Lleida" en 1991 marcó un hito en la historia de la arquitectura como primer elemento arquitectónico construido enteramente mediante la exitosa integración de la disciplina CAD/CAM. Ahora nos toca ejemplificar el siguiente nivel donde las herramientas digitales se utilizan para generar y materializar físicamente la totalidad del proyecto. Ben Van Berkel, Zaha Haddid, o Greg Lynn son referentes en la arquitectura digital, pero el primero de todos, el pionero en el sector, el referente por excelencia, fue indiscutiblemente **Frank O. Gehry**.

El nacimiento de la Arquitectura 4.0 sucedió coetáneamente a la "columna de Lleida" con la construcción de la escultura del "Pez Dorado" para los Juegos Olímpicos de Barcelona de 1992 en 1988-1992. El CAD/CAM comenzó anteriormente como una herramienta de apoyo para los arquitectos, como procesos de diseño y fabricación independientes, que permitían proyectar formas imposibles con las tecnologías analógicas limitadas por la estandarización y la producción en serie. La tecnología CNC se había utilizado como proceso aislado sin la participación del diseño asistido computacionalmente, por ejemplo en las décadas

de los 80 y los 90 para producir componentes de construcción como las piedras para la catedral de Saint John the Divine de Nueva York. Gehry también lo había utilizado para cortar la piedra caliza de la fachada curva del American Center de París en 1991. Pero finalmente consiguió su fusión casi total, mediante su uso para la generación y materialización de la escultura del pez en su totalidad, aunque su desarrollo fue lento y difícil. Influenciado por arquitectos anteriores como Frederick J. Kiesler defensor de que la forma no sigue a la función, sino que la forma sigue la visión y la visión sigue la realidad, Frederik Kiesler, Buckminster Fuller con inquietudes similares, o por los arquitectos del Archigram y su mirada fuera de la disciplina con nuevas metodologías.



Este tipo de tecnologías no existían en el sector de la arquitectura, y para lograrlo tuvo que contactar y trabajar con herramientas procedentes del diseño digital de aviones y coches. Este proyecto funcionó como un laboratorio de pruebas que no precisaba de tantos requisitos de seguridad como una estructura habitable, y cuyos resultados aplicaría posteriormente en proyectos de mayor envergadura. Desarrollaron sobre la marcha el proceso mediante el software CATIA, adaptado específicamente para su trabajo. Se diseñó un marco de acero estructural al que se acopló un tejido de acero inoxidable en donde la mayor dificultad radicaba en el acoplamiento de las piezas curvas. Creó un nuevo lenguaje de superficies curvas computarizadas y fabricadas digitalmente. Lejos de la estandarización, estas piezas eran todas distintas unas de otras, y cuyas complejas uniones presentaron pocas dificultades de ensamblaje. El CAD no sólo sirvió para su diseño sino también para servir como fuente de coordenadas y representar detalladamente los complejos montajes.

Figura 1: Pez Dorado, Frank O. Gehry, 1992. Primer hito de la arquitectura digital y de la integración de los sistemas CAD/CAM. Obtenida de: <http://22contemporanystars.blogspot.com>



Los éxitos recolectados con esta obra fueron aplicados en sus emblemáticos edificios del Guggenheim Bilbao (1993-1997) y el Walt Disney Concert Hall (1999-2003) en los que había estado trabajando paralelamente. Aunque el Concert Hall se materializó más tarde, su concepción fue anterior (1987), donde en un principio la fachada se planteó de piedra, pero por dificultades y altos costes terminó construyéndose con sus famosas placas de titanio que usó primeramente en el Guggenheim. La mejor manera de observar la magnitud e importancia de estos edificios es situarlos cronológicamente y compararlos con otros edificios de la época, cuando pocos estaban a la altura de la complejidad geométrica y constructiva de éstos.



Mencionar que Frank Gehry no entró de lleno con las nuevas tecnologías, él era muy escéptico y prefería el trabajo con maquetas físicas, las cuales modelaba y transformaba hasta obtener la geometría deseada. Sólo después, utilizaba los software informáticos para definir racionalmente las geometrías en un modelo virtual, en el que ya trabajaba incorporando con precisión los factores de escala, el sistema constructivo y los sistemas de fabricación. (Ustundag & Cevikcan, 2017, págs. 187-198)

Este arquitecto canadiense ha marcado el comienzo de la transformación digital y una nueva era para la arquitectura, contaminando e influyendo con su discurso a muchos arquitectos a experimentar y desarrollar nuevas investigaciones y metodologías con el objetivo de someter las tecnologías de diseño y construcción asistida al servicio de la arquitectura, a la que la tecnología se puede adaptar y servir en vez de ser ella la que se limite sus posibilidades.

Figuras 1- 3: obras del *Guggenheim Bilbao* y del *Walt Disney Concert Hall*. Frank O. Gehry. Estructura de acero diseñada y fabricada mediante sistemas CAD/CAM. Obtenida de: <https://www.guggenheim-bilbao.eus> y <http://wdch10.laphil.com>

Figuras 4 y 5: *Guggenheim Bilbao* (1993-1997) y *Disney Concert Hall* (1999-2003). Frank O. Gehry. Obtenidas de: <https://www.archdaily.com>

# Construcción 4.0

La **Construcción 4.0** es a la Arquitectura Digital lo que la Fabricación Digital es a la Industria 4.0. Es la extensión y aplicación de la fabricación digital dentro de este sector. Son las herramientas y los procesos para materializar los diseños digitales mediante tecnologías CAD/CAM, conectándolos con las demás etapas cerrando el ciclo arquitectónico. Significa implementar el uso de las nuevas tecnologías y "herramientas habilitadoras" como el BIM y la robótica avanzada, con el objetivo de mejorar la eficiencia, la productividad y la sostenibilidad de unos procesos que tradicionalmente eran largos, costosos y muy contaminantes.

Si la transformación digital del sector de la arquitectura ha sido lenta, el de la construcción apenas ha comenzado. Por el momento se encuentra en fase de investigación y disponemos de algunos pocos ejemplos reales dentro de este ámbito.

La industria de la edificación es uno de los sectores más potentes mundialmente y uno de los motores impulsores de nuestra economía. Lamentablemente es uno de los más ineficientes actualmente, que ha permanecido invariable durante décadas mostrando una productividad similar a la de hace 20 años, sobreviviendo con los mismos medios que utilizaba antes de la crisis, mientras que los demás sectores la han incrementado en un 200% como demuestran numerosos estudios.

Pero nunca es demasiado tarde, la digitalización y la automatización nos aportarán el empujón que necesitamos para

salir de la crisis, evolucionar y adaptarnos a las nuevas exigencias y necesidades de la sociedad moderna.

Esta transformación supondrá un cambio de paradigma en la forma de concebir y realizar el trabajo, igualándolo con el nivel de complejidad de la Arquitectura Digital y rompiendo la brecha existente entre el diseño y la fabricación a la vez que permite la involucración y colaboración de todos los agentes y de los clientes.

Hoy en día uno de los objetivos más importantes de las empresas es de ejercitar una mayor colaboración con los clientes, los cuales pueden tomar decisiones. Para ejemplificar esta situación vamos a intentar comprender la problemática actual con los taxis y el surgimiento de nuevas empresas. Se da el caso de grandes e importantes empresas que han trabajado durante muchos años exitosamente. Sin embargo después de tantos años de servicio se acomodan y se olvidan de actualizarse y adaptarse a las cambiantes necesidades de la sociedad. Es entonces cuando surgen nuevas pequeñas empresas y startups que en este caso son Uber, Cabify o Blablacar, que se introducen en el mercado y desbancan a las anticuadas empresas tradicionales. Y esto es porque con ellas el cliente puede solicitar el servicio de transporte desde su Smartphone, y conocer antes de montar el trayecto, el tiempo de espera y de rodaje así como el presupuesto. Además, ahora pueden compartir el trayecto con otros usuarios, para compartir también los gastos, además de dar mayor importancia a los coches que sean eléctricos.

Resumiendo, los nuevos servicios digitalizados permiten una mayor transparencia y colaboración con el cliente así como un mayor control y conocimiento sobre todo el proceso, evitándose así cualquier posibilidad de engaños y fraudes por parte de los conductores. Además existe una mayor concienciación ambiental en busca de la sostenibilidad y la reducción de la contaminación.

Pues bien, todo esto es exactamente lo que sucede en el sector de la construcción, donde las grandes empresas tradicionales no han evolucionado y siguen ofreciendo los mismos servicios que hace dos décadas. Sin embargo en los últimos años están surgiendo nuevas empresas cuyo trabajo se focaliza en la aplicación de las nuevas tecnologías digitales al sector.

La transformación digital romperá con los largos y costosos procesos edificatorios tradicionales que poseen demasiados intermediarios, susceptibles de corrupción, que resultan ser muy poco rentables y muy imprecisos debido al desvío de los plazos

de tiempo y de los costes, los que además están abiertos a un gran rango de errores posibles debido a una documentación pobre y a continuos cambios a lo largo de la ejecución de las obras. Por no hablar de que es uno de los sectores que más contaminan globalmente.

Esta transformación va a permitir a las empresas su esclarecimiento, ofreciendo unos presupuestos y unos tiempos más concretos y reducidos, descentralizar la producción, aumentar la productividad y la precisión de las obras realizando un control y monitoreo exhaustivo, industrializando y automatizando la maquinaria; obtenido, analizando y compartiendo información en todo el ciclo, y facilitando la colaboración coordinada de todos los agentes involucrados.

El cambio no vendrá de la mano de una sola tecnología, sino que sucederá con el trabajo sinérgico de todo el conjunto integrado de las "herramientas habilitadoras" de la Industria 4.0. El IoT, el Big Data, el *cloud computing*, la robótica avanzada, los sistemas ciberfísicos, los nuevos materiales, etc., son las herramientas para lograr esta "metamorfosis" y la interconexión con las demás etapas, rompiendo la brecha existente y cerrando el ciclo por completo. Se conseguirá la interoperabilidad de los medios humanos y materiales y el uso de información en tiempo real.

Como hemos visto la industrialización y la automatización terminara en una mayor eficiencia en todos los ámbitos, pero que precisa de la supresión de la numerosa mano de obra barata con la que se cuenta ahora. Los trabajadores tendrán que ser recualificados y formados para poder dar un uso correcto a estas tecnologías. Las personas se encargarán de realizar todas las tareas que no se pueden automatizar, de la misma manera que una grúa es susceptible de ser controlada computacionalmente, pero siempre necesitará de un operarios que supervisen su trabajo, con el valor añadido de que estos pueden supervisar varias a la vez.

El BIM (asignatura pendiente para el sector en España) y la planificación de recursos (ERP) son algunos de los modelos más adecuados para afrontar con éxito esta transición, que capacitará a las empresas para gestionar todas sus operaciones desde una sola interfaz. La metodología BIM se fundamenta en el trabajo e interacción con objetos inteligentes que entran a formar parte en el proceso constructivo, estableciendo una conexión directa entre el modelo virtual y su materialización física. El trabajo con grandes cantidades de datos ayudará a proveer muchos más servicios,

inteligentes y conectados, y permitirá aumentar la seguridad y la calidad.

Tradicionalmente, las empresas que decidían por su cuenta automatizar y sensorizar sus infraestructuras y trabajar con la gestión de grandes cantidades de datos no era algo a lo que se diese importancia. Sin embargo se está produciendo un cambio de concepción en el que esas cuestiones son un valor añadido, y en el que **ya no se venden productos sino servicios**. La sociedad ya no quiere el proyecto más barato, sino el mejor. La oferta técnica, medioambiental y de seguridad es cada vez mayor en detrimento del coste (aunque ya se está demostrando que los costes se ven reducidos frente a los medios tradicionales). Las empresas deben asumir una inversión inicial en infraestructura que sin duda les aportará muchos beneficios.

Las herramientas CAD/CAM y la tecnología CNC dan paso a una producción industrial flexible y adaptable, la *mass customization*, que a diferencia de la industria del siglo XX posibilita la fabricación de objetos diferenciados con la misma facilidad que si fueran idénticos entre sí. Sin olvidar la sostenibilidad que está siempre presente en todas ellas y en los nuevos materiales utilizados. En el desarrollo de este trabajo veremos como los drones y la fabricación aditiva son herramientas fundamentales en este sentido, y como la realidad virtual y la realidad aumentada son de gran ayuda para interconectar el entorno virtual con el entorno físico. Por el momento vamos ejemplificar brevemente otra de estas herramientas, los brazos robóticos.

Anteriormente hemos visto los brazos robóticos utilizados en industrias como la automovilística. Como no podía ser menos, su aplicación en el sector de la construcción era de esperar. En un principio estos son diseñados para imitar los medios de producción tradicionales, como puede ser la colocación de ladrillos. Sin embargo su aplicación desemboca en una evolución del proceso que posteriormente se transfiere al diseño arquitectónico previo. Ahora también se puede diseñar el proceso de construcción. Es decir, la cultura de la construcción se traslada a la cultura del diseño y la tecnología se adapta al diseño o genera otros nuevos. El resultado es que ese brazo robótico que colocaba ladrillos, ha permitido diseñar muros curvos paramétricos que sin el robot no se habrían podido materializar. Pero sobre todo, el objetivo de los brazo robóticos, es asistir el trabajo humano y capacitarles para realizar tareas más precisas y

complejas. Veamos un ejemplo donde se utilizan brazos robóticos en diferentes tareas:

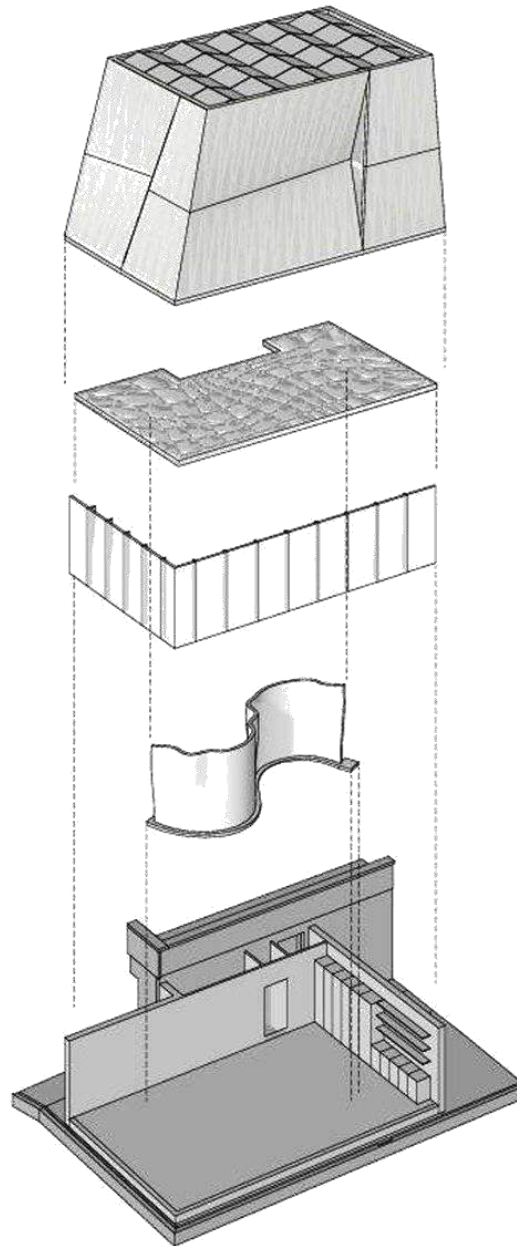


Figura 1: DFAB House, Dübendorf, ETH Zürich.  
Obtenida de: <http://dfabhouse.ch>

Figuras 2 y 3: NEST, Dübendorf. Gramazio Kohler  
Research.2010-2016. Obtenidas de:  
<https://afasiaarchzine.com>

>>> **DFAB HOUSE, ETH ZÜRICH:** ocho profesores del ETH Zürich (Escuela Politécnica Federal) entre los que nos encontramos a Gramazio y Kohler del equipo de investigación *Gramazio Kohler Research* y fundadores del prestigioso y premiado estudio *Gramazio & Kohler Architekten*, trabajan junto con otros expertos y profesionales de la industria y la planificación para explorar y probar cómo la fabricación digital (como ya nos adelantaba su nombre "DFAB") puede cambiar la forma en que diseñamos y construimos. Es el mejor ejemplo que podíamos ver, pues aún en un sólo edificio diversas tecnologías y métodos constructivos digitales: robótica avanzada, fabricación digital *in-situ* y *off-site*, muros de hormigón armado sin encofrado, encofrados de sección variable dinámicamente, moldes impresos en 3D, losas aligeradas, ensamblaje espacial de madera, nuevos materiales, etc. "A diferencia de los proyectos de construcción que utilizan solo una única tecnología de construcción digital, como las casas impresas en 3D, la Casa DFAB reúne una gama de nuevas tecnologías de construcción digital". "Esto nos permite utilizar las ventajas de cada método individual, así como sus sinergias, y expresarlas de forma arquitectónica".

La casa DFAB (en proceso de construcción actualmente) de 200m<sup>2</sup> repartidos en 3 plantas situada en Dübendorf (Suiza) será un espacio residencial en el que podrán albergarse los investigadores invitados y socios del proyecto NEST: plataforma modular y dinámica que funciona como laboratorio para la investigación y demostración para tecnologías de construcción avanzadas e innovadoras en el corazón del campus Empa / Eawag; utilizado como casa de hospedaje y oficinas.



La combinación de diferentes procesos permite repensar la planificación y construcción aprovechando todas sus ventajas como la flexibilidad de diseño, economía, eficiencia de tiempo y



coste y mayor calidad. "Si se hiciera algún cambio al proyecto, el modelo computacional puede constantemente ajustarse a las nuevas condiciones. Este tipo de arquitectura integrada al mundo digital está cerrando la brecha entre diseño, planificación y ejecución".



Entre las tecnologías y sistemas utilizados, principalmente destaca el uso de brazos robóticos en casi todos ellos, para realizar trabajos tradicionalmente manuales, pero con características y geometrías optimizadas.

La casa se puede dividir en 5 partes según los materiales y las tecnologías utilizadas:

» **MURO:** novedoso muro de carga de hormigón armado que no necesita de encofrados. Realizado con tecnología *Mesh Mould* combina encofrado y refuerzo en una estructura fabricada por un brazo robótico con movimiento autónomo incluso en entornos en constante cambio, que dobla y suelda barras de acero de 6mm. Esta densa malla estructural y la composición especial del hormigón permiten que este no se derrame y permanezca dentro de la rejilla. Situado en la planta baja, su rigidez a pesar de su fino espesor radica en su doble curvatura. Mediante sensores y cámaras, más unos marcadores situados en la base del muro, el robot puede orientarse y trabajar sin otros dispositivos de medición. Este muro será el encargado de sustentar la losa de hormigón superior. Su construcción se ha realizado *in-situ*.



» **MONTANTES:** fabricados con tecnología *Smart Dynamic Casting*, un proceso de formación de estructuras de hormigón optimizadas, utilizando un encofrado de escala mucho menor a la del producto obtenido, mediante el movimiento robótico continuo que varía dinámicamente la sección. El material también optimizado y automatizado en el que se puede controlar la hidratación, ha permitido la fabricación de cada montante en un tiempo récord de 4h. Estos 15 montantes de 70x100mm se aplicarán como parteluces en la planta baja, de 3m de altura.



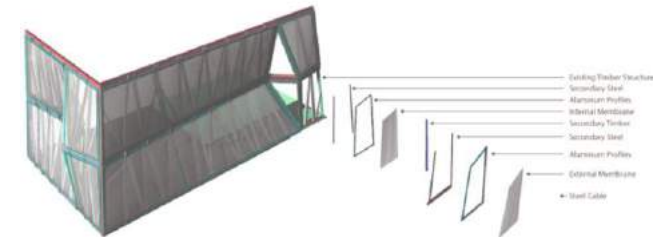
» **LOSA:** hablaremos más detalladamente sobre ella más adelante, pero básicamente se ha realizado mediante un molde "impreso en 3D" sobre el que se ha proyectado un hormigón reforzado con fibras, que ha permitido obtener unos espesores mínimos de 1,5cm en algunos puntos, lo que ha supuesto el uso de un 75% menos de material y un 70% menos del peso de una losa convencional. Se ha fabricado por módulos *off-site* que han sido transportados y ensamblados en la obra.



» **ESTRUCTURA DE MADERA:** en este caso dos brazos robóticos colgados de grúas puente en el techo son los encargados de realizar esta construcción con una tradición manual muy marcada y con muchas restricciones geométricas. Sin embargo, mediante el control computacional se ha conseguido ampliar las posibilidades, mejorar la eficiencia y complejizar la geometría, que han permitido suprimir el uso de placas de refuerzo y ahorrar material. Esta estructura se compone de 487 vigas ordenadas en seis módulos. El proceso es simple, uno de los robots coge las vigas que dirige a una sierra que le procura el tamaño y la geometría correcta. El otro robot le practica unos agujeros para el posterior ensamblaje. Por último, ambos robots colocan y atornillan las vigas. Un algoritmo controla sus trayectorias para que ambos no colisionen durante el proceso. Los módulos son fabricados *off-site*, transportados y ensamblados posteriormente en la obra, en las dos plantas superiores. Estos permanecerán a la vista detrás de una fachada de membrana translúcida.



» **MEMBRANA:** innovadora fachada que combina la ligereza y flexibilidad del sistema de membrana translúcida, con un excelente aislamiento térmico (también translúcido) de aerogel. El resultado patentado, una fachada muy delgada y de alto rendimiento, con una estética novedosa. Los perfiles estructurales son de aluminio, y sobre las membranas se disponen unos cables que evitan su desviación bajo la succión del viento y ayuda a mejorar las fuerzas generadas entre las dos membranas.



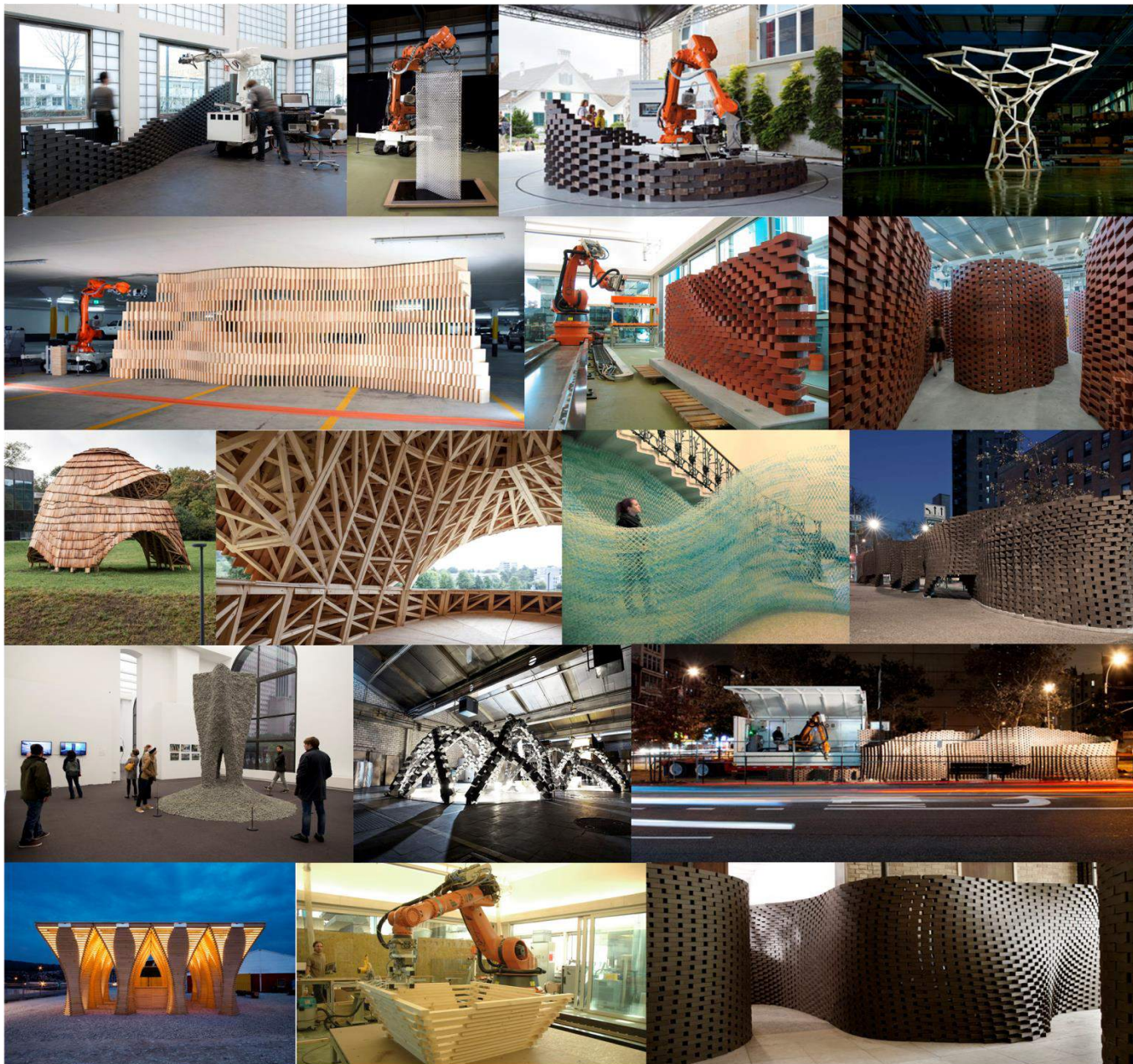
Figuras 1-5: construcción de la *DFAB House* mediante tecnologías y métodos constructivos digitales. Obtenidas de: <http://dfabhouse.ch>

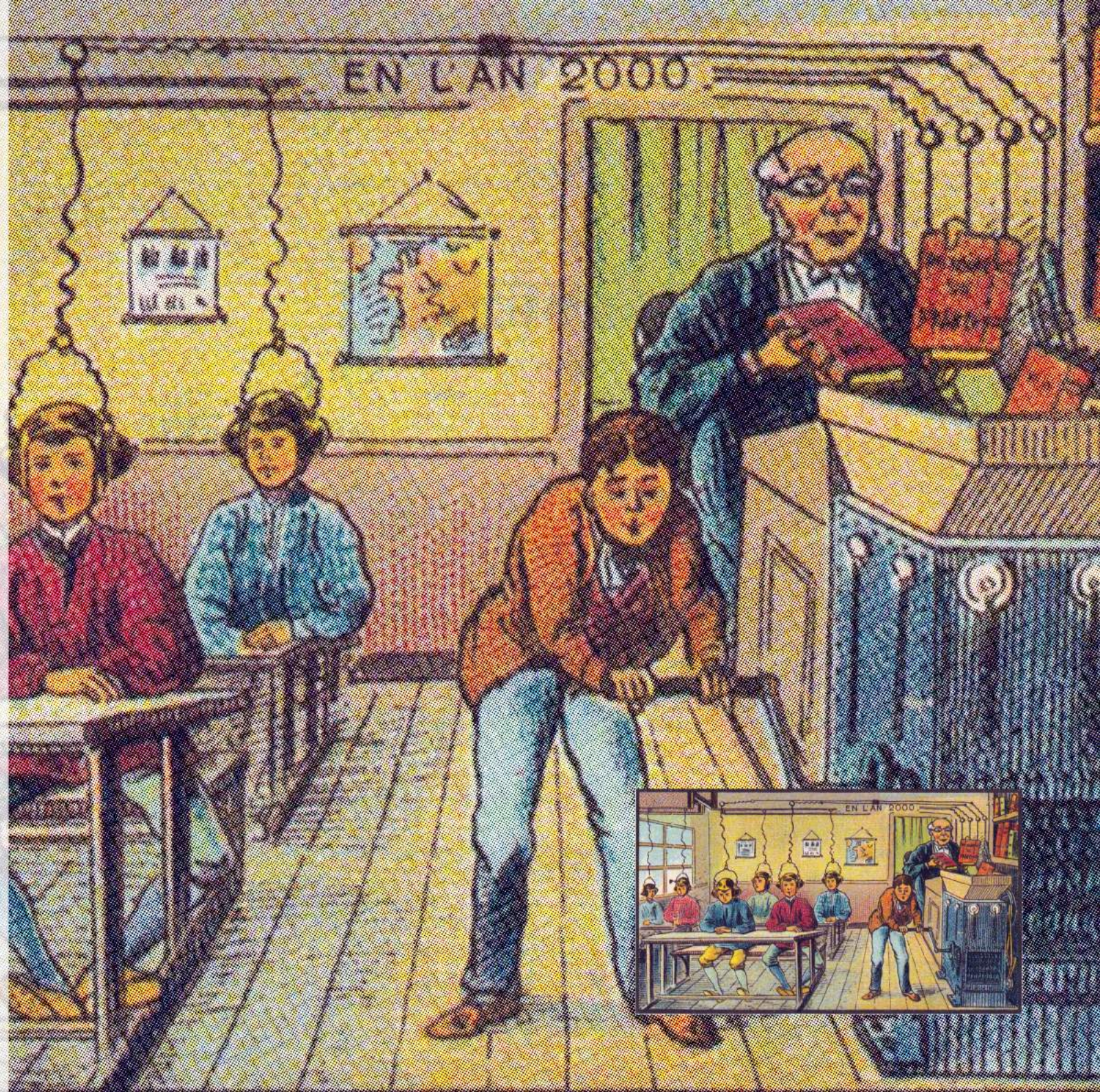
>>>**GRAMAZIO KOHLER RESEARCH:** para terminar este apartado vamos a ilustrar otros ejemplos realizados por Gramazio & Kohler con brazos robóticos inteligentes. Imágenes obtenidas de su web: <http://gramazio-kohler.arch.ethz.ch>

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

Alumno: ALEJANDRO GONZÁLEZ CHAMORRO

Tutor: JESÚS SAN JOSÉ ALONSO





*En L'An 2000* (En el año 2000),  
Jean-Marc Côté, XIX-XX.

En esta ilustración imaginaron como sería la educación en nuestro siglo, en el que la información podía ser transformada a un formato que podía transferirse directamente al cerebro de los estudiantes. No ha sido así, por lo menos todavía, pero este ejemplo no nos sirve para introducir el siguiente tema. En el apartado que a continuación comienza hablaremos de la necesidad actual de digitalizar la información del sector AEC y trabajar con grandes cantidades de datos. Información que se puede compartir multidisciplinariamente para el trabajo colaborativo.



**BIM**



# Qué es, uso, orígenes e implantación.

BIM son las siglas en inglés de *Building Information Modeling* (también aceptado como *Building Information Management*), que al español se puede traducir como Modelo de Información del Edificio; Modelado de Información de Construcción; Modelado de Información para la Edificación; o Gestión de la Información de la Construcción. Antiguamente se conocía como VCM, *Virtual Construction Model* o Modelo de Construcción Virtual en español.

Y bien, como hemos visto en el apartado anterior no es otra cosa que una **metodología de trabajo**, que recopila, genera y gestiona **datos** en tiempo real sobre un edificio, una infraestructura o cualquier tipo de proyecto constructivo (inicialmente se focalizaba al sector de la edificación pero actualmente tiene mucho éxito en la obra civil). Como muchos suelen pensar erróneamente BIM no es Revit, ArchiCAD o cualquier otro software de los muchos existentes (de la misma manera que CAD no es AutoCAD). Sino que es una 'disciplina' (conjunto de normas que rigen una actividad), una serie de métodos, prácticas y procesos sucesivos donde esos software son meras herramientas de trabajo que permiten el ejercicio de la metodología. Una condición ineludible a su práctica es el uso de un **lenguaje universal estandarizado** independiente del software utilizado, que permita el intercambio de información sin la pérdida o distorsión de datos. De esta manera se logra que todos los agentes involucrados en la construcción puedan trabajar colaborativamente añadiendo u obteniendo información del modelo, en cualquier momento, en cualquier lugar, **durante todo el ciclo de vida del edificio**. Y esta

es otra de las premisas del BIM, que gestiona datos para su uso durante todas las etapas del edificio: proyecto, construcción, vida útil e incluso demolición.



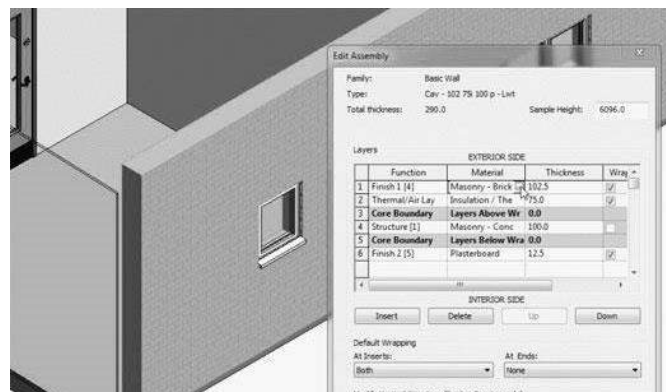
La metodología de trabajo consiste en recrear, construir un modelo o maqueta del edificio virtualmente y en tres dimensiones,

de la misma manera en que será físicamente construido posteriormente. En él se incluyen todo tipo de datos, como las dimensiones y propiedades de los elementos o entidades digitales, materiales utilizados, fabricantes, precios, sistemas constructivos, proceso y tiempos de construcción, información geográfica, etc. (Jurado Egea, 2016, pág. 9) La actualización de estos datos ligados al proyecto durante su ciclo de vida nos permiten constituir una **realidad virtual dinámica y actualizable**, que posibilita su optimización en todas sus etapas y una base

Figuras 1 y 2: visualización de distintas partes de un proyecto BIM: acabados, envoltente, estructura e instalaciones. Obtenidas de: <https://architecturenw.co.nz> y <https://www.curtisengine.com>

fiable para la toma de decisiones. Además facilita la industrialización de la edificación permitiendo la transmisión eficiente de información del proyecto a la fabricación, sin pérdidas ni reelaboración.

A medida que se trabaja en el modelo y se van produciendo modificaciones, este **se actualiza automáticamente** en toda su extensión, lo que evita reflujos y repeticiones de trabajo. Es decir, si una vez en el modelo ya avanzado, se cambia algún elemento, algún material, o alguna de sus propiedades, estas se cambiarán automáticamente en todos los similares. Para ello, es necesario catalogar y detallar todos y cada uno de los elementos y materiales utilizados. *"Las soluciones BIM crean y operan sobre bases de datos para la colaboración, gestión de cambios a lo largo de esas bases de datos de modo que un cambio en cualquier parte de la base de datos, está coordinado en todas las otras partes, y captura y preserva la información para su reutilización por otras aplicaciones específicas de la industria. A través de la aplicación de la tecnología de información para el problema de describir un edificio en el software, se permite un trabajo de mayor calidad, gran rapidez, y la mejora de la rentabilidad para el diseño, construcción y operación del edificio."* (del Solar Serrano, Andrés Ortega, Vivas Urías, de la Peña González, & Liébana Carrasco, 2014, pág. 5) Para que todo esto funcione los datos deben estar estructurados y clasificados. *"Así que entonces es necesario utilizar un sistema estándar de clasificación de elementos, para que cuando alguien diga EW01, todos entiendan que se trata de un muro exterior tipo 01."* <sup>11</sup> Gracias a esto, procesos como el de la obtención de todas las mediciones, cuadros de superficies, acabados, etc. del proyecto quedan consecuentemente **automatizados**.



Una ventaja proyectual que ofrece frente al ejercicio tradicional es la supresión de la necesidad de elaboración manual de la documentación básica basada en la representación vectorial como plantas, alzados, secciones, detalles constructivos, axonometrías o vistas. Todos ellos se obtienen también de forma automatizada de dicho modelo, el cual por el contrario está basado en **"objetos"**, lo que supone un enorme ahorro de tiempo y esfuerzo. Por consiguiente también se suprime la necesidad de documentar mediante planos todo el proyecto como se ha hecho de forma tradicional hasta ahora, abriéndose una nueva modalidad de trabajo en la que cada parte interesada puede extraer del modelo virtual la documentación que precise en cada momento.



Producir planos o PDFs es un atraso que sólo nos consume tiempo. *"Debemos aceptar que la producción de documentos estáticos en 2D es un proceso que está condenado a desaparecer a medio plazo."* <sup>12</sup> No con esto se quiere decir, que todo el proceso de trabajo de un arquitecto quede automatizado. La Arquitectura se sobrepone a las herramientas utilizadas, como tradicionalmente han sido el estilógrafo, la escuadra, el cartabón o el CAD. Las labores del profesional consisten en orquestrar todos sus conocimientos y vivencias para obtener resultados funcionales que a su vez sean capaces de emocionar. Este sector está viviendo actualmente la transformación digital, los materiales, los sistemas constructivos, la tecnología y las herramientas, todo, está evolucionando y así, debe convivir y evolucionar con ellos pues ni hoy, ni hace 20 años se proyecta como hace 200. *"La Arquitectura convive, crece, se transforma, evoluciona, y no puede estar ajena al cambio social histórico de cada momento y tampoco ajena al cambio tecnológico"*. Adaptarnos significa dejar de proyectar en 2D para construir en 3D, abandonar las metodologías del siglo pasado, comprender que los medios de diseño y producción habituales ya no son

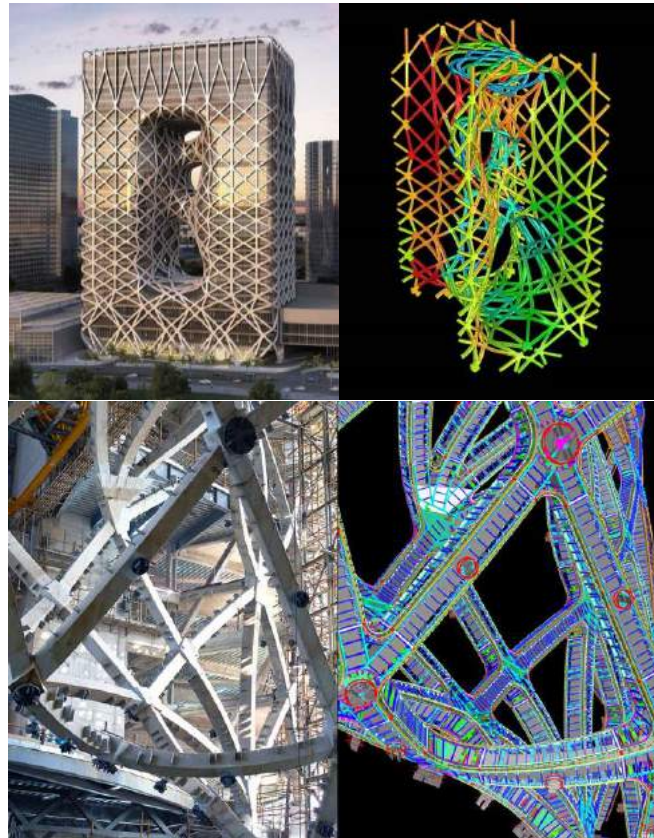
**Figura 1:** elementos y propiedades que componen un muro. Obtenida de: <https://www.thenbs.com>

**Figura 2:** obtención automatizada de la documentación de un modelo de información. Obtenida de: <https://www.graphisoft.es>

<sup>11</sup> Nogués, José E. (Julio de 2017). Revista del Colegio de Arquitectos de Valladolid. Presente y futuro de la arquitectura (Nº 9). *Los Niveles de madurez del BIM*, 8

<sup>12</sup> Nogués, José E. (Julio de 2017). Revista del Colegio de Arquitectos de Valladolid. Presente y futuro de la arquitectura (Nº 9). *Empezar con el BIM*, 15

competitivos, y que BIM constituye el nuevo paradigma arquitectónico y constructivo capaz de satisfacer multidisciplinariamente todas las exigencias actuales. *Maestros de la arquitectura contemporánea como Frank O'Ghery o Zaha Hadid han llevado al extremo las posibilidades del BIM, entendiendo que las nuevas tecnologías les permitirían aumentar su creatividad y llevarla hasta límites no imaginados.* (Revista del Colegio de Arquitectos de Valladolid, 2017, págs. 3-4)



Como vimos en el apartado anterior, todo esto no es más que la mencionada transformación digital del sector y la adaptación a la ideología de la **Industria 4.0** y sus **"tecnologías habilitadoras"** como son la gestión de grandes y variadas cantidades de datos - *Big Data*-, el procesado descentralizado de los mismos -*cloud computing*-, la conexión de todos los procesos -*Internet of Things*-, la industrialización y automatización de todos los

procesos, y como veremos más adelante, la inclusión de tecnologías emergentes como la Realidad Virtual y Aumentada, el uso de drones, de fabricación aditiva, y de robótica avanzada en general. Como consecuencia los procesos constructivos aumentan su eficiencia y productividad, así como la transparencia en la gestión y la calidad del producto, se reducen los costes, incrementa la colaboración entre todos los agentes implicados, y sobre todo una gran mejora en cuanto a sostenibilidad se refiere.

Entonces, podemos entender el BIM como una serie de procesos en lo que se gestionan todo tipo de datos, desde planos y especificaciones hasta fotografías, levantamientos topográficos, aspectos técnicos, estructurales, de instalaciones y eficiencia energética, datos de viabilidad, asignación de plazos y tiempos, costes, materiales, fabricantes, legislación de la ciudad... agrupados, analizados y procesados para generar una información duradera y disponible durante todo el ciclo de la edificación, y posterior a ella (Qué es BIM?, 2018). Esta metodología garantiza la interoperabilidad en tiempo real de todos los agentes involucrados gracias a la gestión de la información en un **formato común y libre**. El resultado son edificios o construcciones inteligentes, integradas en el entorno, más eficientes, sostenibles, y cuya gestión puede ser diaria gracias al uso de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC).

Puesto que existen numerosas definiciones posibles sobre el BIM, para facilitar su comprensión vamos a establecer una serie de **objetivos** o premisas asociadas:

- ▶ Constituir una única base de datos centralizando toda la información del proyecto en un modelo o maqueta virtual creado por todos los agentes participantes.
- ▶ Trabajo colaborativo y multidisciplinar, en tiempo real, a través de una única plataforma de trabajo, basada en un lenguaje universal, estandarizado y exportable independiente del software utilizado, cuyo objetivo final es facilitar la colaboración y participación de todos los involucrados, en todas las fases de la edificación.
- ▶ Evolución de los sistemas tradicionales de diseño basados en vectores planos hacia el trabajo en tres dimensiones basado en "objetos" digitales, incorporando nuevos factores como el del tiempo, los costes, el ambiental, y de operación-mantenimiento.

**Figuras 1-4:** *The Morpheus Hotel*, Cotai, Macao, China. 2018. Zaha Hadid Architects. Diseño y análisis del sistema mediante BIM. Obtenidas de: <https://www.frontinc.com>



- ▶ Traspaso de la información entre diferentes partes y proyectos, agilizando el trabajo y evitando los reprocesos.
- ▶ Visión holística del ciclo de vida: ampliación de la metodología más allá de las fases de diseño extendiéndose durante todas las fases de la edificación.
- ▶ Visión holística del proyecto: conexión entre las diferentes disciplinas de la edificación. La modificación en una de ella supone la actualización en todas las demás.
- ▶ Automatización del proceso de generación de documentación: planos, presupuestos, mediciones, certificados etc.
- ▶ Gestión de datos, no de documentos en papel.
- ▶ Gestión de los procesos, y toma de decisiones basadas en la información.



Por lo tanto, comprendiendo todo lo anterior podemos comprender los **usos erróneos** que en ocasiones se hacen del BIM, como pueden ser:

- ▶ Trabajar con software como Revit o ArchiCAD no significa trabajar en BIM si no se aplican los métodos y procesos establecidos con rigor y orden.
- ▶ Realizar un modelo en 3D que sólo trabaja con geometrías y volumetrías, pero que no lo hace con sus propiedades, las de sus elementos, sus relaciones y comportamientos, etc. tampoco es trabajar en BIM.
- ▶ Otro error muy generalizado es el uso de la metodología única y exclusivamente en las fases iniciales proyectuales de diseño. La gran utilidad y ventaja del modelado de información para la

edificación es su adopción y ampliación más allá del diseño a todas las demás etapas.

- ▶ Un error común relacionado con el anterior, pero en todo el sector de la edificación en general, es la imprevisión y el olvido de la finalidad de la edificación, su ciclo de vida útil. Lo habitual al contratar un proyecto es contar con los gastos iniciales de diseño y construcción, omitiendo los futuros gastos asociados a su operación y mantenimiento que supone un 80% de su vida y que pueden llegar a ser 4 veces superiores a los iniciales. De la misma manera en que cuando compramos un coche somos conscientes de que necesitará durante sus años útiles inspecciones técnicas periódicas, y diversas intervenciones con un correspondiente gasto económico, demos concebir los edificios de la misma manera. La metodología BIM nos va a facilitar la previsión y gestión de estos gastos y labores de mantenimiento o sustitución acompañándonos durante todo el ciclo de vida del edificio.

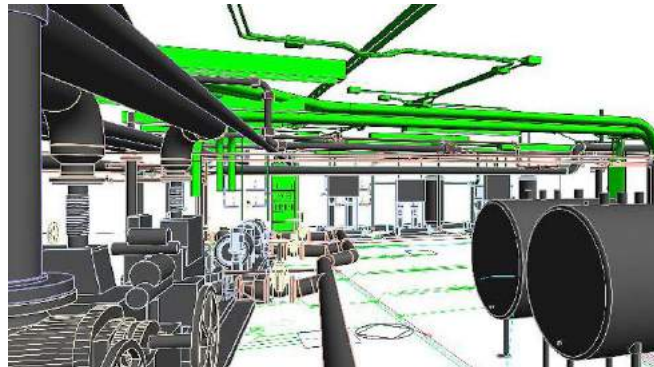
Un buen y correcto uso de esta disciplina consiste entonces en la construcción virtual de la edificación análogamente a como lo haríamos en la realidad física, gestionando en una sola plataforma datos y “objetos” en vez de documentos independientes, que generan confusión, errores, gastos y retrasos inesperados. La realidad virtual constituida es un magnífico **campo de pruebas** que facilita la detección y resolución de conflictos en el diseño, así como interferencias entre sistemas **antes de su construcción real**, con todos los beneficios que esto aportará a la mejora y optimización del proceso edificatorio. Al mismo tiempo permite la simulación de procesos como por ejemplo la logística y almacenaje de materiales, o la intervención de maquinaria pesada durante la obra, previendo sus dimensiones, circulación y maniobrabilidad, evitando así futuros problemas por colisiones, falta de espacio, inaccesibilidad, o circulación rodada de maquinaria pesada sobre lugares indebidos como puede ser la cubierta de un sótano cuyo diseño no soporta tantas cargas. Para ello es necesario definir todo desde un comienzo, desde el diseño y planificación del proyecto, hasta su puesta en marcha y entrega, además de las futuras operaciones de mantenimiento, desmantelamiento y gestión de los residuos que genere.

*El modelo virtual (o VCM, como decíamos antes) es tu copia virtual del edificio, el que puedes usar para hacer mantenimiento (sabiendo exactamente donde están las*

tuberías y los demás elementos de instalaciones), el que puedes usar para gestionar los espacios, para simular evacuaciones o para hacer cálculos energéticos en cualquier momento... Si, el que también puedes usar para planificar una reforma, y que vas a poder actualizar con los cambios hechos durante la reforma, teniendo siempre un edificio virtual al día y no unos planos en papel poco fiables y obsoletos. Resumiendo, que el beneficio de utilización del modelo BIM se incrementa según pasa el tiempo en el proyecto, siendo mayor durante la construcción que durante el modelado, y siendo mayor en la fase de utilización y explotación que durante la fase de construcción. Es por eso que, en los proyectos en los que de verdad se utiliza la metodología BIM de un modo efectivo, la decisión de utilizar BIM nunca se toma por el arquitecto o los ingenieros, ni siquiera por la constructora, sino que es una decisión que toma la propiedad del edificio o de la infraestructura final.<sup>13</sup>

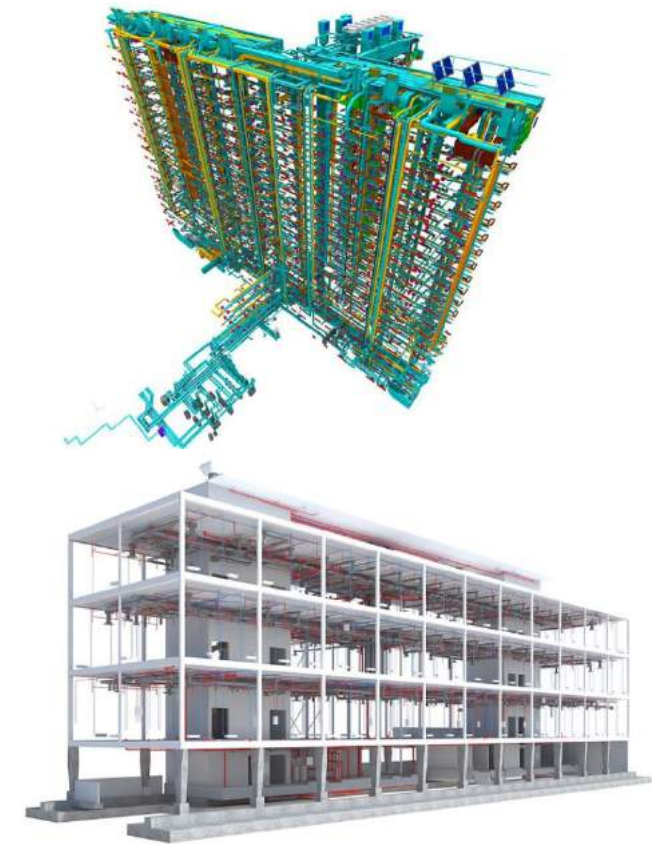
El orden y la subdivisión de disciplinas es de vital importancia, para lo que comúnmente se separa el proyecto en: obra gruesa, instalaciones, terminaciones, exteriores y trabajo interno. Estos se operan en diferentes modelos virtuales, pero vinculados en tiempo real entre ellos y la obra, de modo que la modificación en uno de ellos supone la actualización de todos. De esta manera esta subdivisión refuerza la característica ineludible de esta disciplina que es la **holística**, la consideración del proyecto como un todo y no como partes independientes.

Manteniéndonos en la vanguardia tecnológica y beneficiándonos de las posibilidades que la gestión de macrodatos, el IoT y el *cloud computing* nos aportan, es la única manera en que podemos gestionar grandes escalas de trabajo y desarrollar proyectos de alta complejidad.



Figuras 1-3: proyectos BIM en los que visualizamos las instalaciones y/o la obra gruesa. Obtenidas de: <https://www.esbim.es/>

<sup>13</sup> Cortés Yuste, E. (2014). Spanish Journal of BIM 15/01. BIM: ¿Por qué?, ¿Para qué?, ¿Para quién?, 64-65.



Los **ORÍGENES** del *Building Information Modeling* son confusos, hay quien lo remonta a 1975 con la publicación del primer trabajo sobre BIM por el profesor Chuc Esatman del Tech Institute of Technology, y hay quien adjudica su difusión y popularización al analista de la industria Jerry Laiserin famoso por sus publicaciones líder sobre la práctica digital del siglo XXI. Una de las fechas más importantes es 1984, año en que surge ArchiCAD de Graphisoft, primer programa informático BIM. Más tarde en el año 1999 aparece el famoso Revit, adquirido y desarrollado por Autodesk a partir de 2002.

La implantación de la metodología BIM ha tenido mayor éxito en otros países que en España, donde la planificación y previsión de su establecimiento se ha visto muy retrasada. Pero, si todo este tiempo ha convivido con el CAD (1955) ¿qué ha pasado para que

éste triunfase primeramente, y ahora sea el BIM el que se imponga con mayor autoridad en España?

El triunfo inicial del Dibujo Asistido Computacionalmente tiene que ver con su sencillez y comprensión, entendiéndose como un desarrollo o extensión digital de los procesos tradicionales de generación de documentos y planos manualmente.

El posterior triunfo del BIM tiene que ver con la explosión de la burbuja inmobiliaria y el inicio de la crisis inmobiliaria del país, a finales de 2007 e inicios del 2008. Esta crisis supuso el hundimiento del sector y el inicio de unos cuantos años de inactividad. Durante este parón, comenzó la transformación digital y se produjo un aumento de las exigencias de sostenibilidad, medio ambientales, y de la eficiencia energética. A su vez los profesionales del sector han empleado su tiempo formándose y adaptándose a las nuevas tecnologías, y en repensar el modelo productivo de la construcción.

*Durante la crisis inmobiliaria, nosotros tuvimos un parón, pero los sectores tecnológicos siguieron avanzando. Ahora, aunque no lo hemos superado completamente, todo apunta a que no va a volver a empeorar, y es el momento de aplicar esos desarrollos en todo el proceso de construcción. Además de todas las consecuencias indeseables, los años de crisis también han hecho que aumenten y mejoren las exigencias en temas como la eficiencia energética y la sostenibilidad, que antes no se tenían en cuenta porque todo se vendía. La edificación es de los procesos menos industrializados; la pared de ladrillo sigue construyéndose como lo hacían los sumerios, con diferencias en algún matiz del material. Parece incoherente que, con el gran proceso evolutivo que han experimentado tantas cosas, no haya habido una modificación mayor en este sector. En España, la construcción industrializada no ha funcionado como en otros países, pero un episodio tan grave como la crisis ha hecho que empiece a despertar y a querer digitalizarse.<sup>14</sup>*

El BIM nos permite alejarnos de técnicas obsoletas y alcanzar la industrialización de uno de los sectores más atrasados globalmente, aumentar la eficiencia y la calidad, a la vez que responde ante las nuevas exigencias de optimización de los recursos y sostenibilidad como el Objetivo 20/20/20 -estrategia de la Unión Europea para 2020 con el que garantizar un futuro

sostenible que genere pocas emisiones de carbono y consuma menos energía- o el acuerdo de París con el que se espera que para 2050 los edificios sean autosuficientes energéticamente. Otro de los mayores problemas del sector es la incertidumbre e ineficiencia en el uso del tiempo y el dinero, que resulta en construcciones que se alargan un 20% más del plazo estimado y cuyo coste se eleva a un porcentaje demasiado alto frente al establecido inicialmente, que muchas de las veces es inadmisibles. La solución para erradicar todos los problemas y exigencias de una vez, entra en la definición holística del BIM, que se basa en combinar todos estos factores que influyen en el proyecto -factores que normalmente se plasmaban en momentos, procesos y documentos diferentes-, a la vez y en el mismo espacio de trabajo, constituyendo una **base de datos central y en tiempo real** que permite controlar de forma global todos los detalles.

*En el caso de España, este nuevo modelo ofrece grandes oportunidades. En un país con un 21% del parque edificatorio construido antes del año 1950, el 55 % anterior a 1980 y el 90% previo a las exigencias del Código Técnico Edificación, y que, además, empieza a levantarse de la crisis del sector; la rehabilitación basada en estos parámetros y el comienzo de nuevos edificios facilitarían el acceso a viviendas con los elementos principales inventariados para realizar un adecuado mantenimiento y seguimiento a un mayor número de personas, mejoraría la calidad de vida en nuestras ciudades y pueblos, y además permitiría optimizar los recursos disponibles y reducir los gastos.<sup>15</sup>*

Si con estos y otros muchos motivos, la **IMPLANTACIÓN** de la metodología de la Gestión de Información para la Construcción, no termina de convencer a los profesionales, quizá lo haga el hecho de que ahora **es obligatorio** según qué país. En los últimos años ha alcanzado gran fama por las numerosas ventajas y mejoras que brinda en el sector, tanto, que finalmente los gobiernos han terminado por imponer su uso en proyectos públicos como nuevo estándar para el sector de la construcción. El Parlamento Europeo estableció la Directiva 2014/24/UE con la cual exigía a sus 28 países miembros el uso de la metodología BIM o similares (herramientas de modelado electrónico y de información de las construcciones) en todos los procesos de

<sup>14</sup> Paños Arroyo, J. (16 de Abril de 2018). "Quien trabaje mal en construcción queda retratado en el software BIM". Obtenido de MIT Technology Review: <https://www.technologyreview.es/s/10150/quien-trabaje-mal-en-construccion-queda-retratado-en-el-software-bim>

<sup>15</sup> Méndez, J. (15 de Junio de 2016). *La construcción del futuro tiene nombre: BIM. La nueva metodología permite construir edificios inteligentes y energéticamente eficientes*. Obtenido de El País: [https://elpais.com/economia/2016/06/15/vivienda/1466005630\\_855992.html](https://elpais.com/economia/2016/06/15/vivienda/1466005630_855992.html)

contratación de obras, servicios y suministros a partir de septiembre de 2018, dejando abierta la posibilidad de que los Estados miembros exijan el uso de herramientas específicas para ello.

Tras esta directiva el Ministerio de fomento Español en agosto de 2015 creó la "Comisión BIM" encargada de determinar las fechas para su entrada en vigor, verificar y analizar su implantación, y establecer las pautas de su uso. Así sucedió el 17 de diciembre de 2018, fecha en la que su uso ya es obligatorio para todos los procesos de contratación de obras, servicios y suministros financiados con fondos públicos. En continuación se han establecido nuevas fechas de implantación para el 26/07/2019 en la que su uso será también obligatorio en todas las licitaciones públicas de infraestructuras.

Los arquitectos que en su día hayan vivido la aparición de los ordenadores personales y el CAD habrán visto como estos no han supuesto una amenaza para la profesión, sino que de hecho la han transformado para mejor, permitiendo la realización de proyectos imposibles de realizar sin estas nuevas herramientas digitales. Los cambios siempre generan miedos y confusiones que afectan a la productividad y la calidad. Pero el cambio es necesario y las empresas e instituciones que deseen garantizar su supervivencia deben adaptarse y evolucionar. Hoy en día el BIM no es una opción, es un camino unidireccional de no retorno. *"Cualquier buena empresa constructora que se precie cuenta entre sus objetivos el abaratamiento de las obras, el cumplimiento de los plazos y la óptima calidad en su producto final. El afán por la mejora continua y colocarse entre las empresas más competitivas del sector hacen a este tipo de clientes acercarse al mundo BIM."* <sup>16</sup>

Como cualquier cambio, la transformación no es sencilla, y requiere de tiempo y gran dedicación para su aprendizaje e implantación, lo que a su vez supone una época de baja productividad una inversión económica inicial asociada a la adquisición de licencias, renovación de equipos poco eficientes y formación del personal. Sin embargo, estos sacrificios serán superados muy ampliamente por los enormes beneficios y ahorros que brinda a medio plazo.

Dentro de un proceso BIM existen muchas personalidades como los modeladores BIM; el *BIM Lead Designer* –director de la gestión de diseño-; el *BIM Project Manager* -director de proyecto-

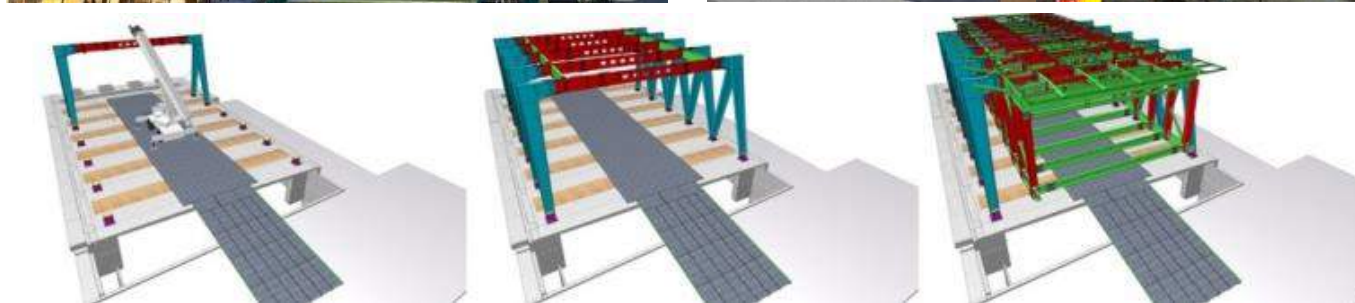
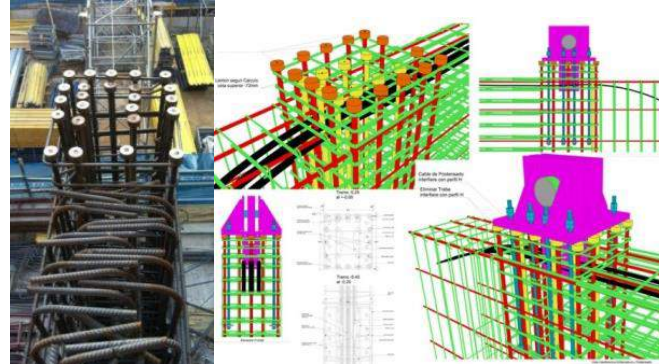
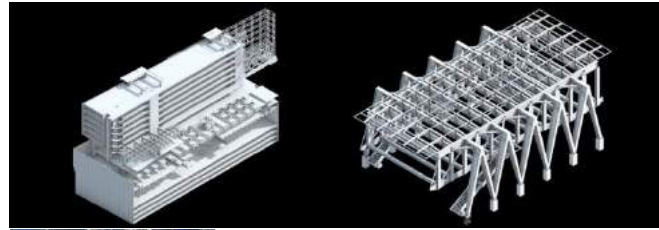
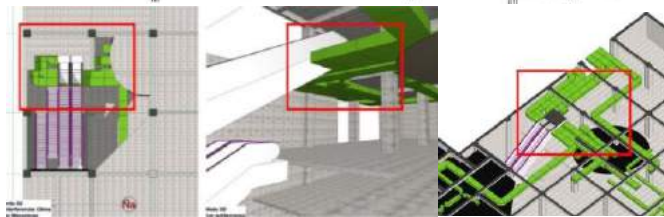
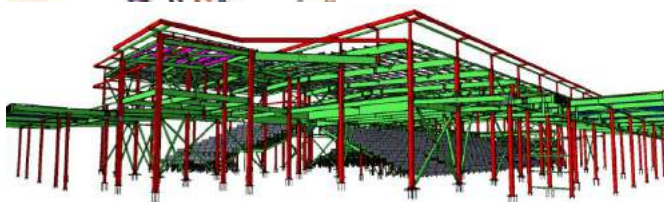
y el *BIM Manager* –director técnico-; coordinadores, analistas, especialistas..., hasta técnicos y operarios BIM, que no deben ser profesionales del modelado, sólo buenos consultores que sepan extraer correctamente la información necesaria para aplicarla en sus sectores. Es fundamental que todos los agentes anteriores entiendan la metodología y sepan utilizar sus herramientas, ya que cada uno de ellos forma parte de esa metodología BIM y poseen competencias propias con acceso a la información que les es útil. *...la metodología BIM se fundamenta en la recopilación de información, la gestión de la misma y la comunicación y enriquecimiento de un proyecto por parte de cada uno de los agentes participantes. Todos deberán sumar datos con un lenguaje único e interpretable para todos al tiempo que deben adaptarse a la nueva metodología para que realmente tenga sentido su aplicación... BIM ofrece la oportunidad de extraer información de un contenedor, gestionarla y devolverla al mismo comprobando su coherencia y la validez de las relaciones modificadas.* (Revista del Colegio de Arquitectos de Valladolid, 2017, págs. 10-13)

Antes de entrar en tecnicismos y profundizar más en el tema, vamos a mencionar dos de los ocho **casos de éxito** de Graphisoft y su aplicación BIM a través de ArchiCAD: el MALL PLAZA EGAÑA -La reina, Santiago de Chile, desarrollado por la oficina de arquitectura de Hernán Salazar Stuart Arquitectos y el diseño estructural por RCP Ingeniería. Primer Mall Sustentable de 6,400m<sup>2</sup>-, y el BEAUCHEF PONIENTE -Beauchef, Santiago, Chile, facultad de Ciencias Físicas y matemáticas de 50,000m<sup>2</sup> desarrollada por la oficina de Borja Huidobro + A4 arquitectos-. Son proyectos de gran envergadura en los que cualquier tipo de error genera grandes costos por atraso o interferencias. Por ello la coordinación y gestión BIM fue de vital importancia, permitiendo prevenir y corregir errores con el modelo virtual, en el que pudieron detectar y adelantarse a los problemas del proyecto que vendrían, así como resolver los problemas acumulados del día a día en la obra.

ArchiCAD permitió la reducción de tiempos de entrega en un 28%, manejar grandes superficies de gran complejidad, el trabajo en equipo relacionando a todos los diferentes especialistas en un solo modelo, el traspaso directo de la información de la computadora a la obra, incluso la gestión de logística y almacenaje de grandes cantidades de materiales previamente a su compra.

<sup>16</sup> García G., Azucena. (Julio de 2017). Revista del Colegio de Arquitectos de Valladolid. Presente y futuro de la arquitectura (Nº 9). *La implantación BIM*, 10

La metodología de trabajo se realizó en diferentes módulos vinculados entre sí, que permitieron tener el control total en todo el ciclo del proyecto. (Cruz, 2015).



UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

Alumno: ALEJANDRO GONZÁLEZ CHAMORRO  
Tutor: JESÚS SAN JOSÉ ALONSO

Figuras 1-4: Mall Plaza Egaña, Santiago de Chile, HSS Arquitectos, 2013. Estado actual y Proyecto BIM desarrollado por CAAD. Obtenidas de:

<http://centrodeinnovacion.uc.cl> y  
<http://blog.graphisoft.lat/bim-el-futuro-es-ahora/>

Figuras 5-9: Beauchef Poniente, Borja Huidobro + A4 arquitectos, 2014. Proyecto BIM desarrollado por CAAD. Obtenidas de:

<http://blog.graphisoft.lat/archicad-un-nuevo-estandar-necesario-para-la-construccion/>

# Profundizando en conocimientos técnicos. Los LOD, las dimensiones, el IFC, etc.

Una vez hemos comprendido qué es el BIM vamos a profundizar en algunos de los aspectos técnicos más importantes para conocer aún mejor como funciona esta metodología de trabajo. Para ello vamos a definir algunos conceptos:

► **LEVEL OF DEVELOPMENT, LOD:** escala de referencia para la clasificación del Nivel De Desarrollo, grado de madurez o integridad del proyecto o de una de sus partes, sistemas o elementos.

Al igual que hemos podido observar los que trabajamos en CAD o con modelos 3D tradicionales, la definición que queramos alcanzar en las fases de diseño es un proceso ambiguo, no estipulado y que se puede alargar hasta donde nosotros decidamos. Por ejemplo, al representar un muro o un forjado en dos dimensiones, podemos hacerlo desde una doble línea, añadir un poco más de detalle mediante más líneas y tramas que representen cada una de las capas, hasta definir perfecta y fielmente su realidad constructiva, cada uno de los elementos y capas que lo componen (estructura, aislamientos, capas de nivelación, enlucidos, revocos, estructuras auxiliares, acabados interiores y exteriores, etc.). Si continuamos su definición, podemos definir también las instalaciones que discurran por su interior (iluminación, ventilación, fontanería, instalación eléctrica, etc.). Incluso podemos llegar a un nivel máximo de desarrollo en el que por ejemplo los accesorios de las tuberías o los apliques de interruptores y enchufes asociados a las instalaciones aparezcan también definidos. (Esarte Eseverri, 2018)

Generalmente, en la representación en 2D estos niveles de definición corresponden a las escalas de representación, que varían desde las utilizadas para una documentación básica

-de 1:500 a 1:50- hasta las utilizadas para representar detalles y procesos constructivos -1:10 hasta incluso la 1:1-.

En el diseño BIM sucede entonces algo similar, aunque técnicamente sobre lo que se trabaja es sobre el nivel de desarrollo y no el nivel de detalle, que tiene que ver con el hecho de que no se trata de definir el detalle de representación asociado generalmente a cuestiones de geometría, sino con el desarrollo constructivo. De hecho, una de las facilidades y automatizaciones de procesos que BIM nos ofrece, es que independientemente del nivel de desarrollo alcanzado, a la hora de extraer del modelo de información la documentación básica del proyecto podremos elegir el nivel de definición (o escala de representación) a la que queremos representarlo. Es decir, un muro que ha sido construido virtualmente al máximo nivel de detalle, en su representación en 2D podemos elegir si queremos representarlo con una doble línea para usar la escala 1:200 o queremos contar su composición interna a escala 1:10.

Es necesario entonces que los modeladores sepan perfectamente sobre lo que están trabajando y el nivel de exigencia que se le pide, para no pecar de algo muy común, el sobremodelado, y llegar más allá de lo razonablemente necesario, lo cual supone un desperdicio de tiempo, recursos, y un sobreporcesamiento de los dispositivos sin que esto suponga un valor añadido sobre el resultado. (Esarte Eseverri, 2018)

Los niveles han sido perfectamente definidos por el AIA (American Institute of Architects), estableciendo unos estándares internacionales que van desde el -LOD 100- hasta el -LOD 500- a través de la publicación de una serie de documentos de contrato que se han ido actualizando desde 2002. Existen otros estándares como el *British Standards Institute BSI: PAS 1192*, el *NBS: Levels of definition* o el *NATSPEC (Australia): Object Matrix*, pero nos centraremos en el primero por su carácter internacional y su uso extendido.

▲ LOD 100: corresponde al diseño más inicial, a las fases conceptuales. No se trabaja con datos, representaciones geométricas, ni dimensiones precisas. Con estos "bocetos" BIM permite realizar estimaciones de costos a partir de otras fuentes relacionadas con el diseño. Utilizado habitualmente para la redacción del anteproyecto.

▲ LOD 200: nivel en el que se trabaja la geometría del modelo, con dimensiones, cantidades, ubicación y orientación aproximadas. Se puede asociar algún tipo de información que permita hacer estimaciones de costos algo más precisas. Correspondería a un proyecto básico de arquitectura o ingeniería.

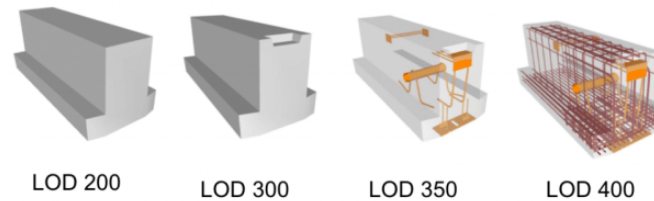
▲ LOD 300: desarrollo correspondiente al nivel de ejecución. La estructura y los elementos arquitectónicos quedan perfectamente definidos. Todos los datos e información asociada a los "objetos" son precisos. Esto permite realizar mediciones y tomar medidas directamente del modelo sin necesidad de documentos complementarios. Estos "objetos" incluso están identificados de forma que podemos conocer su marca, fabricante, modelo, etc. Permite obtener presupuestos detallados.

▲ LOD 350: nivel de desarrollo intermedio que presenta detalles arquitectónicos más específicos. Añade sobre el anterior nivel nueva información relacionada con las conexiones y ensamblajes entre "objetos" y sistemas, incluso los sistemas electromecánicos. De esta manera se pueden realizar simulaciones y análisis precisos con los que detectar interferencias, colisiones u otros conflictos espaciales.

▲ LOD 400: desarrollo necesario para producir toda la documentación de taller necesaria, en la que se definen todos los componentes, piezas y accesorios, permitiendo la su fabricación e instalación. En proyectos especializados como plantas industriales o plantas de energía, es necesario el desarrollo total del modelo a este nivel, debido a las grandes exigencias de eficiencia y seguridad necesarias en este tipo de proyectos.

▲ LOD 500: el comúnmente denominado "*as built*", es decir, tal y como está construido. Modelo actualizado durante y después de la obra que representa fielmente la realidad constructiva de la edificación en la realidad física, acumulando también toda la información de los niveles anteriores.

Los LOD establecidos son fijos e inalterables, es decir, no podemos trabajar con un LOD 375.



En un proyecto BIM no es necesario que su totalidad esté al mismo Nivel de Desarrollo. Puesto que sobre el mismo modelo trabajan muchos agentes multidisciplinariamente y que el modelo puede subdividirse en otros vinculados, podrá trabajarse con diferentes LOD en las diferentes partes según la necesidad. Por ejemplo, podemos desarrollar la obra gruesa a un LOD 300 y las instalaciones a un LOD 350, y un elemento concreto de diseño a un LOD 400.

▶ **LEVEL OF INFORMATION, LOI:** cantidad de información no modelada en un proyecto BIM asociada o vinculada a "objetos" o sistemas, que pueden ser tablas, especificaciones, información paramétrica, datos específicos del fabricante, instrucciones de mantenimiento, etc.

▶ **DIMENSIONES:** como ya sabemos la metodología BIM trabaja con todo tipo de datos, parámetros e información mediante una sucesión de procesos. Unos planos en 2D o un modelo geométrico en 3D por sí solos no son BIM, pero sí forman parte de él. Esta metodología por lo tanto trabaja a mayores del 2D y el 3D con una serie de informaciones, parámetros o dimensiones que son las siguientes:

▲ 1D y 2D: "dimensiones" por llamarlo de alguna manera correspondientes a la delineación vectorial, el diseño paramétrico, el software utilizado, etc.

▲ 3D: modelo geométrico virtual en tres dimensiones. Corresponde a la fase más básica o tradicional que los profesionales habrán realizado habitualmente en AutoCAD o SketchUp, para generar una maqueta virtual de la que obtener vistas, axonometrías y renders. En un proyecto BIM concierne a toda la información geométrica (dimensiones, ubicación, orientación, etc.) del modelo y cada uno de sus componentes.

▲ 4D: la dimensión del **tiempo** se agrega al modelo anterior. El resultado es un modelo 3D cronológico, en que se pueden ver su proceso de construcción y generación. En un modelo BIM

Figura 1: LOD, Niveles De Desarrollo de una viga de hormigón armado. Obtenida de: <https://mundobim.com>

bien desarrollado nos aporta información sobre los plazos de entrega, procesos de fabricación y montaje, interferencias entre unos y otros, etc. De la misma manera esta dimensión también hace referencia al factor "en tiempo real" por el que todos los agentes y modelos vinculados están conectados y actualizados.

▲ 5D: se añade la dimensión económica. De esta manera los cada "objeto", material y sistema posee información asociada sobre su coste, y por extensión podemos conocer el presupuesto completo y detallado del proyecto, las mediciones, balances y estudios económicos, planes de inversión, etc. Análogamente al resto de funciones del BIM, si a medida que se producen modificaciones en cualquier parte del modelo, también el presupuesto automáticamente se ve actualizado.

▲ 6D: dimensión correspondiente al ámbito performativo de la evaluación de sostenibilidad y factibilidad. El modelo se convierte en un campo de pruebas en el que realizar simulaciones energéticas, de sistemas, de sostenibilidad, de gestión de recursos, estudios del ciclo de vida, retorno de las inversiones, etc. y del que obtener todos los informes y certificaciones necesarias.

▲ 7D: información asociada a la operación y mantenimiento del edificio y sus componentes durante su fase más larga, la de su vida útil. Esta información es propia de cada elemento y generalmente es aportada por su fabricante. En inglés comúnmente se conoce como el *Facility Management*, FM, que nos permitirá gestionar eficazmente la información respecto a la administración empresarial, utilización, mantenimiento, sustituciones, inspecciones, etc.

Así como el BIM tiene un formato estándar y exportable (el IFC) el ámbito del *Facility Management* tiene el suyo propio, denominado COBle (*Construction Operation Building Information exchange*). De hecho el COBle no es más que una extensión del IFC que permite exportar toda la información referente a la gestión y mantenimiento a otro formato spreadsheetML compatible con las por todos conocidas 'hojas de cálculo Excell', de forma que cualquier persona encargada de la administración pueda realizar sus labores aunque no sea conocedora de la metodología BIM.

► **IFC: Industry Foundation Classes.** Este es el formato de intercambio de información BIM, abierto, neutro, estandarizado y exportable, independiente del software utilizado (Revit, ArchiCAD,

Cype, Edificius, etc.) que hemos venido mencionando a lo largo del trabajo y que está definido por la Norma ISO 16739:2013 y desarrollado por buildingSmart. Este formato facilita el intercambio de información sin la pérdida o distorsión de datos, la interoperabilidad y coordinación entre todos los agentes involucrados en un proyecto BIM, y la reutilización de información en otros proyectos. De esta manera cada agente puede trabajar con su propio software específico como puede ser el ingeniero de estructuras con Tricalc, el aparejador con Presto o Gest, y el arquitecto con Revit, para su exportación e incorporación posterior a un modelo centralizado.

► **BIM EXECUTION PLAN, BEP o BIM EP:** se trata de un documento, el Plan de Ejecución BIM, muy importante y que todos los implicados en un proyecto BIM deben conocer y entender por ser uno de los más utilizados. En él se fijan todas las partes, procesos, agentes implicados, sus responsabilidades, plazos de entrega, autorías, coordinación de modelos, los entregables, etc. Este documento permite alcanzar los estándares del EIR (*Employer's Information Requirements*), otro documento que define las necesidades del cliente en cada etapa de la construcción, fundamental para conocer los objetivos finales deseados por el cliente, puesto que no es lo mismo un proyecto BIM de viviendas que uno comercial, por ejemplo. BEP y EIR deben estar estrechamente relacionados (el primero no puede existir sin el segundo) para asegurar el correcto desarrollo del proyecto a tiempo y respetando los presupuestos. Estos documentos estarán accesibles en todo momento para el cliente, los contratistas, y todas las partes involucradas para que puedan conocer sus roles y responsabilidades.

► **MODEL ELEMENT TABLE, MET:** Tabla de Elementos Modelados. Documento que recoge el LOD al que se desarrollarán los elementos y sistemas de un proyecto BIM. Este documento se emite con y el anterior (BEP)

Se quedan en el tintero muchos otros conceptos y documentos, debido a que BIM es una metodología muy extensa y compleja que abarca un sinnúmero de tecnicismos y procesos muy necesarios para hacer un uso correcto de ella, pero que no son necesarios para comprenderla superficialmente, que es lo que se pretende en este trabajo.



# Ventajas de la implantación BIM

En resumen, el BIM ha llegado para quedarse y transformar el paradigma de la industria AEC tal y como la conocíamos. Su implantación, requiere de tiempo, dedicación e inicialmente de inversión económica, pero no aporta otra cosa más que beneficios a medio plazo. Vamos a enumerar las ventajas que supone frente a los medios tradicionales:

► **COORDINACIÓN MULTIDISCIPLINAR:** plataforma de trabajo única sobre la que todos los agentes involucrados (arquitectos, ingenieros, urbanistas, supervisores, jefes de obra, administradores, contratistas, inmobiliarias, etc.) pueden trabajar, fomentando la colaboración y coordinación multidisciplinarmente, en tiempo real, evitando la pérdida de información y aumentando la transparencia de procesos que tradicionalmente estaban independizados, aumentando por consiguiente la eficiencia, calidad y seguridad. La presencia del cliente adquiere mayor importancia, que puede supervisar los procesos de forma que todos los servicios se ajusten a sus preferencias.

Paradójicamente, al centralizar la información en la nube, la toma de decisiones queda descentralizada o deslocalizada, basándose estas en la información, y permitiendo acceder a ella a cualquier agente, en cualquier lugar y en cualquier momento.

El proceso inicial de diseño y concepción, que habitualmente ha estado cerrado al ámbito del arquitecto (o al del ingeniero en el caso de obra civil), el BIM permite que se abra y extienda a la colaboración con otros profesionales y otras disciplinas, logrando entonces diseños más complejos.

► **AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS:** procesos hasta ahora manuales como la elaboración de documentación, mediciones y presupuestos precisos, planificación de estructuras, informes, certificados de eficiencia energética y sostenibilidad, etc. quedan totalmente automatizados. La automatización también alcanza a la

actualización del modelo en su totalidad cuando se produce alguna modificación en alguna de sus partes, lo que suprime la necesidad de reprocesos para lograr la coherencia de información en toda la documentación.

Estas automatizaciones también permiten nuevas ventajas como la obtención de documentación en tres dimensiones, no solo para obtener axonometrías y renders con fines comerciales, sino para la obtención de documentación especializada con el fin de formar y facilitar la comprensión de los obreros y operarios con por ejemplo detalles constructivos en 3D más claros e intuitivos.

► **DETENCIÓN DE ERRORES:** el modelo de información virtual funciona como un campo de pruebas que permite detectar interferencias y errores antes de la construcción real, lo que supone ahorros millonarios y evita el retraso en los plazos de entrega. Estas ventajas se aprecian aún mejor cuando hay que realizar ajustes o modificaciones.

► **GESTIÓN Y ADMINISTRACIÓN:** este campo de pruebas virtual también permite realizar un seguimiento de las obras, coordinación de especialidades y proveedores, administrar procesos como el de movimiento de tierras, coordinación de la maquinaria pesada, logística de los materiales, roles y responsabilidades de cada uno de los agentes, etc., antes de que se produzcan, aumentando consecuentemente la eficiencia del proceso constructivo.

Posteriormente, durante el ciclo de vida útil de la edificación, el modelo de información "as built" permite realizar el *Facility Management* o gestión y administración de la operación-mantenimiento del edificio de forma más eficiente al disponer de toda la información del activo centralizada y bajo demanda.

► **SOSTENIBILIDAD:** una de las grandes ventajas que muchas veces se deja en segundo plano es la premisa de que esta metodología permite realizar un control exhaustivo de todos los materiales utilizados en obra, logrando así una gestión metódica de los bienes evitando el despilfarro de material, así como una optimización y reducción de los residuos generados. Análogamente permite trabajar y alcanzar las exigencias actuales de eficiencia energética y reducir las huellas de carbono y ambiental en uno de los sectores que hasta ahora ha sido de los más contaminantes a nivel mundial.



► **BIBLIOTECA:** otra de las nuevas ventajas que nos ofrece BIM es la existencia de una extensa biblioteca con gran oferta online de archivos compatibles ofrecidos por los diferentes fabricantes, que nos permiten incorporar automáticamente a nuestro modelo de información virtual elementos arquitectónicos y sistemas constructivos con toda la información asociada (dimensiones, ensamblajes, especificaciones técnicas, modelo, fabricante, contactos, etc.), sin necesidad de que el diseñador tenga que copiarlos, inventarlos y modelarlos por su cuenta. Esto supone una gran reducción de los tiempos de diseño y un aumento de la eficiencia y la calidad del resultado al disponer de productos optimizados para BIM totalmente similares a los productos que posteriormente se utilizarán en la realidad física. De esta forma tampoco se producirán interferencias y problemas en obra por diferencias entre el diseño y la realidad del producto. Cada vez son más los fabricantes que se suman a esta tendencia aumentando así esta gran base de datos.

► **SMART CITIES:** permite la consecución de las afamadas ciudades inteligentes como veremos más adelante.

► **TECNOLOGÍAS HABILITADORAS:** otro de los beneficios de la implantación BIM es su compatibilidad con las tecnologías habilitadoras de la I4.0 como la gestión de macrodatos *-Big Data*; la conexión de todos los dispositivos *-Internet of Things-*; la computación y almacenaje descentralizado de la información *-cloud computing-*; el intercambio de información sin intermediarios de forma transparente pero segura *-Blockchain-*; la conexión de los sistemas cibernéticos y físicos *-CPS-*; aplicación de la Inteligencia Artificial para implementar cognitivamente la gestión de los datos y poder realizar predicciones y toma de decisiones basadas en la información y el autoaprendizaje; el uso de robótica avanzada colaborativa y otro tipo de robóticas como:

▲ **BIM + VR/AR:** las realidades Virtual y Aumentada constituyen una potente herramienta que da soporte a la metodología BIM optimizando la productividad y la toma de decisiones tanto en los procesos de diseño como en obra y mantenimiento, permitiendo visualizar e interactuar con el modelo de información virtual; visualización geolocalizada del modelo, de elementos constructivos o sistemas de instalaciones; aportar información superpuesta no perceptible por los sentidos; visualización de elementos y sistemas ocultos; facilitar la comprensión del cliente y la formación y comprensión de

obreros y operarios; mejorar la enseñanza profesional y universitaria; realización de controles e inspecciones por especialistas a distancia...

▲ **BIM + DRONES:** el uso de drones en un proyecto BIM está focalizado a la toma de datos en diferentes ámbitos. En las fases iniciales permiten realizar informes geológicos, estudios ambientales, obtención de modelos tridimensionales automáticamente del terreno y el entorno, etc. Durante el proceso de edificación su uso permite realizar un monitoreo y control exhaustivo de las obras. Mediante la incorporación de sensores en los drones podemos obtener información para la realización de inspecciones como análisis térmicos para la detección de puentes térmicos, humedades y otras patologías. La colaboración de los drones con tecnologías como la VR nos capacitan para realizar inspecciones técnicas a distancia accediendo sin problema a rincones y alturas inaccesibles. En un futuro tal y como demuestran las investigaciones y experimentos realizados los drones también serán capaces de realizar automáticamente tareas como limpiar o pintar fachadas y cubiertas, colocar ladrillos o construir estructuras aéreas.

▲ **BIM + FABRICACIÓN ADITIVA:** la necesaria fusión entre ambas permite incorporar a nuestro modelo de información virtual la información necesaria para que una "impresora 3D" fabrique automáticamente el producto. Los avances actuales en esta tecnología permiten que ese producto "impreso" sea desde una pieza o elemento arquitectónico, hasta una casa completa.

En el desarrollo de este trabajo estudiaremos y ejemplificaremos todas estas tecnologías.

► **INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN 4.0:** todas las premisas anteriores permiten al anacrónico sector AEC actualizarse y subirse al tren de la Revolución 4.0 que está transformado internacionalmente todos los demás.

# Qué futuro nos depara el BIM: cambios en el sector AEC y la educación; las Smart Cities.

Para terminar este apartado, vamos a vaticinar cómo la implantación del BIM poco a poco transformará nuestras ciudades, profesiones y educación.

No vamos a repetir las múltiples ventajas y mejoras que ofrece el BIM frente a los métodos tradicionales ya caducos de representación 2D, elaboración manual de documentación con duplicidades de modelos, y gestión de la información de diferentes disciplinas por separado, entre otras. Las empresas y organizaciones que ignoren el cambio quedarán fuera del mercado, entre otras muchas causas, porque ya es obligatorio. Por ello, cuanto antes nos adaptemos al cambio, mayores y tempranos serán los beneficios.

La implantación BIM actual depende del esfuerzo y dedicación de los profesionales que desde hace años ofrecen sus servicios con éxito. Pero en el futuro la situación debe ser distinta. El triunfo del BIM comienza por la **formación** de los profesionales que construirán nuestras ciudades, comienza por su implantación en las universidades, sobre las que recae una marcada responsabilidad en este ámbito. Esta nueva metodología debe ser utilizada en los años de formación como herramienta de aprendizaje colaborativo.

En la actualidad, de la misma manera que el sector de la construcción está anticuado, lo está el de la educación, basada en modelos tradicionales de aprendizaje no muy satisfactorios. Los alumnos aprenden desfasados sistemas constructivos realizando detalles en 2D a mano, reciben clases magistrales en

las que existe una falta de comunicación e interacción entre el docente y el educando, la práctica real y física es casi nula, y la formación en software aplicado, nuevos materiales, nuevos sistemas constructivos y la sostenibilidad no terminan de asentarse. El resultado son estudiantes que carecen de conocimiento suficiente para hacer frente a las exigencias laborales de hoy en día, inseguridad, y difícil inserción en el mercado laboral. Por el contrario *“los estudiantes tienen una actitud positiva hacia las nuevas tecnologías y por ello BIM aporta grandes ventajas en su formación. [...] Esta realidad ya actual, exige cambios en los roles educativos de asignaturas tan vinculadas a la ejecución de obras como es “Fundamentos de Construcción”, cuya docencia se imparte como asignatura obligatoria en primer curso del Grado de Arquitectura Técnica.”* (López Peral, García González, & Andújar Montoya, 2017)

*La implantación casi inmediata de procesos BIM en el propio marco nacional de industria AEC viene a confirmar que la formación universitaria de los futuros profesionales españoles ya no puede obviar los entornos BIM que van a marcar su ejercicio profesional inmediato; su conocimiento y manejo marcarán sustancialmente su inserción laboral y por ende su éxito profesional. La responsabilidad de la propia universidad y sus docentes en preparar a los estudiantes para este nuevo contexto laboral es innegable y la incorporación de BIM en condiciones óptimas dentro de currículum formativo se convierte así en un aspecto crítico. Ahora bien, la implementación de BIM en docencia universitaria debe mirar más allá de su propio interés formativo en BIM y responder de manera particularizada a las características propias de cada disciplina. Los procesos BIM llevarán sin duda a la creación y/o especialización de roles profesionales en la industria AEC y el estudiante deberá partir en las mejores condiciones de preparación para optar a éstos. Así el Arquitecto en su disciplina de inicio enfocará los procesos BIM desde perspectivas diferentes a los restantes agentes en*

*la industria AEC (ingenieros de edificación, civil, industrial, etc.) sin menoscabo de que una vez graduados opten a roles profesionales específicos de gestión de proyecto, obra o mantenimiento, en mayor o menor medida ligados a procesos BIM.*

*En todo caso, esta condición de dar respuesta a los objetivos formativos de cada disciplina particular no es específica del entorno BIM sino que se entiende común a toda innovación docente que como tal trata de responder a un mejor aprendizaje y en ningún momento presupone incompatibilidad con otras experiencias docentes y/o metodologías. (Jurado Egea, 2016, pág. 10)*

El sector de la **construcción** es en el que finalmente recaen todos los cambios. Comenzando desde abajo, es habitual (mejor dicho, era) que en la edificación los obreros no supiesen leer un plano - analfabetismo de plano-, que no conociesen el objetivo final de la obra, ni sabían lo que estaban construyendo. Sus labores dependían de las explicaciones puntuales y controles periódicos que eventualmente les dedicaban el encargado, el jefe de obra o el arquitecto. Por lo menos así es como me lo relata mi padre, que durante muchos años su profesión fue la de albañil. Los errores, los desajustes, las interferencias, las imprecisiones, etc. eran comunes. Tan comunes como dismantelar un muro y levantarlo nuevamente. Aunque también, muchos de esos errores eran enmascarados para el futuro descubrimiento de los inquilinos. Una de esas muchas situaciones indeseadas que vivimos los usuarios de edificios que cumplen alguna decena de años, es encontramos que los planos de instalaciones, de cimentación, o de saneamiento no concuerdan con la realidad, y tener que realizar una búsqueda del tesoro sin mapa para hallar la arqueta perdida cuando hemos tenido un atasque. Situaciones que nadie quiere en su vivienda después de haber invertido gran parte de los ahorros de su vida en ella.

Entonces, el BIM no es sólo beneficioso para el trabajo en los despachos. Entre sus muchas utilidades está la de obtener información fácilmente legible y comprensible por los obreros y operarios, como detalles constructivos en tres dimensiones, con los que además pueden interactuar: girar, agrandar, añadir o suprimir capas, mostrar los elementos internos, o practicarle secciones a conveniencia.

Estas posibilidades se ven potenciadas mediante la implementación de las tecnologías de la Realidad Virtual y la Realidad Aumentada, que gracias a la conexión con el modelo de información virtual pueden recorrer el edificio y visualizar los sistemas deseados a través de unas gafas; o superponer información en tiempo real a la imagen tomada por la cámara de una Tablet o Smartphone. Esto último permite por ejemplo realizar mediciones físicas sin necesidad de otras herramientas basándose directamente en la información que le brinda el modelo; obtener información sobre algún material o elemento arquitectónico con una acción tan simple como enfocarlo; realizar y controlar replanteos superponiendo los planos virtuales a la realidad física de forma que la detección de errores resulta automática; o visualizar por dónde debe discurrir la instalación de ventilación previamente a su ejecución, por ejemplo.

La toma de datos inicial se automatiza también mediante el sobrevuelo de un dron que es capaz de en poco tiempo obtener la información necesaria para generar mediante fotogrametría un modelo 3D en nube de puntos del terreno y el entorno. Información que posteriormente se incorpora al modelo BIM y que es útil durante todos los procesos restantes. De manera similar, el sobrevuelo de drones permiten monitorear y documentar vigorosamente el proceso de obra, solucionando así uno de los grandes males hasta ahora, la indocumentación de la edificación. Esta información es útil también para el modelo así como para asuntos legales. Las inspecciones técnicas periódicas durante el ciclo de vida útil del edificio son labores adjudicables también a estos robots voladores, que pueden acceder a sitios donde las personas no podemos, detectar patologías comparando la realidad física con la virtual. Su reducido precio y facilidad de uso permiten aumentar la frecuencia de dichas inspecciones, con las que podemos actualizar el modelo "as built" anexando su evolución a lo largo de los años, y realizar así una mejor administración y gestión de las labores de operación y mantenimiento.

Estudios como el de Gramazio & Kohler Research investigan también en nuevas formas de levantar estructuras, o construirlas en el aire mediante estos dispositivos. Actualmente ya se están empezando a utilizar también para realizar el seguimiento del secado de materiales por ejemplo.

Otro de los grandes cambios que están emergiendo ahora es el empleo de la Fabricación Aditiva o FA en el sector. La FA

comenzó con el Prototipado Rápido y la Impresión 3D. Su aplicación en la edificación era de esperar. Sus posibilidades abarcan desde la producción en fábrica de moldes, elementos arquitectónicos como ladrillos, bloques y paneles que posteriormente se ensamblan en la obra, hasta la producción *in-situ* de casas completas. Sus ventajas son prácticamente las mismas de la robótica avanzada: la traslación directa del modelo virtual a la fabricación; aumento de la calidad y la precisión; reducción de tiempos y costes; geometrías paramétricas imposibles de conseguir con los medios tradicionales; optimización de la disposición de material y gestión de residuos; empleo de materiales sostenibles y/o reciclados y una mayor eficiencia energética entre otras. El BIM como contenedor de cualquier tipo de información, es susceptible de fusionarse con esta tecnología, aunque para ello tendremos que esperar a que la FA aplicada a la construcción termine de desarrollarse. Poco a poco la presencia de "impresoras 3D" en la obra será cada vez más frecuente.

Las labores del arquitecto y otros especialistas también deben adaptarse al cambio para obtener los mejores recursos de la metodología BIM. Ni demasiado tiempo en la oficina como se ha venido haciendo, ni por el contrario demasiado tiempo en la obra. La virtud la encontrarán en un compendio entre ambas, visitando con frecuencia la obra para analizar sus avances y entenderla, y paralelamente actualizando el modelo de información desde sus oficinas con esos avances, premisa fundamental de esta metodología. La actualización continua de su formación, sus conocimientos y el manejo de las nuevas tecnologías es imprescindible para lograrlo.

Así es como un proceso anticuado que ha venido siendo muy largo, costoso e impreciso se transforma en otro más industrializado, breve, asequible y fiable. La eficiencia del sector parte del almacenaje y gestión de datos, desde el inicio hasta el fin de la edificación que permitirán predecir y optimizar todos los ciclos. Bienvenidos a la Construcción Digital o Construcción 4.0. Todo esto lo veremos más detalladamente en los apartados siguientes.

En el apartado anterior ya vimos como la **Arquitectura Digital** ha supuesto un cambio disruptivo marcando un antes un después en la historia. Las edificaciones en el futuro serán cada vez más complejas, y con complejas no nos referimos a intrincadas formas

geométricas, que también es posible, sino a que tendrán un mayor compromiso con el medioambiente que actualmente está muy enfermo. Incluso en muchas de las ocasiones veremos edificios que integren gran cantidad de vegetación en sus envolventes, incluso en sus componentes, como vidrios en cuya composición interna contienen algas, capaces de realizar la fotosíntesis transformando CO<sub>2</sub> en oxígeno y generando energía. La Bioarquitectura cobra cada vez más importancia, los materiales orgánicos, biodegradables, y la mimesis con los procesos naturales biológicos que inspiran nuevas formas de hacer arquitectura, nuevos materiales y nuevos procesos que lograremos gracias al empleo de las tecnologías de la computación y la información.



**Figuras 1 y 2:** *Bio Intelligent Quotient (BIQ) House*, Hamburgo, 2013. *Arup, SSC Strategic Science Consultants y Splitterwerk Architects*.

Estos paneles de fachada contienen tanques de algas capaces de calefactar el edificio en invierno, mantenerlo fresco en verano, y generar biomasa. Obtenidas de: <http://www.ctearquitectura.es>

**Figura 3:** *Frencdreamtowers*, Hangzhou, XTU Architects. Proyecto de edificio con biofachada de algas que realizan la fotosíntesis. Obtenida de: <https://www.designboom.com>

**Figura 4:** *Paris Smart City 2050*. Proyectos futuristas de edificios bio-climáticos sostenibles que incorporan vegetación. Obtenida de: <https://www.esmartcity.es/>

La complejidad de la que estábamos hablando, por simple que sea la edificación, se trata de la gestión de cada vez un mayor número de datos, referentes a todas las etapas de la construcción, a los materiales, sistemas y productos empleados, al funcionamiento y evolución del edificio, etc. La centralización y disponibilidad de toda esta información, el empleo de nuevos materiales y nuevas tecnologías de fabricación, y otros factores, constituyen los denominados edificios inteligentes, los *Smart Buildings*. La aglomeración de estos edificios e infraestructuras inteligentes y sostenibles, junto a la utilización de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) para gestionar ordenada y eficientemente tal cantidad de datos, constituirán a su vez las ciudades inteligentes o **Smart Cities**, cuya cognitiva les permite razonar e incluso aprender de sus errores.

En realidad, la inteligencia de estas ciudades está en sus ciudadanos, y es la tecnología la que nos ayuda a ponerla a su servicio. Las personas deberán tomar mayor participación en el funcionamiento de las urbes, presencial y digitalmente. A su vez, sectores como los de transporte, gestión de residuos, etc. que prestan servicios a la comunidad deben tomar la ideología de la metodología BIM, y centralizar y gestionar todos los procesos desde una misma plataforma. La coordinación de todos los procesos mediante las tecnologías de la computación y la Inteligencia Artificial permitirán optimizar su funcionamiento a gran escala. Así es como por ejemplo Barcelona ha sido reconocida como "referente internacional" con el Programa Global Cities que mediante el estudio y análisis de ciudades globales genera conocimiento basado en la información y ofrece soluciones de gestión de servicios innovadores y sostenibles, que a la vez facilitan la participación de sus usuarios. (Paniagua, 2017)

Se prevé que para el 2025 halla más de 26 ciudades inteligentes en todo el planeta. Otro de los aspectos fundamentales que veremos en ellas es el IoT, extendido sistemáticamente en todos los ámbitos, conectando las realidades virtuales y físicas, *hardware* y *software*, y con el que podremos recolectar datos de nuestros dispositivos, objetos cotidianos, edificios e infraestructuras con el fin de responder a todas las nuevas y cambiantes exigencias de la población. Para que las ciudades sean inteligentes, deben estar conectadas y beneficiarse de la computación en la nube y la inteligencia artificial para gestionar, analizar y procesar las cantidades masivas de datos obtenidos. Deterioros y fallos en los edificios o infraestructuras; fluidez del tráfico evitando atascos en las vías; gestión de residuos; control ambiental; salud y seguridad urbana; jardinería y riego inteligente;

etc., todas estas tareas podrán gestionarse desde la misma plataforma optimizando así el potencial de estos nuevos ecosistemas urbanos. (Miranda, 2017)

Por último, y para dar ejemplos reales del inicio de las *Smart Cities*, vamos a mencionar dos casos:

>>> **ANDORRA LIVING LAB:** el país de Andorra se ha sumado a esta iniciativa mediante la suya propia, la City Science Initiative. Este proyecto es "un laboratorio donde se juntan Gobierno, universidad, empresa e industria", combinando Turismo, Innovación, Energía y Medio Ambiente, Movilidad y Planificación urbana dinámica. Este laboratorio quiere aplicar los conocimientos del MIT (Massachusetts Institute of Technology) para entender mejor el país y generar el turismo del siglo XXI a la par de convertir su capital en un campo de pruebas para la innovación científica.

"Andorra es un país sostenido por el turismo que se ha planteado algo que no hemos sabido ver en España: invertir en ellos mismos. Es decir, apostar por la innovación y las personas" "Su legislación es más flexible y hay disposición a adaptarla para permitir la innovación, manteniendo siempre todos los estándares de seguridad". (Paniagua, 2017)

La simulación urbana será la base para la toma de decisiones, a través de la plataforma desarrollada CityScope Andorra. En ella se simula el impacto de múltiples intervenciones urbanas, desde la planificación urbana hasta el uso de vehículos autónomos compartidos. Los usuarios pueden mostrar su conformidad o disgusto con los lugares que visiten, e interactuar con la plataforma en la que los cambios se actualizan en tiempo real. "Las metas incluyen ayudar a desarrollar plataformas de Big Data para comprender, utilizar y aprovechar Big Data; desarrollar conceptos que tengan el potencial de establecer a Andorra como un centro internacional para la innovación; y diseñando intervenciones que puedan mejorar la experiencia de los turistas, alentándolos a visitar más a menudo, quedarse más tiempo y aumentar el gasto." "En un país tan pequeño, podemos trabajar directamente con los ministros, las decisiones de políticas se pueden tomar de manera rápida y eficiente, y tenemos acceso a datos móviles y de energía para todo el país para ayudarnos a comprender los complejos comportamientos de los residentes y turistas" "Para resolver los grandes desafíos sociales de nuestra era, desde el cambio climático a los empleos, la salud, los alimentos y el agua, tenemos que hacer que las ciudades respondan mejor a las condiciones económicas cambiantes, las necesidades humanas y las oportunidades relacionadas con la tecnología en rápida evolución." "CityScope nos ha ayudado a ver cuántos días llegan las personas, cuántas personas vinieron a ver

los eventos, qué partes del país tenían más personas y cómo se mueven", dice. "Esto ayudará a la planificación de eventos futuros"  
17



>>> **VIRTUAL SINGAPORE:** Singapur también está al día con estas innovaciones. Tiene un proyecto de I+D de modelación completa del país en BIM, el 3DEXPERIENCE City Strategy: bases de datos gubernamentales y ciudades completas unificadas y entrelazadas para el control urbano y la toma de decisiones a gran escala mediante la plataforma dinámica 3DEXPERIENCE desarrollada por Dassault Systèmes en 2015, apoyado por la Fundación Nacional de Investigación (NRF), la Oficina del Primer Ministro, Singapur, la Autoridad de Tierras de Singapur (SLA) y la Agencia de Tecnología del Gobierno de Singapur (GovTech). La fecha de finalización de la plataforma se planeó para 2018, fecha a partir de la cual el modelo será implementado progresivamente y con el que podrán trabajar todas las agencias que lo deseen de forma sinérgica.

Mediante esta realidad virtual pueden experimentar la ciudad, entender cómo funciona y ofrecer innovadoras mejoras y soluciones multidisciplinariamente ante desafíos emergentes y complejos. El objetivo final es mejorar la calidad de vida y del planeamiento del país mediante un sistema de datos referente nunca antes visto. Sostenibilidad e inteligencia son conceptos en los que se focaliza el trabajo.

Desarrollaron el National Science Experiment, un experimento que mediante el implemento del Internet de las Cosas permite capturar datos de la urbe (temperatura, presión, humedad, luz, niveles de ruido, desplazamientos, etc.) e incorporarlos al modelo virtual, analizarlos y realizar múltiples simulaciones para obtener nuevas ideas, detectar patrones y tendencias evitando probar nuevos planes directamente en la ciudad física.

*Virtual Singapore incluye el modelado semántico en 3D, que comprende información detallada como la textura, la representación material de objetos geométricos; atributos del terreno, por ejemplo, cuerpos de agua, vegetación, infraestructura*

de transporte, etc. Los modelos de edificios codifican la geometría así como los componentes de una instalación, como paredes, pisos y techos, hasta sus detalles finos, como en la composición de granito, arena y piedra en un material de construcción.

Se desarrollará basándose en datos geométricos y de imágenes recopilados de diversas agencias públicas, e integrará diferentes fuentes de datos para describir la ciudad con la ontología de datos dinámica necesaria. Los datos y la información en 2D coordinados a través de plataformas geoespaciales y no geoespaciales existentes, como OneMap, People Hub, Business Hub etc., enriquecerán el modelo 3D de la ciudad de Singapur. La información avanzada y la tecnología de modelado permitirán que Virtual Singapore se infunda con diferentes fuentes de datos e información de ciudades estáticas, dinámicas y en tiempo real, por ejemplo, demografía, movimiento, clima.<sup>18</sup>

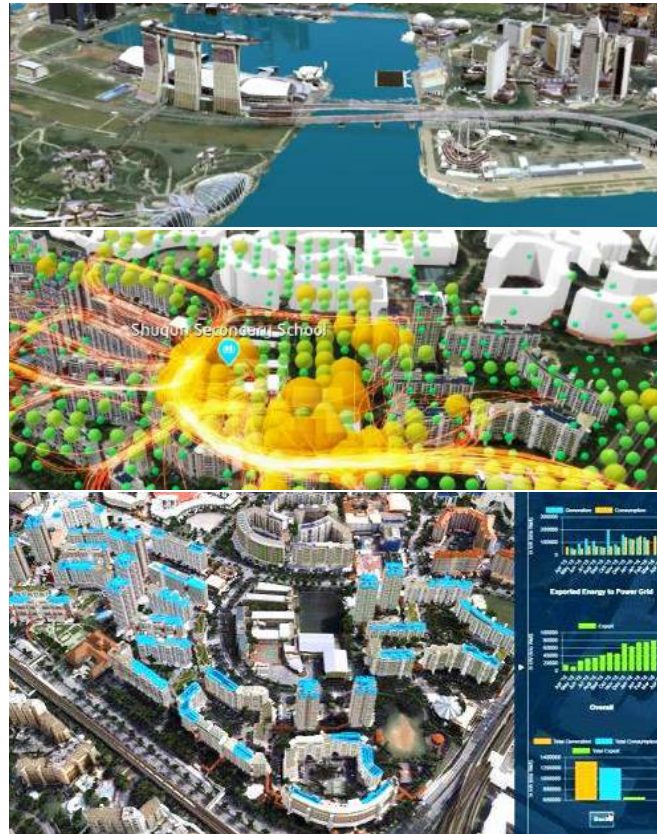


Figura 1: Andorra Living Lab. MIT Media Lab. Obtenida de: <https://www.media.mit.edu/>

Figuras 2-4: 3DEXPERIENCE City, plataforma dinámica del Virtual Singapore. Obtenidas de: <https://www.nrf.gov.sg/programmes/virtual-singapore>

17 Changing Places. Proyecto Andorra Living Lab. Obtenido de MIT Media Lab: <https://www.media.mit.edu/projects/andorra-living-lab/overview/>

18 Virtual Singapore. National Research Foundation. Prime Minister's Office Singapore. Obtenido de: <https://www.nrf.gov.sg/programmes/virtual-singapore>

AN 2000



*En L'An 2000 (En el año 2000),  
Jean-Marc Côté, XIX-XX.*

Con esta postal predijeron perfectamente como en nuestro siglo tendríamos de nuevos medios de comunicación a distancia como las videollamadas. Si bien en el siguiente apartado no hablaremos de esto, sí lo haremos de los medios de comunicación de masas y la Realidad Virtual como nuevo lenguaje propio de la iconosfera.





REALIDADES

3.0

**VIRTUAL Y  
AUMENTADA**

# Qué son. Orígenes y Aplicaciones

Antes de entrar en materia creo es necesario que definamos brevemente algunos **términos importantes** para poder profundizar en el tema:

► **REALIDAD VIRTUAL, VR (VIRTUAL REALITY)**: se trata de la representación de un entorno informático de escenas y objetos, basado en entornos realistas, o no, que crea en el usuario la sensación de estar inmerso en él. Dicho entorno se percibe a través de dispositivos como gafas o cascos de realidad virtual, y otros posibles accesorios que le acompañan como guantes, trajes especiales y cascos de audio, que permiten una mayor percepción de estímulos e intensifican la sensación de realidad.

Actualmente, el ejemplo más popular de VR lo encontramos en el sector de los videojuegos y el entretenimiento, donde podemos sumergirnos en la historia y disfrutar del juego en primera persona de manera muy realista.



**Figura 1:** usuario inmerso en un videojuego de VR que percibe y controla a través de unas gafas y otros accesorios. Obtenida de: <https://www.groupon.es/deals/vive-virtual-madrid>

**Figura 2:** modelo virtual 3D superpuesto a la realidad física captada con la cámara de la Tablet mediante Realidad Aumentada. Obtenida de: <https://www.augment.com>

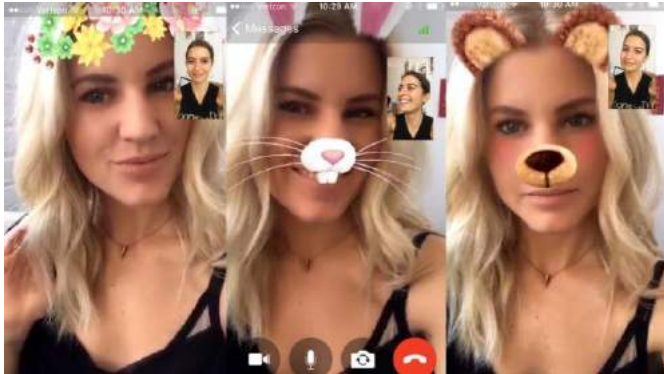
En el desarrollo del trabajo hablaremos de realidad virtual no solo para referirnos a los entornos anteriormente descritos en los que sumergimos o percibimos a través de dispositivos tecnológicos sino que también lo utilizaremos para referirnos al concepto de ciberespacio como tecnología y su condición de virtualidad, de esa otra realidad creada digitalmente inmersiva o no, sin la necesidad de ser percibida en tres dimensiones y cuya existencia es inherente al mundo computacional.

► **REALIDAD AUMENTADA AR (AUGMENTED REALITY)**: tecnología que permite al usuario el contacto con el mundo digital mediante la visión y manipulación de información, entornos o elementos virtuales superpuestos al mundo real, mediante dispositivos tecnológicos. Realidad física y realidad virtual se combinan en una nueva realidad aumentada en tiempo real. Otra manera de definirla es que la realidad aumentada transforma el entorno físico que nosotros percibimos para ofrecernos nueva información digital.



Se diferencia de la Realidad Virtual -altera los sentidos- en que en ella el usuario se aísla de la realidad física para sumergirse en un escenario completamente virtual fácilmente identificable como una simulación. Sin embargo la Realidad Aumentada -potencia los sentidos- sólo es perceptible a través de dispositivos no envolventes como Smartphones y tablets, combinando ambas realidades de forma que la distinción entre ambas resulta difícil. Los dispositivos captan a través de sus cámaras parte del mundo real que instantáneamente se nos muestra alterada a través de la pantalla.

Sin ir muy lejos, un ejemplo muy simple son los famosos filtros y máscaras de las aplicaciones móviles de Instagram o Facebook.



La integración de la AR en el mundo profesional ha tenido un éxito mucho más temprano que la VR, como en el deporte, medicina, educación, aplicaciones informáticas, etc.

Otro ejemplo muy común lo hemos visto muchos veces en la retransmisión de partidos de fútbol, en los que en ocasiones podemos observar información digital añadida en tiempo real para explicar un fuera de juego, marcar la posición del balón o superponer marcadores con información de los jugadores o la puntuación.



► **LA PRESENCIA:** se definía tradicionalmente como el hecho de estar presente en un lugar, aunque en la década de los 90 comenzó a usarse por los participantes de una realidad virtual para expresar su presencia subjetiva en el lugar, a pesar de que físicamente se encuentran en otro.

Este término incluye también un sentimiento metafórico de transporte, ya que el usuario percibe estar en un lugar diferente.

► **ENTORNO DEL USUARIO Y ENTORNO VIRTUAL:** entorno físico y entorno digital. Los dispositivos interactivos con los que se percibe la realidad virtual, funcionan intercambiando información a tiempo real entre ambos entornos, a través de una barrera llamada -interfaz-. La interfaz es un traductor bidireccional entre las acciones de entrada del usuario (movimiento, fuerza, voz, etc.) y las señales digitales que procesa e interpreta el sistema informático. De esta manera, el sistema, en reacción a los movimientos del sujeto le devuelve unas imágenes, vibraciones o sonidos determinados.

► **INMERSIÓN:** en contraposición la inmersión define la capacidad cuantificable del sistema informático para representar el entorno artificial en tres dimensiones de la manera más realista posible. Las características necesarias para que un sistema informático sea altamente inmersivo son la interacción en tiempo real y una alta resolución, la visión estereoscópica junto con una alta velocidad de cuadro, así como la estimulación de otros sentidos para la percepción auditiva y háptica mediante otros accesorios.

Los sistemas no inmersivos como los videojuegos, también llamados sistemas de realidad virtual de escritorio, no necesitan de dispositivos adicionales al ordenador, por lo que han ganado mucha popularidad debido a su menor coste, facilidad de instalación y de uso, así como la posible interactividad entre múltiples usuarios. Este caso se acerca al concepto de "navegación", a través de la cual se ofrece al sujeto la posibilidad de experimentar determinados espacios mediante el movimiento y el desplazamiento, utilizado comúnmente en los videojuegos.

Los sistemas semi-inmersivos, permiten que varios usuarios compartan la simulación, en un lugar rodeado de pantallas que emite gráficos de alta resolución y sonido 3D, lo que abre posibilidades muy interesantes para el trabajo colaborativo.

Figura 1: Filtros de la aplicación Facebook durante una videollamada. Obtenido de: <https://galoremag.com/video-chat-filters-masks-facebook-messenger/>

Figuras 2-4: Realidad Aumentada en el televisado de partidos de fútbol. Obtenidas de: <http://blogdelemax.blogspot.com> y <https://www.mundodeportivo.com>



Figura 1: sistema de realidad virtual semi-inmersiva, útil para el trabajo en equipo. Obtenida de: <https://www.imagenesmi.com>

Figura 2: *Sensorama*, Morton Heiling, 1962. Prototipo de tecnología inmersiva multisensorial. Obtenida de: <https://proyectoidis.org>

Figura 3: *Aspen Movie Map*, MIT 1978. Sistema interactivo hipermedia que permitía navegar por las calles de Aspen, Colorado. Obtenida de: <http://www.inter-doc.org>

Figuras 4 y 5: *Oculus Rift*, comparación entre la primera versión de 2012 y la de 2018. Obtenidas respectivamente de: <https://techcrunch.com/> y <https://arstechnica.com>

<sup>19</sup> Google Street View es un servicio de mapas junto a Google Maps y Google Earth ofrecido por Google LLC desde 2007 que permite la navegación mediante panorámicas a nivel de calle (360 grados horizontal + 290 grados vertical) por casi todo el planeta

<sup>20</sup> ¿Qué es la realidad virtual? (s.f.). Obtenido de Mundo Virtual: <http://mundo-virtual.com/que-es-la-realidad-virtual/>

MAP, antecesor del GOOGLE STREET VIEW <sup>19</sup> (año 2007), que permitía recorrer las calles de la ciudad de Aspen, e interactuar con algunos edificios.



No fue hasta finales de los años 80 y principios de los 90, cuando el mundo de los videojuegos le dio un gran empujón a esta tecnología, y que cambió por completo la manera de disfrutar de los contenidos. Se crearon diversos dispositivos y simuladores, hasta que el lanzamiento de la primera versión de OCULUS RIFT en 2012, un casco de realidad virtual creado por Palmer Luckey que revolucionó el sector y dio lugar a la Realidad Virtual que hoy conocemos.



Debemos mencionar que "el concepto de la realidad virtual llega al gran público gracias al clásico de ciencia ficción *Tron*. Su estética ha marcado como se desarrollan aun hoy en día los últimos dispositivos de realidad virtual" <sup>20</sup> en 1982. En 1999 la película *The Matrix* enseñó al mundo las grandes posibilidades que los mundos virtuales y las simulaciones ofrecerían en un futuro.

Al igual que sucedió con los teléfonos móviles o Internet, la nueva dimensión digital ha supuesto uno de los cambios tecnológicos más importantes y vertiginosos en los últimos años, aunque no seamos demasiado conscientes de ello por la escasez de



Durante los años 70 se continuó experimentando con esta nueva tecnología, como por ejemplo con el cine 4D o el ASPEN MOVIE

aplicaciones profesionales públicas desarrolladas. *“Lo mejor de todo es que aún se desconocen los límites de esta nueva tecnología. De momento parece que el entretenimiento (sobre todo videojuegos, pero también contenidos audiovisuales) será la base sobre la que se sustentará la mayoría de aplicaciones. Pero no olvidemos que sectores como el turismo (visitas virtuales a cualquier lugar del mundo), el comercio (prueba de ropa, muebles, coches...), la educación (inmersión en la enseñanza) o la industria tienen mucho que decir sobre esta tecnología que está a punto de envolvernos a todos.”*<sup>21</sup>

Las **APLICACIONES** de la VR y la AR alcanzan sectores desde el arte, el entretenimiento y la milicia, hasta la educación o la arquitectura. Y debido a su crecimiento es predecible que llegue a cubrir otras industrias. Entre otras aplicaciones cabe señalar:

► **EDUCACIÓN:** están demostrados los múltiples beneficios y ventajas del proceso de enseñanza-aprendizaje mediante el uso de esta técnica en el alumnado, debido a su facilidad para captar su atención y sumergirlos en el contenido de cualquier materia, reforzando la eficacia de los servicios educativos y la diversidad cultural.

Actualmente existen pocas iniciativas e inversiones que creen contenido para la educación, ya que casi toda la atención se dirige al sector del entretenimiento, aunque en un futuro será una pieza clave en la enseñanza. Más adelante profundizaremos más en este tema.

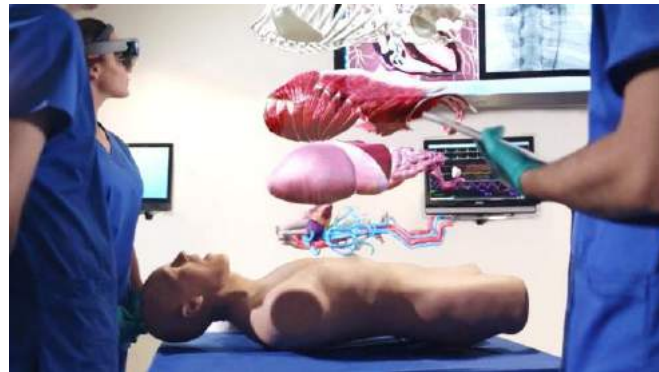
Por el momento algunos estudiantes de arquitectura e ingeniería lo utilizan para recorrer sus edificaciones virtuales, o para ver e interactuar con los sistemas de la anatomía humana en el caso de los estudiantes de medicina.

► **FORMACIÓN:** utilizada por los militares, fuerzas aéreas, pilotos y conductores, etc., para entrenar en un entorno virtual en el que mejorar sus habilidades sin poner en peligro su seguridad, sufrir lesiones físicas o causar accidentes, reduciendo también la contaminación y el gasto económico.

La industria militar y armamentística, siempre más avanzada en tecnología que cualquier otro sector, ha sido la principal fuente de desarrollo de estas herramientas. Las cabinas de simulación de vuelos son hasta hoy, el uso más avanzado de la realidad virtual.

► **PSICOTERAPIA:** su uso en este campo es muy novedoso y beneficioso, ya que logra poner al paciente en situaciones activas de tensión frente a sus fobias, pero con la seguridad de tenerlo todo bajo control. Existen también aplicaciones para la rehabilitación psíquica y psicomotora.

► **MEDICINA:** utilizado en el aprendizaje de anatomía y para el entrenamiento de quirúrgico de los alumnos. Muestra muchas mejoras frente a los modelos animales o los vídeos, pues pueden interactuar con un modelo virtual que posee todas las estructuras anatómicas y que reaccionan a los procedimientos quirúrgicos de manera muy realista.



► **VIDEOJUEGOS Y ENTRETENIMIENTO:** el sector que más ha invertido después del militar y que más beneficios económicos ha obtenido del mercado en las aplicaciones virtuales.

► **SOFTWARE:** la incorporación en el software de diseño ha abierto una nueva puerta hacia la manipulación del entorno para la creación de diseño digital, que después puede ser exportado para ser reproducido en 360º o incluido en el cine, marketing o en el sector de los videojuegos.

► **PATRIMONIO CULTURAL:** otra de las grandes aplicaciones es una que permite fomentar y acercar la cultura a todo el mundo, así como facilitar su estudio. Para ello podemos visitar museos, monumentos u otras zonas de Patrimonio Mundial, visualizar e interactuar con obras de arte, incluso hacer viajes en el tiempo atrás para sumergirnos y experimentar el sujeto en cuestión en su época. Esto podemos hacerlo desde el museo, y lo mejor de

<sup>21</sup> Naranjo, O. (2016). Qué es la VR: historia y tipos de gafas de realidad virtual. Obtenido de MediaTrends: <https://www.mediatrends.es/a/65544/que-es-vr-historia-tipos-gafas-realidad-virtual/>

Figura 1: Aplicación de realidad aumentada en medicina. Obtenido de: <https://medium.com/@CAEHealthcare/augmented-reality-has-the-potential-to-revolutionize-medicine-and-healthcare-training-22aef68260b3>

todo, también a distancia, replicando la experiencia física sin movernos de casa o la escuela gracias al uso gafas de Realidad Virtual. Tenemos ejemplos en el Museo Arqueológico Nacional (MAN) español, en el museo Thyssen o el del Louvre.



Otra de las aplicaciones actuales es el uso de Realidad Aumentada para mejorar la experiencia en los museos y la capacidad de aprendizaje del usuario. Para ello realizaremos el escaneado de códigos QR<sup>22</sup> que encontramos en cada obra con nuestro Smartphone, con el que nuevamente podremos enfocar la obra y obtener explicaciones interactivas e información suplementaria superpuesta.



Figura 1: visita cultural mediante Realidad Virtual.  
Obtenida de: <https://www.theverge.com>

Figura 2: empleo de la Realidad Aumentada en los museos. Obtenida de: <http://44screens.com>

<sup>22</sup> Un código QR (*Quick Response*) es una evolución del código de barras que podemos escanear con nuestros dispositivos móviles en vez de introducir datos manualmente y automáticamente ser redireccionados a una web o una aplicación. Su presencia es ya muy común en museos, revistas y anuncios.

► **DISEÑO E INDUSTRIA AEC:** poco a poco la VR se va implantando en los sectores de la Arquitectura, la Ingeniería y la Construcción junto con el BIM, cambiando por completo nuestra actual forma de pensar y trabajar, la representación y visualización, la enseñanza e incluso el marketing, de formas que antes nos parecían ciencia ficción. Posteriormente desarrollaremos más detalladamente estas aplicaciones.

# La era de la información: la Realidad Virtual como nueva forma de comunicación

Una cualidad de la realidad virtual que aunque no lo parezca, mucho tiene que ver con el tema que nos atañe, es su capacidad para **comunicar** y transmitir información, contribuyendo así a la evolución de nuestro **lenguaje**.

El hombre siempre ha buscado la manera de contener y plasmar la naturaleza, las sensaciones, sentimientos, en general, todo aquello que no comprende en representaciones físicas que pueda dominar. Ha tratado de evadirse de la realidad, y simular otra realidad alternativa a través del arte, como lo hace en el teatro, la literatura o la pintura, capaces de transportarnos a lugares irreales y ficticios, de hacernos recrear lugares imaginarios y hacernos sentir emociones. Pero siempre hemos estado subordinados a una posición de espectador.

Con la aparición de las últimas tecnologías y su poder comunicativo, nos hemos convertido en los **protagonistas** de esos espacios ficticios, que se transforman en espacios de actuación donde nuestras acciones se desarrollan dentro de un gran abanico de posibilidades.

Por ejemplo, al leer un poema imaginamos lugares y sentimientos que el poeta ha vivido, pero al sumergirnos en la tercera dimensión podemos vivir esas mismas experiencias. A través de las actividades artísticas tradicionales, el público interpreta la información a su manera y obtiene unas sensaciones que pueden ser muy distantes de las que el emisor quería transmitirnos. Sin embargo el ciberespacio tiene la capacidad de transportarnos a lugares y momentos concretos, por todos reconocibles, en los que no interfiere el lenguaje o conocimientos específicos para comprenderlo, pudiendo sentir y vivir concretamente lo que el emisor quería transmitirnos. Son entornos preconfigurados y dentro de ellos tenemos un cierto grado de "libertad" de actuación, pero en realidad tenemos la libertad que el creador de ese entorno quiere que tengamos, la justa para que percibamos lo que se nos quiere transmitir.

Ha nacido pues, la manera de compartir sentimientos y emociones. (García, 2000)

Este ejemplo nos sirve para explicar que los entornos virtuales están casi siempre programados para transmitirnos alguna información o algún conocimiento en concreto. Si nos encontramos ante una aplicación de medicina, el espacio pasa a un segundo lugar para poder centrarnos en la interacción con el modelo anatómico. Por el contrario, si utilizamos una aplicación de arquitectura, el espacio es el factor más importante.



*Lo esencial es que en ambos casos, el espacio es un elemento constitutivo del sistema y no una condición a priori para la existencia de la aplicación. Puede ser manipulado hasta tal punto, que podemos atravesar las barreras físicas, que impone su propia constitución, para gozar de nuevas experiencias.*

*Esta característica de la realidad virtual la hace muy útil como herramienta de experimentación dentro del campo científico. El investigador siempre ha buscado el modo de crear modelos de aquello que estaba estudiando para experimentar con él y aplicar los resultados a la realidad. El modelo proporciona tangibilidad a cualquier teoría sin afectar a la estructura de lo investigado. Los modelos son capaces incluso de representar lo abstracto y, en este aspecto, la realidad virtual se convierte en instrumento necesario para cualquier tipo de modelización teórico-práctica. Además, se puede experimentar el modelo virtual confrontado sus características internas o comparándolo con el mundo real.* <sup>23</sup>

<sup>23</sup> García, A. L. (2000). *Realidad Virtual*. Memoria para optar al grado de doctor. Madrid: Universidad Complutense de Madrid. Facultad de Ciencias de la Información, 17.

**Figura 1:** Alberto L. García en su trabajo (García, 2000) para ilustrar esto lo compara con *Alicia en el País de las Maravillas*: antes de la VR nos encontrábamos al otro lado del espejo como meros espectadores, pero ahora podemos introducirnos en él y convertirnos en los protagonistas. Elaboración propia.

Esto supone que la manera de percibir propia de nuestra condición humana, la forma de compartir información, ha cambiado, de modo que ahora toma sentido la filosofía platónica, que separa el mundo sensible o realidad aparente (que percibimos mediante los sentidos), del mundo de las ideas (imperceptible por los sentidos), donde las cosas físicas y cambiantes no son más que copias imperfectas de las ideas. La realidad perceptible está limitada por la capacidad cognoscitiva del sujeto y no producen un conocimiento verídico, sino subjetivo. Trascendiendo sobre ella, el mundo de las ideas nos proporciona el verdadero conocimiento, la ciencia suprema. El verdadero conocimiento es diferente al que proporcionan los sentidos, es constante, riguroso y permanente. Platón nos dice que el cuerpo es una atadura para los humanos unido al mundo sensible, y que este no es importante ya que lo verdaderamente válido es el mundo de los conceptos puros.

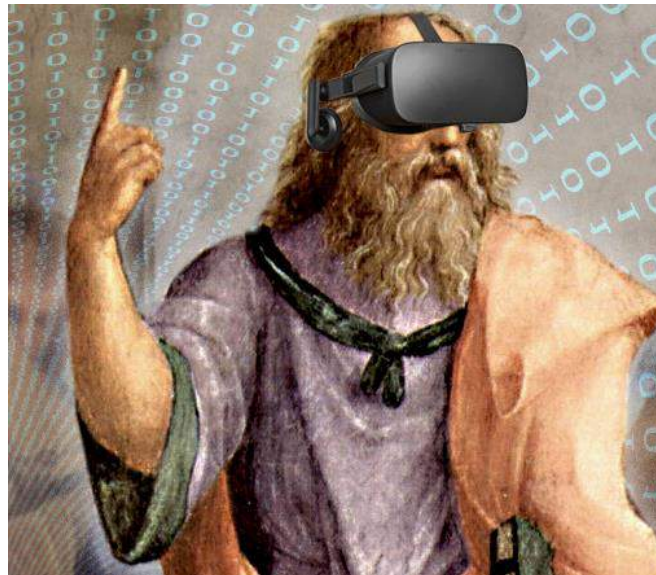


Figura 1: collage de Platón (La Escuela de Atenas, Rafael Sanzio, 1512), señalando -el mundo de las ideas -y visualizándolo mediante unas gafas de Realidad Virtual. Elaboración propia.

Figura 2: collage realizado para ejemplificar como el lenguaje no es un idioma universal, pero sí lo es una imagen. Elaboración propia.

Extrapolando las ideas de Platón a la realidad virtual, encontramos muchas similitudes con el tema que estamos tratando. Gracias al mundo virtual, hemos trascendido más allá de nuestro cuerpo físico, el cual no necesitamos para comunicarnos, para compartir información, sentimientos, o para vivir nuevas sensaciones. Ahora tenemos la posibilidad de abandonar nuestra corporeidad y seguir existiendo en otra realidad, en la que podemos tener experiencias que incluso rompen las leyes físicas, imposibles en el mundo

terrenal. Ahora tenemos la capacidad de liberarnos de nuestro cuerpo y sus impedimentos físicos para alcanzar como cibernautas una realidad y una sociedad digital, infinita ya que no tiene principio sino varios, y dado su crecimiento radial tampoco tiene final. Puede ser tan grande como usuarios la utilicen.

El ciberespacio es un **nuevo espacio social**, que se diferencia de los espacios tradicionales que son la naturaleza -o sociedad rural-, y la ciudad -o sociedad urbana-, en que este fluye a través de flujos electrónicos a distancia y en línea, tratándose de un espacio telemático que discurre a través de la red y los satélites de telecomunicaciones pero no tiene lugar en el espacio físico. Esta nueva sociedad, es opuesta a las dos sociedades conocidas, pero no por ello es excluyente sino que son complementarias. Una característica de este espacio de la "virtualidad" es su temporalidad efímera, pues solo existe cuando es solicitado y requiere de la participación humana para ello. Esta realidad no existe si un usuario no la demanda. (Burgos, 2008, pág. 110)

Muy bien, el ciberespacio es una creación del hombre en su búsqueda por controlar todo lo que no entiende. Una nueva realidad contenida en un entorno envolvente en el que compartir información más pura, pero ¿qué tiene todo esto que ver ahora?

*Una imagen vale más que mil palabras*, nunca mejor dicho.



Lo mismo que sucedió con el periódico, la radio, televisión e Internet, la realidad virtual ha trascendido más allá de la tecnología y de su aplicación industrial, marcando una nueva era en las relaciones sociales y la forma en que nos comunicamos. Y es que está revolucionando la comunicación de masas gracias a la creación de un nuevo medio más acorde a nuestro siglo. Su principal aportación comunicativa es la capacidad de la **interactividad** (a diferencia de los otros grandes medios) y la sustitución de la palabra por un nuevo **código lingüístico icónico**.

Mencionemos al sociólogo y filósofo canadiense Marshall McLuhan (predijo el Internet y la difusión masiva así como su impacto social 20 años antes de su aparición) y su concepto de -**aldea global**- dos términos contradictorios (aldea es algo local mientras que global se refiere al mundo entero) que juntos adquieren un nuevo significado. Describe las consecuencias del



desarrollo de los medios de comunicación masiva que se nutren de los medios electrónicos. Es así como las personas pueden enterarse de lo que sucede en todo momento en cualquier lugar del mundo, de manera que el planeta entero pasa a funcionar como una gran aldea omitiendo las grandes distancias y barreras físicas. Esta nueva forma de comunicación tiene ventajas como el enriquecimiento cultural (estamos más informados que nunca), la inmediata disponibilidad y accesibilidad a la información, la comunicación directa sin importar las distancias, etc., y desventajas tales como exagerado desarrollo del capitalismo y su actitud consumista y derrochadora, aumento de la desigualdad económica, la desaparición de pequeñas culturas y la enfatización de las diferencias sociales dada la necesidad de contar con alta tecnología para poder hacer uso y disfrute de esta nueva forma de comunicación.

Otra de las grandes frases y predicciones de M. McLuhan fue "**el medio es el mensaje**" con lo que quería decir que la forma en que adquirimos la información, la forma en que percibimos la realidad, nos influye más que la propia información en sí misma.

Antiguamente la palabra escrita dominaba la comunicación, pero este tipo de información posee un autor, con unos pensamientos y unas ideologías concretas que hacen que la información ofrecida no sea totalmente verídica ni objetiva. Además existe un desfase de tiempo y distancia entre los hechos narrados y su lectura. Esto ocasiona que el lector pueda no comprender al autor debido a estas diferencias sociales y temporales que los separan. Hoy en día sin embargo, buscamos **información inmediata, objetiva y libre de ser modificada** por los medios de difusión.

El desarrollo de la aldea global modifica a la humanidad en cuanto altera la organización social y su forma de comunicarse, rompiendo barreras, fronteras, idiomas y culturas, incluso clases sociales.

Antiguamente, la única información que tenían las culturas locales sobre otras distintas era a través de la llegada de mercancías, libros, y dibujos (antes de la llegada de la fotografía en el s. XIX). Con la fotografía las fronteras comenzaron a resquebrajarse, y desde entonces, con la llegada de los sucesivos medios de comunicación las culturas y las fronteras comenzaron a fusionarse.

En cada momento las potencias mundiales a través de sus modelos comunicativos, son las que culturalmente más han

influenciado al resto del mundo. Hasta que ahora en la actualidad, en casi cualquier lugar del mundo podemos comer lo mismo, vestir las mismas ropas, utilizar las mismas tecnologías y dialogar en el mismo idioma. Pero algo que tenemos claro, es que la mejor forma de comunicación entre masas, que se sobrepone a cualquier idioma y frontera, es la **audiovisual**. Y aquí es donde entran en juego el ciberespacio, que normaliza la comunicación global estableciendo un **nuevo lenguaje basado en la imagen (código icónico)** en vez de la palabra (código lingüístico). Este no necesita de nuevos códigos conocidos entre los interlocutores (única barrera para la creación de un lenguaje global) pues la imagen es algo que cualquier persona comprende. El cine y la televisión fueron los precursores de este hecho. **El tercer entorno se ha convertido en el espacio platónico para la comunicación masiva, internacional e intercultural, donde el contenido audiovisual y la interacción constituyen un nuevo lenguaje real, puro y verdadero.**

Nuestros sentidos tienen una fase de desarrollo correspondiente a la época en la que nacemos, en la que influye más el estado de civilización de nuestra sociedad que el aprendizaje individual que uno pueda realizar. Por lo tanto la fase de nuestra sociedad es la de la **-iconosfera-<sup>24</sup>**, donde hemos crecido rodeados de las pantallas de la televisión, el cine, el ordenador y el móvil.

Las personas han dejado de pertenecer a las masas pasivas para convertirse en un público presente y activo que interactúa con el emisor a pesar de las distancias y cualquier otra barrera. Así se constituye pues la sociedad de la información, la iconosfera, donde quien domina la información y su difusión puede controlar a la sociedad. **La información es poder**, y se convierte en la base de nuestra economía ya que las grandes compañías están dispuestas a conseguirla a cualquier precio.

Todo esto tan solo es el inicio de una nueva era, pues Internet ni siquiera cumple medio siglo, lo que nos hace pensar que todavía estamos en el paleolítico de la comunicación, aun esperando a ver como evoluciona todo esto. Por ejemplo, el holograma es una tecnología aparcada, a la espera de ser desarrollada.

La Realidad Virtual y la Realidad Aumentada como tecnologías de la Industria 4.0 han llegado no sólo para transformar nuestros hábitos y trabajos, sino también la forma en que nos comunicamos.

<sup>24</sup> Término acuñado por Gilbert Cohen-Séat, periodista, escritor, teórico y director de cine francés, que lo define como "el conjunto de informaciones visuales que circulan en el universo de los medios de comunicación de masas".

# Aplicación en la Arquitectura y la Construcción 4.0

Al igual que los ordenadores, Internet y los dispositivos inteligentes llegaron para cambiar drásticamente nuestras vidas haciéndonoslas más sencillas, el tercer entorno y la Arquitectura Digital se han instaurado también para simplificar la labor de diseñadores y arquitectos revolucionando el sector.

Con la llegada del diseño asistido por ordenador (CAD) la arquitectura comenzó a introducirse en el ámbito de la virtualidad. Aquí la computadora es una mera herramienta de apoyo para realizar la representación tradicional del proyecto de una manera mucho más precisa y rápida que con el dibujo a mano. Supuso un antes y un después para los ingenieros y arquitectos con el que pudieron crear planos más eficazmente, simplificando tareas como dibujar elementos repetidos, una tarea lenta y costosa, que ahora son tan rápidas como darle al botón de copiar. Esto acorta un tiempo muy valioso invertido en el dibujo pudiendo emplearlo en hacer un proyecto de mayor calidad y desarrollar nuestra creatividad en el diseño hasta límites insospechados.

El CAD supuso una técnica revolucionaria para diseñadores y arquitectos, y hoy en día sigue siendo extendidamente utilizada en todo el mundo pero se está quedando obsoleta debido a la creciente necesidad de realizar proyectos de mayor envergadura y que incluyan mucha más información, que sean eficientes y sostenibles pero que a la vez reduzcan los costes, y todo esto en el menor tiempo posible.

Es entonces cuando entran en juego las nuevas tecnologías informáticas y las nuevas metodologías de trabajo como la Realidad Virtual (inmersiva o no) y el BIM, representando los proyectos enteramente de forma digital, lo que nos proporciona mucha más información que la representación bidimensional en papel (solo permitía la percepción bidimensional), viéndose enriquecidos por la visualización y navegación a través del modelo virtual.

*Los motivos que han unido a la Realidad Virtual con la Arquitectura de forma ya inseparable, se relacionan directamente con las posibilidades visuales que esta aporta. En la visualización de arquitectura siempre se busca ofrecer al cliente un proyecto lo más cercano a la realidad. No obstante, hasta ahora todavía estaba todo muy limitado a imágenes estáticas o, como mucho, videos de ambiente.*

*Sin embargo, con la Realidad Virtual, podemos mantener el fotorrealismo con el aliciente de que seremos capaces de dotar de movimiento para interactuar, caminar por las habitaciones, abrir y cerrar puertas, avanzar por distintos pisos y pasillos, hacer cambios en la decoración, o incluso encender y apagar luces.*

*Por tanto, se ha pasado de poder presentar un proyecto del que se daba una idea general de su estado final, a poder subir un escalón más y dar una sensación hiperrealista donde uno de los mayores alicientes es el de poder cambiar en el mismo momento los materiales, colores o formas de los elementos que puede contener y que conforman una construcción<sup>25</sup> facilitando el trabajo arquitectónico.*

El tercer entorno digital no siempre es valorado como se merece, pues en el mundo de la Arquitectura y de la creatividad se valora más la corporeidad, característica que no posee el ciberespacio, aunque epistemológicamente sí entre en el orden de lo real, pues –virtual- *virtus* en latín significa fuerza, energía, potencia. Lo virtual está presente aunque escondido, así como una planta está contenida virtualmente en su semilla, y un cuadro está virtualmente esbozado en los colores que componen la paleta del pintor. (García, 2000, pág. 11)

Las fuentes de las que beben los entornos simulados son las variables que le proporcionan el ordenador y la corporeidad, creando un universo distinto y complejo, en el que prima la **interactividad** entre los usuarios y el entorno. *“La computadora facilita la experimentación libre individual así como grupal. Tal vez por eso se puede afirmar que se está frente a una revolución que cambiará definitivamente los parámetros y conceptos de la arquitectura tal cual la reconocemos y definimos, es esta arquitectura indefinida, que busca la provocación mediante formas geoméricamente ambiguas con tecnología digital. No constituye un hecho aislado, ni puntualmente localizado, ni limitado a un territorio intelectual definido, de hecho forma parte*

<sup>25</sup> *Realidad Virtual para Arquitectura: el futuro es hoy.* (27 de Febrero de 2018). Obtenido de Factoría 5 Training Hub: <https://www.factoria5hub.com/single-post/realidad-virtual-para-arquitectura>

de la **transdisciplinariedad** y el emergente **pensamiento complejo**". (Burgos, 2008)

El uso de las herramientas digitales nos proporcionan una nueva inteligencia, una manera de pensar y crear diferente que ha de ser valorada, permitiendo discurrir sobre nuevas **espacialidades complejas**, estructurando nuestro pensamiento en direcciones no lineales, es decir, transversal, multidimensional e hipertextual, tomando otra actitud frente a la idea de arquitectura tradicional, sin romper con la caja clásica sino que olvida partes de ella y retoma otras.

Debemos entender que esta nueva tecnología pertenece a la ciencia, y que tecnología y ciencia son complementarias y dependen una de la otra, y que ambas no buscan más que dar soluciones a nuestro mundo actual altamente tecnificado. Tecnología y ciencia se fusionan en una sola, la **-tecnociencia-**<sup>26</sup>.

Como ya hemos visto anteriormente podemos observar cómo sin la tecnociencia mucha de la arquitectura emblemática actual no sería posible sin el apoyo de las computadoras, como es el caso de Frank O. Gehry, Zaha Hadid, Rem Koolhaas, Norman Foster, etc. Lo mismo pasa en el campo de la medicina como por ejemplo en los estudios sobre el Genoma Humano.

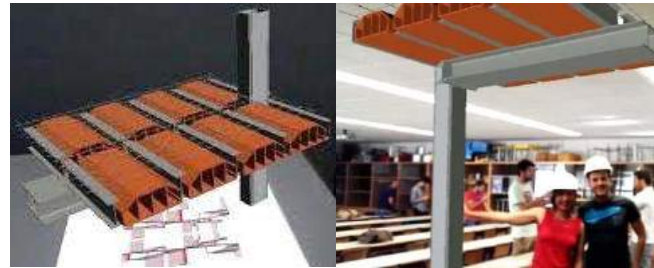
Y es que, el mayor reto al que se enfrenta continuamente el sector es la capacidad para adaptarse a las exigencias y las disruptivas innovaciones mayormente enfocadas a mejorar la calidad, eficiencia, seguridad y coste, en un mundo cada vez más competitivo y más concienciado con el medioambiente, donde no se permite proyectar con errores. Y es que la construcción, la tecnología y la sostenibilidad tienen que redefinirse y trabajar juntas como nunca lo habían hecho hasta ahora. (El futuro de la construcción, en manos de la tecnología, 2018)

La tercera dimensión finalmente ha conseguido trascender más allá de la industria de los videojuegos y el entretenimiento para ser utilizada en el mundo laboral así como ya dominamos otras muchas tecnologías que nos facilitan nuestros quehaceres más rutinarios y nos permiten avanzar en pro del futuro, liberándonos de viejas ataduras e imposiciones para otras nuevas aptitudes. Incluso contribuye a la globalización real y absoluta al permitir que personas con discapacidades puedan acceder a la información y entrar de nuevo en el sector laboral integrándose por fin de manera plena en la sociedad.

Veamos a continuación como las VR y AR pueden ayudarnos en los sectores de la Arquitectura y la Construcción:

► **EN LAS FASES DE DISEÑO:**

▲ Para empezar nos ayuda en la fase de aprendizaje, por ejemplo, para un buen entendimiento de las soluciones constructivas de un edificio por estudiantes o personas sin conocimientos específicos sobre el tema ni capacidad de visión espacial, se hace necesaria la visualización tridimensional que permita comprender sencillamente los encuentros estructurales. Esto se consigue combinando BIM con aplicaciones de AG o VR, generando una herramienta novedosa y eficaz para el entendimiento de la ingeniería de la edificación. El resultado es que a través de la tercera dimensión los usuarios pueden visualizar y manipular múltiples detalles constructivos incluso a escala real, permitiendo también descargarlos para poder reproducirlos en sus dispositivos móviles cuando quieran.



▲ Dentro del mismo ámbito, nos permiten trabajar e interactuar con maquetas virtuales, que a diferencia de las físicas, podemos hacerlo a cualquier escala y con la ventaja de la modificación a tiempo real, lo que nos ahorra mucho tiempo y dinero. Gracias a esto, alumnos y profesores, clientes y arquitectos, pueden trabajar conjuntamente en las fases iniciales de diseño y posteriormente en la materialización del proyecto de forma más productiva y eficaz.



**Figuras 1 y 2:** aplicación de la Realidad Aumentada en la formación de la ingeniería de la edificación. Obtenida de (Piedecausa-García, Pérez-Sánchez, & Mateo-Vicente).

**Figura 3:** uso de la Realidad Virtual en el diseño arquitectónico para visualizar e interactuar con maquetas digitales. Obtenida de: <http://www.thinkstockphotos.es>

<sup>26</sup> Se define como Tecnociencia al proceso de conocimiento científico altamente tecnologizado y que se sirve de instrumentos tecnológicos, permitiendo una mayor rapidez y mayor escala de producción de conocimientos que responden a problemáticas específicas.

▲ En general permite que todos los implicados en un proyecto puedan adelantarse a la construcción para conocer el resultado final y así detectar posibles fallos y mejoras.

▲ Un ejemplo de las posibilidades de aplicar la tercera dimensión junto con el BIM es la del diseño de complicados espacios como salas de conciertos o auditorios. En el modelo 3D se pueden colocar y mover pantallas para la reflexión del sonido, así como probar materiales con distintas absorciones hasta conseguir la mejor sonorización posible mediante múltiples simulaciones mientras atendemos también a la parte estética. El programa informático es capaz de tener en cuenta y calcular todas estas variables, y otras como el hecho de cuánta gente haya en la sala, o la potencia del sonido emitido. El resultado de estas combinaciones genera automáticamente la documentación básica del proyecto, facilitándole el trabajo al diseñador, pero sin el que sin sus conocimientos, experiencia y su forma de aplicarla no existiría tecnología que pudiese hacerlo por sí sola.

▲ Además de otras ventajas ya mencionadas, facilita el estudio y visualización de fenómenos más complejos como la simulación de evacuación, flujos de tránsito de personas, resultado de la iluminación natural y artificial, respuesta ante fenómenos meteorológicos, reacción de la estructura frente a distintas cargas y variables, etc.

▲ En las fases previas a la construcción la VR aparte de ayudar al arquitecto a moverse por la obra sin salir de su despacho va a influir mucho en el marketing y la venta de la construcción. Ya no será necesaria la inversión para hacer pisos piloto, pues el comprador podrá verlos y recorrerlos desde la oficina del arquitecto mediante unas gafas, teniendo la posibilidad de modificar materiales y objetos a voluntad antes de ser construidos.

#### ► DURANTE Y DESPUÉS DE LA CONSTRUCCIÓN:

▲ Mediante la sincronización del modelo de información y los dispositivos para visualizarlo, arquitecto, ingenieros, jefe de obra y operarios están en contacto continuo, recibiendo en obra cualquier cambio que se haga en el modelo y viceversa (*feedback*), anticipándose a los imprevistos y solucionando eficientemente aquellos que sean inevitables, mitigando las diferencias entre el proyecto de ejecución y el proyecto construido -*as built*-, lo que supone un ahorro de tiempo y dinero esencial.

▲ Previamente calculadas y trazadas las instalaciones de un edificio se genera en BIM un modelo virtual con toda la red de conductos, y que juntamente a estas tecnologías podemos utilizar para detectar incompatibilidades entre las diferentes instalaciones así como con la estructura del edificio, y mediante la realidad virtual y/o aumentada podemos visualizarlas a escala 1:1 mientras nos desplazamos por el edificio. A través de una sencilla interfaz tenemos la posibilidad de elegir que capas mostrar: falso techo y acabados, instalación de iluminación, conductos de ventilación, fontanería y saneamiento, o todas a la vez. Además, señalando cualquier elemento obtenemos toda la información que posee en el modelo BIM. Esto es de gran utilidad para que los operarios puedan visualizar el resultado final facilitándoles el trabajo de ejecución. O en la fase de mantenimiento del edificio, cuando se quiera localizar un punto de registro, una fuga, o cualquier otra información sobre una instalación oculta.



▲ La realidad aumentada se convierte en una herramienta más indispensable que nos permite movernos a través de la obra visualizando información adicional. Podemos obtener información de cualquier pieza o elemento contenida en el modelo BIM, así como sus medidas o distancias entre ellos, colocar objetos o cambiar las propiedades de algún material.



Figuras 1-3: la VR y la AR facilitan la detección, visualización y comprensión de instalaciones y elementos ocultos en la edificación. Obtenidas de: <https://www.bimcommunity.com> y <https://arqz-bim.com> y <https://arqz-bim.com>

Figura 4: la AR nos permite medir objetos y distancias así como obtener información asociada en el modelo BIM. Obtenida de: <http://biblus.accasoftware.com/es>

Para ello el dispositivo detecta y reconoce el entorno a través de la cámara reconociendo marcadores (*AR Tag*) y patrones, conocidos como *Marker Tracking*, para después rastrearlos y realizar un seguimiento por georeferenciación de nuestra posición relativa y orientación mientras nos movemos por el espacio, y así superponer e integrar la información del modelo BIM sobre el entorno real con la mayor naturalidad y realismo posible. Así es que los elementos virtuales se sitúan en lugares precisos, a pesar de que no los estemos enfocando.

Esto es de gran ayuda y ya se está utilizando por ejemplo en la fase de replanteo de la cimentación y la estructura, de esta manera se puede visualizar con precisión la localización de los elementos y así evitar errores como podemos ver en la imagen. Incluso se pueden dejar anotaciones y comentarios “virtuales” para que los operarios posean toda la información del director de la obra.



**BIM+VR/AR** ¿Cómo vinculamos nuestro proyecto BIM a estas tecnologías?

Para la Realidad Virtual los propios software BIM como Autodesk-Revit, u otros externos como Lumion o Edificios-VR nos permiten generar las vistas 360 a partir de nuestro modelo del proyecto. Kubity o Visual Dat son plataformas que nos permiten exportar esas vistas a formatos compatibles con la tecnología VR y AR,

visualizar y recorrer el modelo con nuestro Smartphone o experimentarlo en primera persona con unas gafas de Realidad Virtual.

Para la Realidad Aumentada aplicaciones como Augment, SightSpace Pro o BIMevoke permiten cargar el modelo de información virtual en nuestro dispositivo móvil y visualizarlo coordinadamente en tiempo real junto a la realidad captada por la cámara (con precisiones de hasta 0.2mm). Este se moverá conjuntamente a la vez que movamos la cámara, para lo que son muy útiles aunque no necesarios el uso de *trackers* o rastreadores (como por ejemplo códigos QR) una serie de “marcas” colocadas estratégicamente que facilitan al dispositivo el reconocimiento del espacio físico y vincularlo al virtual. Sin el uso de estos *trackers* el dispositivo es igualmente capaz de reconocer visualmente el espacio a través de patrones.

Augment además permite escanear objetos mediante fotogrametría tomando diversas fotografías con nuestro Smartphone. Los modelos generados son exportables a BIM para su uso en nuestros proyectos.

Otros programas como Daqri facilitan a los operarios la detección de instalaciones ocultas y obtención de la información contenida en el modelo acerca de los productos para realizar las labores de mantenimiento.

Existen muchas más aplicaciones como Pair y LORAR con las que simplemente podemos recorrer nuestros proyectos o darle vida a nuestros planos superponiéndoles el modelo 3D.

Incluso ambas tecnologías (VR y AR) se pueden combinar en una sola mediante gafas de Realidad Virtual que integran una cámara, por lo que a través de ellas observaremos al estilo de la Realidad Aumentada la imagen captada por la cámara con la información añadida procedente del modelo BIM. Para ello disponemos de aplicaciones como Smart Reality de JBKnowledge.

La coordinación del BIM con estas tecnologías permitirá conectar en tiempo real el estudio (a través de un servidor BIM remoto) directamente con la obra (dispositivos móviles o gafas VR) y realizar las labores de la edificación de forma más segura, precisa, eficiente y productiva. Igualmente permite observar antes de la construcción el modelo georeferenciado (con aplicaciones externas como AR-media) para la toma de decisiones en el diseño y el impacto con el entorno. Así como para ilustrar al cliente las decisiones y resultados fomentando su participación.

**Figuras 1 y 2:** la Realidad Aumentada permite obtener información del modelo BIM y superponerla a la realidad captada con la cámara, facilitando tareas como controlar el replanteo de un proyecto in-situ. Obtenidas de: <https://www.modelical.com> y <https://www.aplitop.com>

# El futuro de esta tecnología

Hablemos ahora de nuestro mundo actual, de comprensión retardada frente a las realidades que cada vez son más complejas. Para ello retomamos el tema de la EDUCACIÓN y cómo puede beneficiar la realidad virtual a la ARQUITECTURA.

Según el filósofo y sociólogo francés Edgar Morin es necesaria una reforma de la educación que permita que las nuevas generaciones respondan a las exigencias del nuevo milenio a través del entendimiento interdisciplinario y holístico que nos exige nuestro actual mundo globalizado de la era de la información. El fracaso de la educación quizás se debe a las respuestas que mantienen una mirada hacia el pasado, en vez de crear una propuesta en aras del futuro. Es por eso que él propone una reforma que permita lograr el **pensamiento complejo**. El proceso de formación que nos vuelve aptos para integrarnos en la sociedad de manera activa y productiva, representa el pensamiento complejo, siempre en búsqueda de los **nuevos conocimientos** a base de la exploración y la investigación, dando oportunidad al error.

El término complejo es asociado a *-aquello que resulta difícil de comprender cuando no se tienen unas determinadas destrezas o conocimientos específicos-*. Pero se puede definir también como *-un conjunto que engloba una serie de elementos individuales, iguales o distintos-*. Edgar Morin define entonces el pensamiento complejo como una estrategia o ideología, como la capacidad que ha de adoptar el sujeto para interconectar distintas realidades ante el nacimiento de otras nuevas, como son en este caso la cibernética y las nuevas tecnologías, de manera no se reduzcan ni totalicen los fenómenos y se evite la división disciplinaria sino que se busque un **enfoque globalizador, transdisciplinario y holístico**, que reconozca la especificidad de las partes constituyentes de un todo.

El Espacio Europeo de Educación Superior propone nuevas metodologías de educación donde los estudiantes participen más tanto en las aulas como en casa, lo que conlleva reformar la

docencia que tradicionalmente ha estado vinculada a las clases magistrales. Con el empleo de la realidad virtual se ha comprobado una participación más activa de los estudiantes, aprovechando la familiaridad y el poder que tiene la tercera dimensión para atraer la atención de los usuarios, al poder visualizar y comprender los modelos estudiados de una manera más inmediata. La enseñanza que no integre los nuevos recursos informáticos con los recursos educativos tradicionales quedará desvinculada de la actual realidad social en la que vivimos.

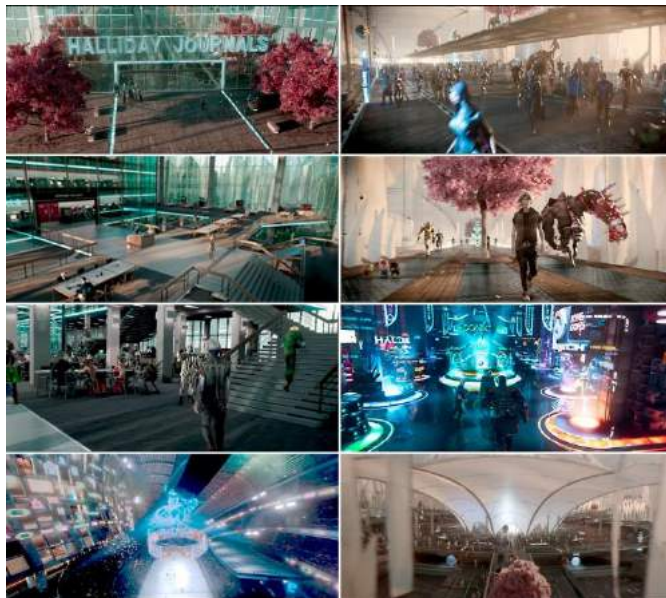
Las nuevas tecnologías digitales como esta influyen en el proceso creativo del diseño arquitectónico, y han de ser integradas con el mencionado pensamiento complejo, reformando la enseñanza convencional para así no caer en la fragmentación del conocimiento científico en arquitectura. Es importante inculcar este tipo de pensamiento desde la infancia, para estimular el intelecto, el sentido crítico y la creatividad. *“La Realidad Virtual es parte fundamental entre la percepto-sensorialidad e interactividad y de otros procesos de diseño, que con el uso constante del componente informático, elemento de gran importancia en la tecnociencia y eje estructurador de una nueva actitud, le da sentido al quehacer arquitectónico habitable y/o virtual, al generar conceptos como Diseño Orientado a Eventos”*. Es decir, en el diseño la arquitectura virtual nos abre una nueva puerta hacia esquemas y programas tipo evento, en vez de los tipo objeto, pues permite crear espacios cambiantes con *-n-* realidades y múltiples transformaciones en tiempo real, libres de ser etiquetados para una sola función. (Burgos, 2008)

En estos nuevos espacios programables y transformables según el tipo de uso que se les vaya a dar, la Realidad Virtual constituirá una de las herramientas para lograrlo. El mismo espacio podrá funcionar como museo, centro de compras on-line, lugar de ocio y recreación, sala de conferencias, etc.

La VR incluso permite la conexión de múltiples usuarios a espacios virtuales no existentes en el mundo real, dese la comodidad de sus casas. Por ejemplo, la película Ready Player One<sup>27</sup> nos muestra de forma muy interesante como esto podría suceder. Durante su metraje podemos observar un futuro en el que esta tecnología está plenamente desarrollada e implantada, y

<sup>27</sup> Película de Steven Spielberg (2018) basada en la novela homónima de ciencia ficción escrita por Ernest Cline (2011).

tan extendida en toda la población mundial como lo están ahora los dispositivos móviles inteligentes. Las personas poseen gafas, trajes hápticos (permiten sentir la realidad virtual en todo su cuerpo e interactuar con ella) y otros accesorios, y con total naturalidad se sumergen en un universo virtual denominado "Oasis", sin salir desde sus casas, o desde espacios comunes habilitados para ello. Allí pueden relacionarse e interactuar unos con otros, jugar a videojuegos en primera persona, ir de compras a un centro comercial, al casino, asistir a conciertos y eventos, etc. además de poder liberarse allí de las limitaciones que nuestro mundo físico nos impone. En ese entorno digital pueden volver a ser jóvenes o tener la edad y apariencia que deseen, tener un estatus diferente al que tienen en la sociedad real o tener capacidades y habilidades imposibles para nosotros. Como dicen: *"la gente acude allí por todo lo que pueden hacer, y se quedan por todo lo que pueden ser"* y *"los límites de la realidad están en tu imaginación"*.



En la película además podemos vislumbrar el desarrollo y uso de otras tecnologías como los drones, utilizados en actividades como el control de masas o el reparto a domicilio en el mundo físico de las compras realizadas en el mundo virtual.

Cambios en la educación, en la comunicación, en los espacios... y también en las profesiones.

Ya hemos visto como la Realidad Virtual y la Realidad Aumentada tienen numerosas aplicaciones en la Arquitectura y la Construcción que aportan grandes ventajas no comparables a alguna tecnología anterior. Como numerosas aplicaciones tienen también en los sectores de la ingeniería, la medicina, en el arte, etc. Sus posibilidades son infinitas, y sin duda transformarán nuestro mundo hasta niveles dignos de la ciencia ficción cinematográfica.



UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

Alumno: ALEJANDRO GONZÁLEZ CHAMORRO

Tutor: JESÚS SAN JOSÉ ALONSO

Figura 1: fotogramas obtenidos del largometraje Ready Player One: calles, edificios, centros comerciales, eventos, etc. a los que pueden acceder los usuarios de la Realidad Virtual. Obtenidas directamente del filme.

Figuras 2-7: diversas aplicaciones de VR y AR en diferentes sectores. Obtenidas de:

<https://www.nytimes.com>

<https://www.knkpublishingsoftware.com>

<https://www.colocationamerica.com>

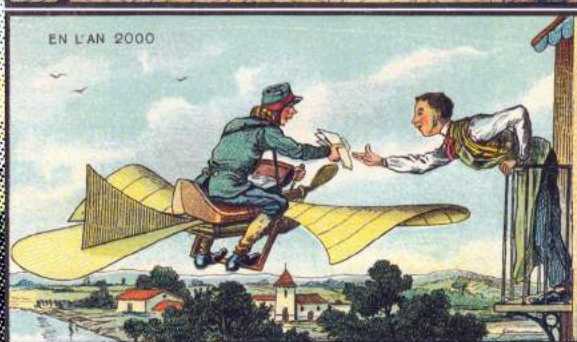
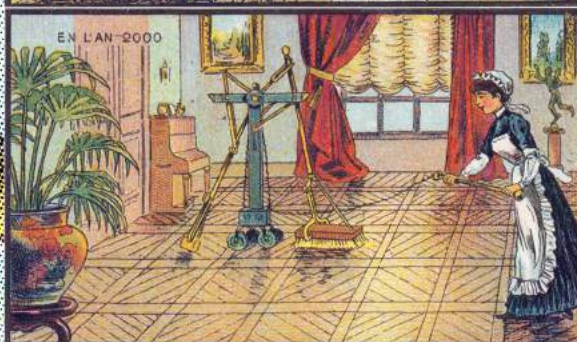
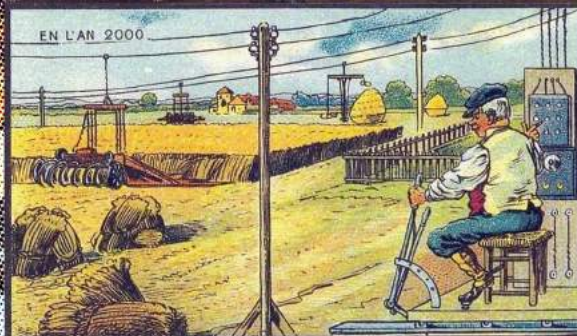
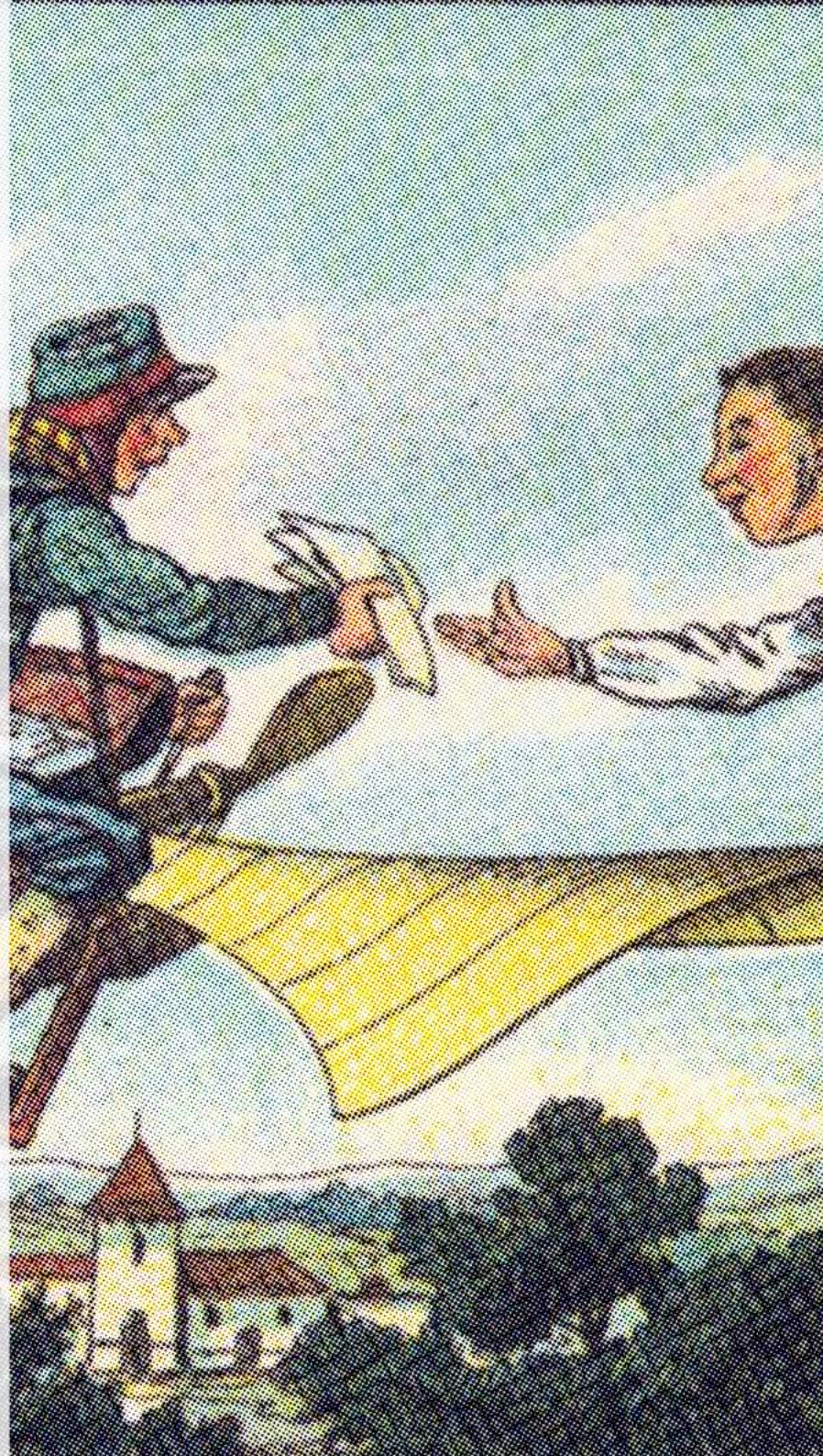
<https://www.neosentec.com>

<https://medium.com>

<https://www.oneyoungworld.com>

*En L'An 2000* (En el año 2000),  
Jean-Marc Côté, XIX-XX.

En esta ocasión predijeron el futuro en varias ilustraciones. Como podemos ver adivinaron que en nuestro siglo XXI existen los medios de transporte aéreos, con los que además podemos realizar por ejemplo repartos a domicilio. También disponemos de robots autónomos capaces de limpiar nuestras casas y hacer trabajos de campo. En este apartado hablaremos sobre robots/drones autónomos o pilotados remotamente con numerosas aplicaciones.





LOS

# DRONES



# Qué son. Orígenes y Aplicaciones

Antes de especificar las aplicaciones de los drones en la actualidad, definamos en primer lugar **qué son** los drones:

Un dron (*drone* en inglés) o Vehículo Aéreo No Tripulado (VANT) (*Unmanned Aerial Vehicle* UAV, en inglés), es una aeronave reutilizable que vuela sin tripulantes a bordo y que es capaz de mantener de manera autónoma un nivel de vuelo continuo y controlado.

De esta definición percibimos que a esta familia de aeronaves no pertenecen los aeromodelos teledirigidos ni los misiles de crucero, ya que los primeros no poseen autonomía de vuelo y los segundos sólo son de un solo uso.

Hay dos maneras de controlar su vuelo, desde una ubicación remota en tiempo real, o existe la posibilidad de programar informáticamente un plan de vuelo que la aeronave sigue de manera autónoma.

Su denominación es un tema complejo todavía en la actualidad, ya que existen muchas tipologías que no pueden ser llamadas de la misma manera. El término VANT está en desuso ya que si no está destinado al transporte de personas o cosas, no puede considerarse un vehículo (lo que sucede en la mayoría de las ocasiones). Otra acepción muy popular es la de RPA (*Remotely Piloted Aircraft*) o RPAS (*Remotely Piloted Aircraft System*) que se refieren a las aeronaves pilotadas remotamente, pero esta denominación tampoco es válida para aquellas aeronaves que circulan con planes de vuelo autónomo totalmente independientes de intervención humana. Por ejemplo podemos afirmar que todos los RPAS son drones, pero no todos los drones son RPAS.

Es por eso que para referirse a ellos en general es mejor hacerlo con nombres genéricos como UA (*Unmanned Aircraft*) que no tienen en cuenta si son autónomas o tripuladas remotamente, o la más popular de todas -*drón*-, *drone* en inglés que significa "zángano", y que surge en los años 40 como un juego de palabras ya que ambos emiten un zumbido similar.

Son **veloces, ligeros, más pequeños que cualquier aeronave tripulada y por consiguiente mucho más económicos**, además de manejarse con relativa facilidad. Tanto es así que los drones han sustituido casi por completo a los helicópteros para realizar tareas rutinarias que involucran inspecciones o toma de datos en general. Poseen numerosas ventajas respecto a ellos como son la obtención de **información más precisa en menos tiempo**, **accesibilidad a zonas difíciles**, **reducción de accidentes laborales** y la **no contaminación**.

Existen infinidad de drones cuyos diseños incluyen una enorme variedad de formas, configuraciones y características. Debemos mencionar que existen drones terrestres, submarinos y anfibios, pero en este trabajo sólo nos centraremos en los aéreos. Entre todos ellos podemos destacar los de tipo **multirotor** y los de **ala fija**. Las diferencias entre ambos son que el multirotor permite el despegue y aterrizaje en vertical y la posibilidad de desplazarse a muy baja velocidad e incluso mantenerse "estático" en el aire, rotar sobre sí mismo o acercarse de manera crítica al objetivo. Por el contrario los de ala fija, se desplazan a mayor velocidad por lo que no pueden realizar maniobras con tanta exactitud, pero poseen una mayor autonomía de vuelo por lo que cubren mayores superficies de actuación, además de tener mayor resistencia a las condiciones adversas de la climatología. Por ende podemos simplificar que los drones de ala fija se utilizan para actividades que cubren grandes áreas como la agricultura de precisión, cartografía y topografía, y los de tipo multirotor para las actividades que necesitan cubrir menor superficie y necesitan mayor precisión. (García G., 2017, pág. 24)



Figuras 1 y 2: a la izda. un dron -multirotor- y a la dcha. uno de -ala fija-. Obtenidas de: <https://shop.yuneecc.com> y <https://www.juguetronica.com>

Aunque la tecnología dron parece cosa del futuro, está ya bastante instaurada en diversos sectores. Y en verdad el mercado de estas aeronaves está sufriendo un crecimiento exponencial, movilizando actualmente en todo el mundo cifras millonarias. Este crecimiento es debido a que a pesar de que su origen es militar, actualmente es el campo civil el que está recibiendo toda su atención ya que se han vuelto muy eficaces para el trabajo de arquitectos, paisajistas, constructores, ingenieros, topógrafos... así como en muchos otros sectores, incluso el del ocio y entretenimiento. Sus aplicaciones presentan un amplio rango de uso pero también grandes desafíos ya que sus actuales normativas limitan sus posibilidades y crecimiento, no siempre por razones de seguridad. Necesitamos garantizar y posibilitar un uso seguro de los mismos mediante una nueva legislación internacional que regule su uso a la par que se protejan los derechos fundamentales dentro de su aplicación en el campo civil.

Muchos dicen, que vivimos en la era del dron y que su único límite es nuestra imaginación. Pero en verdad todavía nos encontramos en una época de transición y acomodación a esta tecnología, cuya limitación no es el desarrollo tecnológico en sí mismo, sino la legislación que coacciona su evolución.

Sus **ORÍGENES** en el sector militar siempre tuvieron la finalidad de aumentar la **seguridad del ser humano**, sobreponiéndola a la de los aviones, desplazando a los pilotos a lugares alejados donde no puedan sufrir ningún daño. Esta idea de seguridad es también aplicable actualmente en sus aplicaciones civiles, donde en general son utilizados para realizar actividades de supervisión, inspección y toma de datos que resultan peligrosas, difíciles y sucias para la intervención humana. El presente y futuro de las aeronaves no tripuladas es alejarse de su aplicación militar e integrarse en los usos civiles más rutinarios y extraordinarios para hacernos la vida más fácil.

Sus comienzos datan de 1914, hace un siglo cuando el ingeniero Archibald Low comenzó a experimentar con prototipos guiados por radio aunque sin mucho éxito, pero ya se podía vislumbrar su indiscutible potencial.

*Al igual que la navegación por satélite "GPS", el desarrollo inicial de internet o la bomba atómica, los vehículos aéreos no*

*tripulados han sufrido un fuerte empuje del I+D militar. En realidad, el empleo de drones maniobrados por los diferentes ejércitos no es algo nuevo, en sus raíces, bajo el nombre de aeronave pilotada remotamente (RPA), se esconden los prototipos de los llamados "torpedos aéreos" posteriormente llamados "misiles crucero", estas bombas se emplearon como blanco fácil, en la Primera Guerra Mundial (1914-1918), aunque de manera muy limitada, puesto que pretendían ser un armamento de largo alcance, sin embargo este difícilmente alcanzaba distancias de varios cientos de metros, debido a los cambios de viento y la variabilidad de la distancia hacia un objetivo móvil. No obstante marcaron el comienzo de una nueva tecnología, aunque los sistemas utilizados fueran burdos y poco fiables, resultaron ser muy ingeniosos.* <sup>28</sup>

Durante la Segunda Guerra Mundial (1939-1945) Gran Bretaña pasó de desarrollar misiles de crucero para centrarse con éxito en los blancos aéreos controlados también por radio. Su diseño eran versiones en miniatura de aviones tripulados y fue entonces cuando se popularizó el término VANT en sustitución de RPA.

Durante los años 50 los siguieron utilizando como tal en la Guerra Fría, aunque poco a poco fueron incorporando más tecnologías como cámaras para la toma de imágenes. En la década de los 60 el ejército estadounidense utilizó los VANT en la guerra de Vietnam para la toma de imágenes sobre territorio enemigo y en los 70 comenzaron las misiones de reconocimiento y vigilancia. Otra mejora que incorporaron fue el aumento progresivo de carga útil que permitió transportar torpedos para que los barcos estuviesen alejados de las cargas y evitar así posibles accidentes o reducir los daños durante un ataque.

En los años 80 el desarrollo de la tecnología GPS liberó a las aeronaves de operar dentro del alcance de las señales de radio, y la evolución de los motores junto con otros factores, los convirtieron en una herramienta muy interesante en el sentido bélico. Y así los utilizaron los ejércitos israelí y el estadounidense. En la última década del siglo XX se les dotó de misiles, que junto al aumento de su autonomía conllevó al aumento de su tamaño.

En resumen, los drones de uso militar han experimentado el mayor desarrollo gracias a que se ha invertido mucho en su investigación y uso a lo largo de las últimas décadas. Dotados de armamento o con todo tipo de tecnologías son aptos para todo tipo de misiones donde su éxito radica en su gran precisión, su reducido tamaño, su menor coste y sobre todo el hecho de no

estar tripulado presencialmente por un piloto que pueda sufrir daños o la muerte en caso de accidente o ataque. Es por eso que a la larga los drones podrían sustituir casi por completo a los aviones tripulados de combate aéreo. (García G., 2017)

Durante todo este tiempo en su desarrollo militar tenían un aspecto muy similar al de un avión, por eso se extendió el uso del término 'avión no tripulado'. Sin embargo ahora ya no guardan semejanza alguna con ellos, su tecnología ha avanzado mucho más, así como su tamaño y coste se han reducido drásticamente. Tanto es así que ahora todo el mundo puede permitirse comprar y disfrutar de uno propio a precios muy asequibles.

Dejando de lado sus aplicaciones bélicas, estos dispositivos tienen muchas posibilidades en otros sectores que desarrollaremos a continuación, como son: inspecciones y mantenimiento de infraestructuras, parques eólicos e instalaciones eléctricas, levantamientos topográficos, control medioambiental, de cultivos o bosques, fotografía deportiva y de eventos, rodaje de películas, etc. Asimismo se está invirtiendo en otras aplicaciones como pueden ser el transporte y reparto de mercancías e incluso de personas. Se esperan grandes novedades para esta industria, que cambiará por completo nuestro día a día, nuestros trabajos y nuestras ciudades.

Como no podía ser menos, los drones actualmente son también de gran utilidad dentro del sector de la Arquitectura, que durante la crisis inmobiliaria sufrió un gran parón, pero ahora que empieza a renacer de la mano de las nuevas tecnologías, aplicadas tanto en las fases de diseño (toma de datos), en la de construcción (supervisión) y en la de mantenimiento (inspecciones). Pero sobre todo podemos alegar, que su uso es muy ventajoso para la reducción de riesgos laborales al realizar labores peligrosas para los humanos, al acceder a lugares de difícil acceso con total facilidad.

Quizás la implantación de esta tecnología está siendo más lenta de lo que se esperaba y hay muchos profesionales reticentes a adoptar sus beneficios. Pero esto mismo sucedió en los años 70 con la entrada de la robótica en las fábricas, tecnología totalmente normalizada en la actualidad. O también, como en el sector de la agricultura la llegada de nuevas tecnologías como el control por

GPS no fueron muy bien aceptadas, y hoy podemos ver como los grandes campos de cultivo se benefician de su aplicación.

*Mantenerse en línea con las nuevas tecnologías es de suma importancia en cualquier industria, por ello, cada vez el uso de drones en la construcción cobra mayor transcendencia. En un comienzo la normalización del sector ha ralentizado el auge de esta tecnología, pero como sucedió con la robótica empleada en trabajos de fabricación son técnicas que acaban por implantarse con normalidad.*<sup>29</sup>



Figura 1: Prototipo de aeronave guiada por radio de Archibald Low (1914). Obtenido de: <https://geographicalimagination.com/tag/archibald-low/>

<sup>29</sup> Aplicación de los drones en la construcción. (19 de Febrero de 2016). Obtenido de Embention: <https://www.embention.com/es>

Con toda esta información ya estamos preparados para hablar de los diferentes **USOS Y APLICACIONES** que reciben los drones hoy en día en diferentes sectores.

► **MILITAR:** aplicación para la que fueron creados en un principio. Sus misiones abarcan desde el reconocimiento al ataque armado, en zonas de alto riesgo o difícil acceso.

► **BÚSQUEDA Y RESCATE:** dotados de cámaras de alta resolución y cámaras térmicas de gran precisión, suponen una opción más económica y veloz que cualquier otra.

Estos equipos resultan de gran ayuda para la búsqueda de personas que han quedado sepultadas en avalanchas, derrumbamientos, o que se han perdido o sufrido algún accidente en lugares de gran extensión como una montaña o el mar. En Galicia por ejemplo tienen un uso muy activo en los equipos de rescate.

Un ejemplo es el dron Little Ripper (diseñado específicamente para transportar y desplegar equipamiento de salvamento médico), que encontró y salvó la vida de dos bañistas en Australia que quedaron atrapados por las olas, lanzándoles una capsula de rescate inflable. El rescate se desarrolló en tan solo 70 segundos.



► **CONTROL Y SEGURIDAD:** su uso se extiende generalmente a actividades que necesitan ser supervisadas desde las alturas para obtener un mayor campo de visión.

▲ Utilizado en la naturaleza para controlar grandes extensiones de vegetación, o volcanes, o cualquier otro lugar con el fin de evitar y mitigar riesgos ambientales. Además están conectados con centralitas a las que envían datos para realizar estudios, estadísticas y predicciones.

▲ Controlar ganado, bancos de pescado para hacer más eficientes las flotas pesqueras, estudios de biodiversidad marina, disuasión de cazadores furtivos, localización y recuento animales salvajes o vigilar y proteger animales en peligro de extinción.

▲ Se utilizan en gran número de aplicaciones civiles como la lucha contra incendios, vigilancia de oleoductos, control del estado de líneas eléctricas, de paneles solares u otras instalaciones, control de cultivos, vigilancia de fábricas y grandes instalaciones, etc. Las aeronaves no tripuladas suelen ser preferidas para misiones que son demasiado rutinarias y repetitivas, o incluso peligrosas para los aviones tripulados.



► **ENTRETENIMIENTO:** coches, barcos, aviones teledirigidos... y ahora drones. Y es que hoy en día también se han convertido en un juguete para niños y adultos, con el que aparte de disfrutar simplemente con sus pericias y posibilidades de vuelo, competiciones de carreras y otras actividades populares, podemos tomar fotos y vídeos desde las alturas, e incluso visualizar en tiempo real la imagen mientras lo controlamos desde la pantalla de nuestro móvil o unas gafas de Realidad Virtual, como si lo estuviésemos pilotando desde la cabina.



Figura 1: Drone de rescate Little Ripper. Obtenido de: <http://www.industrytap.com>

Figura 2: Dron realizando la inspección de un puente. Obtenido de: [https://www.youtube.com/watch?time\\_continue=70&v=LCaVDZ3RAqg](https://www.youtube.com/watch?time_continue=70&v=LCaVDZ3RAqg)

Figura 3: Dron con visión en directo desde el móvil. Obtenido de: <https://elvelodeldrone.com/tienda-de-drones/>



Figura 1: Drone Port Rwanda, de la Fundación Norman Foster. Obtenido de: <http://www.normanfosterfoundation.org/es/project/droneport/>

Figura 2: Aquila, el dron de Facebook por energía solar (42m de largo), para la transmisión de internet a partes remotas del mundo. Obtenido de: <https://newsroom.fb.com/news/2015/07/new-milestones-in-connectivity-labs-aircraft-and-laser-programs/>

<sup>30</sup> Norman Foster Foundation. Obtenido de <http://www.normanfosterfoundation.org/es/project/droneport/>

► **DOCUMENTACIÓN:** en general, utilizados para la toma de imágenes aéreas para multitud de aplicaciones.

▲ Fotografiar y tomar vídeos desde las alturas alcanzando lugares antes inaccesibles, ya que gracias a su reducido tamaño, gran precisión y reducido impacto en el entorno pueden volar a distancias muy cercanas al objetivo, más que cualquier otra aeronave, accediendo con facilidad a recovecos tanto interiores como exteriores para documentar con detalle por ejemplo la mampostería, decoración, o escultura de algún templo o monumento.

▲ Periodismo: mucho más rentable que alquilar un helicóptero, para los medios de telecomunicaciones lo es alquilar una aeronave tripulada remotamente y así poder retransmitir mejor el desarrollo de manifestaciones, catástrofes naturales, partidos deportivos, conciertos, etc. Es por esto que su uso se ha popularizado últimamente en este sector, permitiendo a los reporteros llegar allí donde ellos no pueden, y tomar imágenes que resultarían imposibles de cualquier otra manera.

▲ Cartografía: permiten la realización de estudios desde el aire o para la generación de ortofotomapas y elevaciones del terreno en alta resolución, de manera mucho más económica, con una precisión más detallada (1cm por pixel, a diferencia de la precisión por satélite de 1m por pixel), y sobre lugares protegidos sobre los que un helicóptero por su tamaño y su impacto en el entorno no podría hacerlo.

Otras ventajas son la de poder localizar yacimientos ocultos, planeamiento de futuras excavaciones, gestión del patrimonio, reconstrucciones de partes perdidas en 3D...

► **TRANSPORTE:** los automóviles cada vez incorporan nuevas características como el aparcado automático o sensores que ayudan a prevenir accidentes. Por eso la imagen futurista de los coches pilotados automáticamente está más cerca de lo que pensamos. En la actualidad esta aplicación se encuentra en fase de investigación en ciudades cuyas normativas son menos restrictivas. A esta realidad le seguirían los vehículos aéreos tripulados para el transporte de personas.

▲ Las carreteras y ferrocarriles son infraestructuras muy importantes e insustituibles para el transporte en los países desarrollados. Sin embargo países de América del Sur o África carecen de ellas. Construir las supondría una inversión sin

precedentes para alcanzar a todas las poblaciones. Sin embargo se puede solventar el problema de manera rápida y económica adoptando la emergente tecnología avanzada de los drones para realizar el transporte de mercancías que satisfagan las necesidades de las poblaciones.

En la imagen, el Droneport de Rwanda (2016), es el primer proyecto construido de la Norman Foster Foundation. El proyecto se basa en la idea de crear una red de puertos para drones a fin de repartir suministros médicos y otras necesidades en zonas de África y otros continentes de difícil acceso debido a una falta de infraestructuras de transporte.

Los puertos también fabricarán centros para drones, lo cual generará oportunidades de empleo para la población local. Al brindar a los habitantes los conocimientos necesarios para la construcción, el proyecto pretende dejar un legado que propicie un cambio de mentalidad más grande que el propio edificio.<sup>30</sup>



▲ Incluso se están investigando los drones de energía solar que funcionan como satélites y podrían proporcionar acceso a Internet a distancia en estas comunidades.



► **COMERCIAL:** parecía ciencia ficción, nos sigue pareciendo algo del futuro, pero en verdad es un hecho real y actual.

▲ Existen empresas de comida rápida que ya han utilizado estas aeronaves no tripuladas en vez de las motos

convencionales (Domino's Pizza por ejemplo). Si bien de momento solo se ha realizado como reclamo publicitario en no mucho tiempo se convertirá en algo habitual.



▲ La actividad del comercio minorista o reparto de paquetería está sufriendo un aumento exponencial debido a la compra online, lo que añade más vehículos en las carreteras ya congestionadas. La mayoría de los paquetes no pesan más de 2kg y tienen un volumen reducido, lo que utilizar los drones como medio de transporte es una elección más que acertada, que permite aminorar los tiempos, el costo, así como reducir la contaminación y liberar las infraestructuras existentes.



En la compañía estadounidense de comercio electrónico Amazon S.L. los drones serán un compañero de trabajo más. Su nuevo servicio Amazon Prime Air, está realizando pruebas de entrega privadas en Reino Unido, de las que recopila datos para desarrollar esta aplicación. Poco a poco se irá instalando en las ciudades que tengan el soporte legal y regulatorio para poder dar las prestaciones de forma segura. El objetivo es que en un futuro muy próximo puedas recibir en casa mediante un dron tu compra online en 30 minutos.

▲ La empresa postal Correos, también se ha sumado a la iniciativa, para repartir mensajería y paquetería así como productos de primera necesidad mediante drones en

localidades de difícil acceso y condiciones climatológicas adversas como Sotres (Asturias) donde ya está realizando pruebas, debido a que suele quedarse aislada en los meses de invierno.

▲ El uso comercial de esos robots voladores llega hasta límites extraordinarios e inimaginables. Por ejemplo, la firma italiana Dolce & Gabbana realizó en Milán el desfile de una colección de bolsos y complementos con drones como podemos ver en la imagen, en vez de lucirlos en modelos humanos. Las aeronaves perfectamente alineadas y sincronizadas sobrevolaron con estilo la pasarela.



► **ARQUITECTURA Y CONSTRUCCIÓN:** desde el análisis del terreno, pasando por el mismo proceso constructivo hasta finalmente en las fases de mantenimiento, los drones son útiles en todas las etapas de la edificación.

A continuación desarrollaremos esta aplicación.



Figura 1: Reparto de pizzas mediante un dron.  
Obtenido de: <http://skyzoom.co/dominos-pizza-domicilio-drone/>

Figuras 2 y 3: Reparto de paquetería a domicilio por la compañía Amazon Prime Air. Obtenido de: <https://hexus.net/business/news/retailers/88484-amazon-prime-air-functionality-detailed-new-video/>

Figura 4: Desfile de moda de accesorios Dolce & Gabbana con drones. Obtenido de: <https://www.xataka.com/drones/nada-de-modelos-dolce-gabbana-usa-drones-para-mostrar-su-nueva-coleccion-de-bolsos-en-la-pasarela>

Figura 5: Trabajo colaborativo de la metodología BIM y la tecnología dron en la ingeniería de la edificación. Obtenida de: <https://www.engineering.com>

# Ventajas y Aplicaciones actuales en la Industria AEC

De todos los sectores, éste es el que mejores perspectivas tiene para beneficiarse de la tecnología dron con una amplia variedad de usos, desde la toma de datos del terreno y el entorno, el levantamiento topográfico, supervisión y control durante la construcción así como realizar inspecciones técnicas y labores de mantenimiento una vez construida la edificación. Por el momento este sector es el que menor índice de digitalización presenta mundialmente, y es necesario que se confíe e invierta en ello para mejorar su eficiencia y productividad. Las empresas que hagan una adopción temprana y eficaz de esta creciente industria les aportará una gran ventaja frente a otras en un mercado cada vez más competitivo.

Volvemos a mencionar la calificación inglesa para algunos trabajos realizados por robots denominada como las tres -d-: *Dull, Dirty and Dangerous* (Aburrido, Sucio y Peligroso). Recientemente se ha añadido una nueva -d-: *Dear/Difficult* (Difícil/Caro).

El empleo de la robótica (en este caso de drones) en cualquier ambiente es de gran interés siempre que cumpla alguna o todas estas calificaciones.

La generación de modelos digitales mediante **fotogrametría** (que definiremos un poco más adelante), contribuye a la **integración de los drones en la metodología BIM**. Y a su vez el trabajo colaborativo entre BIM y drones optimiza muchos aspectos de la construcción. La robótica aérea permite incorporar cantidades masivas de datos muy precisos al modelo de información virtual, tanto en las fases iniciales de análisis del terreno previas al diseño, como durante y después de la construcción para contrastar que el proceso y el estado de la edificación cumplen el diseño inicial y unas condiciones apropiadas de conservación. Del modelo generado cualquier interesado de cualquier disciplina puede obtener información, cifrada en un lenguaje universal, por

lo que se elimina la necesidad de adaptar la información y duplicar los dibujos (se estima que el 15% de los costos de un proyecto suelen ser de reproceso de datos). A medida que se obtiene nueva información está es añadida al modelo que es actualizado automáticamente. Es por eso que ninguna otra fuente proporciona datos más precisos, por lo que estas aeronaves no tripuladas han llegado para revolucionar el sector.

Ambas tecnologías juntas están cambiando la forma de entender la Arquitectura dada su capacidad para generar levantamientos y modelos 3D fieles en cuestión de minutos.

No hay que pensar en los drones como dispositivos que reemplazarán el trabajo humano, sino como una herramienta que aumentará y optimizará su productividad, acelerando y abaratando los procesos existentes, y sobre todo reduciendo los riesgos laborales al realizar tareas peligrosas para nosotros como los trabajos en las alturas o zonas de difícil acceso. Otro gran beneficio que nos brindan es la precisión, mejor que la obtenida por cualquier otro método.

La robótica debe integrarse con todas las demás tecnologías y no trabajar de forma aislada para poder ver sus beneficios y desarrollar una **Arquitectura más segura, eficiente y sostenible**. Y sólo así la Construcción abandonará su carácter lineal y unidireccional para transformarse en un ciclo donde todos los agentes trabajen colaborativamente.

¿Qué **VENTAJAS** presenta el uso de estos dispositivos en la edificación?:

► **ECONÓMICAS**: por todos es sabido lo caro que es poner un helicóptero en vuelo (unos 1.500€ la hora de vuelo), así como la necesidad de pagar a un equipo profesional que lo pilote y realice las actividades necesarias (entre unos 4.000€ y 10.000€ por día). También es por todos sabido lo asequibles que son los drones, no tanto alquilarlos sino mucho más rentable el adquirir uno propio que podremos utilizar todas las veces que queramos. Además de



que para su manejo basta con una sencilla formación, o contratar a un profesional es comparablemente mucho más asequible que el equipo profesional necesario para un helicóptero.

No es necesario dar más datos para deducir que el uso de drones presenta un ahorro más radical, para el que sólo se precisa de una inversión inicial para beneficiarse de su uso durante todos los procesos de la edificación y en otras futuras. Esta significativa **reducción de costes** además permite que se pueda hacer una toma de datos con **mayor frecuencia, aumentando así todavía más la precisión de la información obtenida.**

La Construcción es una industria en la que incluso unas pequeñas ganancias en eficiencia pueden suponer cantidades millonarias de ahorros. Es por eso que casi todas las constructoras poco a poco están adoptando la revolución del dron.

Una utilidad más que proporcionan es la de vigilar los lugares de trabajo las 24 horas al día, y si el dron es dotado con cámaras de infrarrojos se elimina la necesidad de mantener la obra iluminada durante la noche por motivos de seguridad.

► **SOSTENIBILIDAD:** el abaratamiento de los procesos, junto al hecho de que el vuelo de los drones no consume combustibles fósiles ni emite agentes contaminantes, de que sustituyen el empleo de andamiajes y grúas en determinadas labores, y contribuyen a la reducción del despilfarro de material durante la construcción mediante la supervisión de la misma, hacen que esta tecnología tenga grandes repercusiones positivas en el medioambiente.

► **EN LAS FASES INICIALES DEL PROYECTO:** los drones aportan grandes ventajas en los primeros pasos antes de comenzar a desarrollar un proyecto. En primer lugar antes de la compra de la parcela, permiten verificar las condiciones y riesgos del terreno. Los drones permiten realizar una toma de datos excelente para elaborar el levantamiento topográfico del terreno y el entorno así como para crear ortofotos de manera rápida, eficaz y precisa más que cualquier otra tecnología (unos 5cm de error). Gracias a su velocidad y eficacia pueden recorrer, analizar y fotografiar grandes hectáreas en cuestión de minutos. La información es enviada y procesada mediante software fotogramétrico específico que es capaz de generar

automáticamente un modelo en nube de puntos o fotorrealista. De este levantamiento en 3D exportable a BIM y CAD, se pueden obtener medidas, calcular superficies y volúmenes, y en general nos permite identificar todos los desafíos que el lugar pueda presentar antes de que se conviertan en un problema por incompatibilidades entre el proyecto y su construcción. Entonces podemos decir que esta información es necesaria y beneficiosa para el diseño del proyecto y para la planificación del proceso constructivo del mismo.

Este modelo digital resultante del terreno, se puede integrar con el modelo BIM del edificio o infraestructura a construir, obteniendo de esta manera un modelo completo con toda la información posible, con gran nivel de detalle y definición, útil para ser consultada, utilizada y modificada en las fases posteriores.

Ya no será necesario volver a sobrevolar el lugar para tomar datos en caso de haber olvidado tomar alguna medición, ya que toda la información queda fielmente contenida en el modelo medible, del que el profesional podrá consultar cualquier cota, longitud, distancia, superficie y volumen en cualquier momento.

La adición de diferentes **sensores** en las aeronaves permite obtener datos muy interesantes y de gran utilidad más allá de las imágenes como pueden ser la calidad del terreno, presencia de aguas, estado de la vegetación, calidad del aire, contaminación... Toda esta **información es útil** y válida para incorporarla al **modelo BIM** para que todos los colaboradores puedan obtener toda la información que requieran cuando la necesiten.



Si se trata de una rehabilitación en vez de un proyecto de nueva construcción, nos permiten realizar inspecciones previas de la edificación en mal estado de conservación, y la generación de un levantamiento preciso del mismo sin la necesidad de hacer peligrar la seguridad de operarios que accedan para realizar el trabajo.



**Figura 1:** modelo 3D de un edificio en mal estado realizado mediante su sobrevuelo con un dron, para su posterior rehabilitación. Obtenida de: <http://www.garquitectos.es>

**Figura 2:** monitoreado continuo de una obra mediante la tecnología dron. Obtenido de: [https://www.youtube.com/watch?v=VOlu\\_4Q0yvg](https://www.youtube.com/watch?v=VOlu_4Q0yvg)

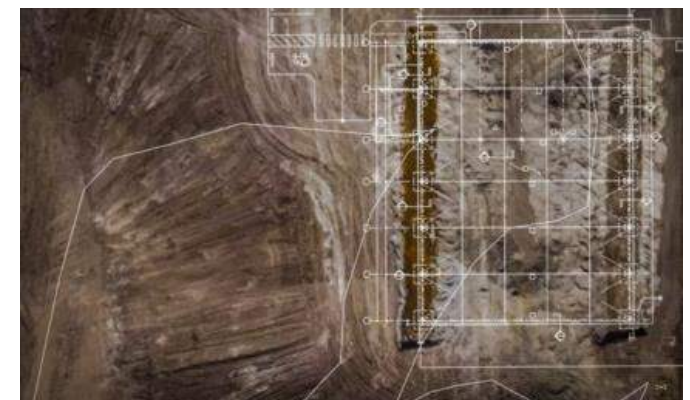
**Figura 3:** comparación inmediata de una ortofoto generada por fotografías tomadas desde un dron con la información BIM para la detección de incoherencias entre ambas. Obtenido de: <https://www.forconstructionpros.com>

<sup>31</sup> Campo M., I. (2015). Capítulo 11, *Aplicaciones en el control de obras y evaluación de impactos. Los Drones y sus aplicaciones a la ingeniería civil*. Madrid. Consejería de Economía y Hacienda Comunidad de Madrid, 158.

del proyecto con el que elaborar un informe basado en esas fotografías limitadas.



Mediante el uso de estas aeronaves y gracias a su rentabilidad y exactitud es posible la toma frecuente de imágenes y vídeos aéreos de alta calidad que respalden esta **documentación**, al contrario que cuando lo hacen operarios a pie de suelo. Con ellos se obtiene un **proceso repetible y controlable** que no rivaliza con las técnicas manuales. Su modus operandi consiste en seguir automáticamente una ruta programada informáticamente de forma que monitorea y fotografía frecuentemente el lugar de trabajo, incluso a diario si fuese necesario. La información obtenida es comparada digitalmente con los diseños originales para detectar si las hubiese, posibles incoherencias y problemas a medida que surgen antes de que se conviertan en un problema. Esa información a su vez es útil para realizar inspecciones estructurales a medida que esta es construida garantizando la seguridad global y el flujo de trabajo.



De la misma manera permiten inspeccionar previamente una construcción para tomar con precisión las mediciones necesarias en el caso de una reforma de obra, y poder evaluar correctamente su alcance antes de tomar decisiones.

► **DURANTE LA CONSTRUCCIÓN:** digitalizar un lugar de construcción presenta uno de los grandes desafíos en el sector por la complejidad de crear modelos con alta fidelidad y a su vez administrar las enormes cantidades de datos que se generan a diario. Los drones permiten que esto se produzca con facilidad, **monitoreando continuamente la obra** y exportando los datos a software que los procesan e incorporan al modelo BIM.

*La inclusión de los Drones en la obra, permite hacer de forma sistemática, precisa, rápida y económica el seguimiento de las obras ya sea con carácter métrico para realización de certificaciones y proyectos, como para el seguimiento visual del proceso constructivo mediante la realización de vuelos regulares que permitan tener una vista global de la obra a lo largo de toda la línea temporal de la misma para su análisis. La unificación de los datos en cuanto a calidad, precisión, cantidad, homogeneidad temporal, capacidad de procesamiento y análisis en series temporales, hace de los Drones una herramienta muy apropiada para el control de las obras y el análisis del impacto de las mismas.* <sup>31</sup>

La etapa de la construcción de la estructura debe quedar perfectamente documentada y fotografiada. Normalmente hay un administrador recorriendo la obra y tomando fotografías para documentar el proceso y elaborar un cronograma del progreso

Incluso como extra, si añadimos la tecnología de la Realidad Virtual y Aumentada, mediante las que todos los interesados pueden ver desde la oficina con unas gafas lo que el dron ve, y desplazarse a voluntad por la obra de forma inmediata obteniendo y comparando información relevante con el modelo BIM sin tener que estar en realidad allí. Se mejora y facilita aún más si cabe la construcción **mitigando posibles fallos, incompatibilidades** y desvío de planes antes de que se produzcan y supongan una pérdida económica y de tiempo muy valiosos, incluso prediciéndolos.

Esto permite además mantener al personal fuera del sitio informado y **actualizado** en todo momento a través de transmisores en vivo, y realizar un seguimiento de la obra, desde los avances de trabajo hasta la idoneidad de las medidas de seguridad e higiene, así como realizar inspecciones de obra. Incluso algunos dispositivos les permiten controlar a distancia la cámara integrada mientras el dron es pilotado *in-situ* en búsqueda de posibles errores, lo que aporta mayor seguridad y eficacia al proceso constructivo. Se asegura así también la eficiencia de la construcción hasta los plazos de entrega.

*Otra de las innovaciones recientes de estos drones es la posibilidad de usarlos con tecnología de Inteligencia Artificial para identificar los diferentes elementos que hay en las zonas de construcción. Esto incluye vehículos tales como coches, camiones, furgonetas, grúas e incluso el personal de obra o los diferentes elementos de la construcción que están repartidos por el terreno.*

*Los drones utilizan un software de reconocimiento visual de objetos que proporciona una interesante información logística sobre dónde-está-qué para organizar mejor el trabajo. Quienes trabajan en estas tecnologías creen que además serán una ayuda importante para el momento en que los vehículos autónomos circulen por las zonas de construcción sin ayuda, un futuro quizá no tan lejano.*<sup>32</sup>

Podemos también imaginar que en un futuro cuando se aumente la capacidad de carga de las aeronaves, estas también serán útiles para el transporte de cargas de un lugar a otro y entre distintos niveles, reduciendo o eliminando la necesidad de ensamblar grandes y costosas grúas.

► **DURANTE LA VIDA ÚTIL DEL EDIFICIO:** una vez concluida la construcción y el edificio ya es utilizado, podemos

seguir beneficiándonos del uso de estos robots voladores. Y su mayor ventaja reside en la facilidad con la que los drones pueden realizar **inspecciones técnicas y de control de calidad** de toda la envolvente exterior (fachadas y cubiertas) permitiendo visualizar y documentar con gran detalle todos los puntos de interés que puedan presentar patologías, para incorporar esta información al modelo BIM. La comparación del estado actual con el inicial y el modelo 3D proyectual, facilita enormemente la detección de las patologías o fallos estructurales. Por ejemplo se puede inspeccionar una cornisa de un edificio de gran altura en búsqueda de humedades o desprendimientos con total sencillez, y que será fácilmente detectable al comparar el modelo generado con los anteriores. La información obtenida es apta para ser incluida en las ITE (Inspección Técnica de Edificios).

Por no hablar nuevamente de la **velocidad** con la que pueden realizar estas tareas, capaces de concluir la toma de datos en tiempos irrisorios en comparación con las largas jornadas que solían tomar.

Por ende, otra ventaja que aportan como ya se ha mencionado es la de la **seguridad**. Su uso evita que los operarios tengan que trabajar en las alturas subidos a peligrosos andamios para acceder a todos los rincones (a parte del coste que esto conlleva). Las caídas por viento u otras circunstancias representan un gran porcentaje de las muertes en el sector de la construcción, que pueden reducirse drásticamente mediante la adopción de esta tecnología en el proceso.

Toda la información almacenada es también rentable para ser presentada como evidencias en caso de juicios.

Otra área en la que la inclusión de estos dispositivos resulta conveniente, es en la mejora de la **eficiencia energética**. La información obtenida frecuentemente de las envolventes para las inspecciones anteriores, permite también controlar las pérdidas energéticas a través de las mismas que serían difíciles de controlar a pie de calle. Los drones son equipados con cámaras térmicas de alta calidad 4K que presentan grandes ventajas sobre las imágenes tomadas con láser, detectando a simple vista todos los puntos calientes y fríos del edificio.

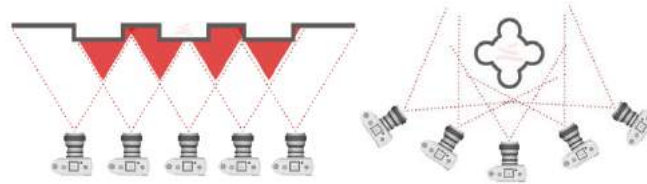
Con el mismo procedimiento podemos detectar la presencia de humedades debido a la mayor inercia térmica del agua, detectable en los paramentos ya que el agua tiene un elevado calor específico e irradia energía durante más tiempo.

<sup>32</sup> Ibáñez, Á. (4 de Junio de 2018). *Soluciones con drones en el mundo de la construcción*. Obtenido de Tendencias Inmobiliarias: <https://tendenciasinmobiliarias.es>

Con todas estas ventajas no es necesaria la justificación del empleo de drones en el sector. A continuación vamos a enumerar algunas de las **APLICACIONES ACTUALES** que reciben.

Los drones pueden ser equipados con gran variedad de tecnologías como cámaras, sensores y láseres para la toma de diversos tipos de datos: métricos, termográficos, fotográficos, ambientales, etc. Las actuales aplicaciones que se dan a los drones en el sector AEC fundamentalmente se basan en elevar por los aires la fotogrametría y el escaneado láser tradicionales realizados a pie de tierra:

▲ La **fotogrametría** es la técnica que permite definir con precisión un objeto, su forma, dimensiones y posición en el espacio, utilizando para ello solamente fotografías del mismo y alguna medida. Dicho de otra manera, es la ciencia que permite determinar la posición y forma de objetos a partir de fotografías. Su ventaja reside en su capacidad de transformar información bidimensional en tridimensional con total precisión. La forma de hacerlo es a partir de los solapes (o zonas comunes) entre fotografías cuya restitución producirá un modelo estereoscópico. Se puede reconstruir un objeto tomando fotografías de modo que **cada punto del objeto aparezca en dos o más imágenes consecutivas**. Para cubrir los 360° de un objeto sencillo se deben tomar imágenes cada 15°, por lo que como mínimo se deben obtener 24 imágenes del mismo. (Los Drones y sus aplicaciones a la ingeniería civil., 2015)



La recolección de los datos realizada mediante drones reduce los inconvenientes de la topografía y la fotogrametría clásicas (elevados costes, el tiempo requerido, discreción y dispersión de datos...) ofreciendo nuevos beneficios. Al tratarse de una toma de datos masivos, estos no son discretos ni interpolados, sino homogéneos en calidad y cantidad. Pero tampoco es necesario trabajar con toda la información obtenida, que es mucha, sólo se procesan los datos que se requieran pudiendo almacenar el resto por si fuesen necesarios en un futuro. A pesar de que como estamos diciendo se documenta la extensión del lugar por

completo, no es necesario volver a tomar datos en otro momento pues con una sola toma se obtiene toda la información. Aun así si fuese necesario volver a hacerlo por otras circunstancias (como para realizar un cronograma de la evolución de obras, o para hacer inspecciones periódicas) no habría problema, ya que se pueden hacer tomas de datos recurrentes sin que el precio se dispare. Parte de su rentabilidad es debida que pueden gestionarse internamente, es decir, la planificación, el vuelo y el procesado de datos pueden ser realizadas por un único operario.



Cuando obtenemos un modelo en tres dimensiones a través de la fotogrametría, podemos obtener dos tipos diferentes: un Modelo Digital de Elevaciones o MDE que representa el relieve superficial tal y como se encuentra en la realidad, lo que incluye edificaciones, infraestructuras y vegetación; o podemos obtener un Modelo Digital del Terreno o MDT, en el que solo se representa la superficie del relieve sin tener en cuenta las inclusiones anteriores. Para ello se utiliza la fotointerpretación con la que se determina que elementos y objetos son los que se desean cartografiar o representar. (Los Drones y sus aplicaciones a la ingeniería civil., 2015)

Realizar la toma de fotografías a bordo de un dron permite automatizar y acelerar el proceso, reduciendo largas jornadas de trabajo a cuestión de horas o minutos, reduciendo también de forma drástica los costes, a la par que se aumenta la calidad y la precisión. Para ello es necesario programar previamente un plan de vuelo que la aeronave tendrá que seguir y los puntos en los que deberá tomar las fotografías. Una vez obtenidas son procesadas por un software de fotogrametría que detecta la correspondencia entre imágenes y determina su posición globalmente en el modelo 3D fotorrealista generado (en forma de polígonos, nubes de puntos u ortofotos).

Sin embargo, la fotogrametría tiene algunos inconvenientes como son las sombras, colores cambiantes o zonas de poca

Figura 1: los solapes (o zonas comunes) entre fotografías permiten generar un modelo estereoscópico 3D. Obtenida de: <https://www.3dflow.net>

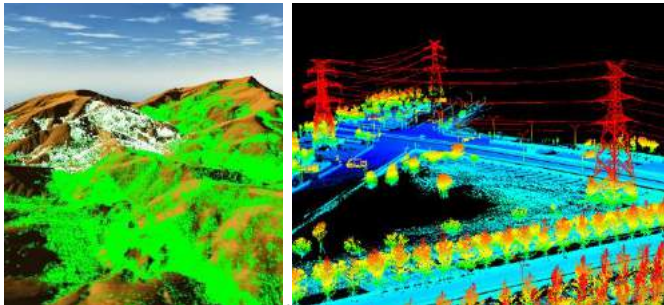
Figura 2: reconstrucción virtual fotorrealista de un yacimiento generado por fotogrametría aérea. Obtenido de: <https://parpatrimonioytecnologia.wordpress.com>

iluminación, la vegetación que no permite documentar el terreno, etc. Estas desventajas pueden solventarse con el escaneado láser.

▲ El **escaneado láser** o **LIDAR**, Detección de Luz y Rango (*Light Detection and Ranging* o *Laser Imaging Detection and Ranging*) se basa en la telemetría láser de detección remota. Los dispositivos empleados emiten diversos haces de luz a través de pulsos de energía láser, que se reflejan en los objetos o superficies y regresan al mismo. Calculando el tiempo transcurrido entre la emisión y la recepción los sistemas LIDAR pueden medir la distancia entre el dispositivo y la superficie. Esta tecnología es la empleada en los equipos de topografía y cartografía tradicionales.

Combinando la telemetría con el posicionamiento global de los datos obtenidos, estos sistemas son capaces de generar modelos en tres dimensiones mediante densas **nubes de puntos**, es decir, un conjunto de millones de puntos referenciados con coordenadas en el espacio (x,y,z) y otros datos como los valores de reflectancia o la colorimetría<sup>33</sup>.

En general los dispositivos LIDAR permiten obtener modelos mucho más precisos (por la mayor densidad de muestreo) cuyas prestaciones son óptimas para digitalizar espacios con elementos complejos, intrincados y pequeñas dimensiones, como por ejemplo la presencia de cableados, infraestructuras o torres de telecomunicaciones. Además esta tecnología permite penetrar y llegar a cualquier área, pudiendo ver lo que hay debajo incluso de la vegetación; o lugares con malas condiciones de iluminación, "zonas de sombra" y también en la noche. La velocidad de escaneo permite llegar hasta los 600.000 puntos por segundo a velocidades de aprox. 70 Km/h.



La inclusión de esta tecnología a bordo de una aeronave no tripulada tiene la desventaja de que ésta está en continuo movimiento. Para solventarlo, además de ser necesario combinar la telemetría con el posicionamiento global (GPS) o georeferenciación con satélites y puntos de control terrestres que permitan realizar un posicionamiento diferencial preciso, es necesario combinarlo también con sistemas IMU (Unidad de Medición Inercial, *Inertial Measurement Unit* en inglés), que permiten medir la velocidad y orientación del láser en todo momento además de otros factores como las fuerzas gravitacionales, balanceos, cabeceos y virajes.

Las ventajas frente a los sistemas terrestres son las restricciones que en ocasiones nos encontramos como la limitación de tiempo y la inaccesibilidad a ciertos lugares. El LIDAR aéreo permite obtener modelos 3D con facilidad independientemente de si el terreno es plano, rocoso o montañoso, con o sin vegetación, con buena o mala iluminación, reduciendo jornadas que podían durar días o semanas a cuestión de minutos u horas.

A diferencia de la fotogrametría (20.000 puntos por kilómetro cuadrado aprox.), el escaneado láser genera grandes cantidades de datos (un millón de puntos por kilómetro cuadrado aprox. a escala 1:1.000) que hay que procesar o almacenar, para lo que se precisa de potentes computadoras, software, y gran capacidad de almacenamiento. (Beasy)

En resumen, el LIDAR es ventajoso para obtener modelos de máxima precisión geométrica pero no gráfica, con gran rapidez, detalle y exactitud. Si bien, la fotogrametría también permite alcanzar buenas precisiones por debajo de 1cm en tiempos muy breves, es más ventajosa para labores de inspección e interpretación visual y/o que prime un gran realismo fotográfico, gracias a su sistema de "costura" de cientos o miles de fotografías.

Fotogrametría y LIDAR son aptas para combinarse y así explotar los beneficios de sendos métodos. La superposición de sendas metodologías nos permitirá obtener modelos de alta precisión geométrica y alta resolución gráfica al asociar a cada pixel fotográfico un punto de la nube con coordenadas (x,y,z).

Ambas tecnologías, juntas o por separado, tienen cantidad de aplicaciones en el sector AEC: modelos digitales del terreno o de elevaciones, análisis geológicos y geomorfológicos, cálculos volumétricos para movimiento de tierras, mapas, catastro rural, de

Figuras 1 y 2: modelos 3D en nubes de puntos generados con tecnología LIDAR. Obtenidas de: <https://digimapas.blogspot.com> y <http://www.aig-instrumentos.com>

<sup>33</sup> Los modelos 3D obtenidos con los sistemas LIDAR son monocromáticos. La colorimetría se puede añadir en el postprocesado basándose en la reflectividad de los materiales, en imágenes u otras fuentes de datos externas.



Figura 1: elaboración de cartografía con software mediante fotografías tomadas con un dron. Obtenida de: <http://geohidrotec.com>

vegetación y usos, inspecciones de infraestructuras y arquitecturas, monitoreo de procesos, etc.

Paradójicamente todavía no se trabaja con modelos 3D, nubes de puntos o superficies poliédricas. La información obtenida por fotogrametría o LIDAR es transformada para poder ser representada en papel, para lo que hay que exportar los modelos y crear ortofotos, que han de ser exportadas a CAD para tener los planos escalados. En realizar todo este proceso es necesario emplear mucho más tiempo de lo que se tarda en realizar un vuelo con el dron y procesar la información, lo que repercute también en el incremento del precio.

Al igual que en el BIM, lo ideal será que en un futuro próximo todas las partes interesadas puedan obtener la información necesaria directamente del modelo.

► **CARTOGRAFÍA Y TOPOGRAFÍA:** la **Cartografía** es la técnica que permite analizar, interpretar y representar gráficamente parte o toda la superficie topográfica de un astro mediante los sistemas de proyección y la escala. Lo más habitual es representar el resultado en planos y mapas en función de la escala deseada. Los formatos posibles son variados: vectorial, ráster u ortoimágenes, todas éstas en dos dimensiones, pero también se puede representar la información en la tercera dimensión mediante la creación de un modelo 3D. La cartografía abarca grandes extensiones en las que hay que tener en cuenta la curvatura terrestre. Por el contrario, la **Topografía** es la representación de una parte de la superficie terrestre de una zona más pequeña y limitada, lo suficiente como para poder considerarla plana.

Desde hace mucho tiempo se han elaborado cartografías y topografías de los terrenos, pero ha sido desde hace bien poco que se ha disparado la demanda de información aérea, para lo que se necesitaba obtenerla de forma rápida, sencilla y barata. Las nuevas tecnologías han permitido pasar del papel a la cartografía digital. La llegada de los drones han supuesto una bendición en el sector, convirtiéndose en la herramienta más eficaz para hacerlo, reduciendo tiempos, costes y aumentando la precisión. Anteriormente todo dependía de satélites, de aeronaves tripuladas y de la toma de datos a pie de calle.

La elaboración de cartografías y topografías aéreas con aeronaves tripuladas remotamente ha permitido simplificar procesos largos, tediosos y complejos a breves jornadas de

sobrevuelo del terreno y postprocesado con software de los datos obtenidos.

*Una herramienta básica para elaborar la cartografía es la **fotogrametría**. Esta permite medir sobre fotografías con las que se puede determinar las propiedades geométricas de los objetos y las situaciones espaciales a partir de imágenes fotográficas. Si se trabaja con una foto se puede obtener información en primera instancia de la geometría del objeto, es decir, información bidimensional. Si se trabaja con dos fotos, en la zona común a éstas (zona de solape), se podrá tener visión estereoscópica, o dicho de otro modo, información tridimensional. Básicamente, es una técnica de medición de coordenadas 3D, que utiliza fotografías u otros sistemas de percepción remota junto con puntos de referencia topográficos sobre el terreno, como medio fundamental para la medición.* <sup>34</sup>



► **INSPECCIÓN DE LA ENVOLVENTE:** inspeccionar un muro cortina u otro tipo de fachada así como cualquier cubierta resulta ser un trabajo arduo y peligroso, en el que los operarios tienen que pasar muchas horas en ascensores, columpios y andamios de gran altura, tomando fotos, muestras y mediciones en busca de posibles patologías.

El uso de drones para realizar estas tareas supone un inminente **aumento de la seguridad** y una increíble reducción de los costes. Y como ya hemos comentado anteriormente capturan imágenes y vídeos georeferenciados de alta resolución con gran precisión, en lugares de difícil acceso, lo que los convierte en dispositivos óptimos para realizar tareas de inspección complejas. La documentación obtenida puede ser utilizada como fotografías para incorporar en la ITE, como vídeos para realizar un análisis

<sup>34</sup> Sáez D., & Beltrán A. (2015). Capítulo 5, Aplicaciones cartográficas. Los Drones y sus aplicaciones a la ingeniería civil. Madrid. Consejería de Economía y Hacienda Comunidad de Madrid, 67.

más exhaustivo y ver los puntos de interés desde varios ángulos, o en el mejor de los casos para generar con facilidad una nube de puntos o un modelo 3D fotorrealista del estado actual del edificio, medible y cargado de mucha más información que cualquier otro procedimiento, información valiosa para añadir a la documentación del edificio existente.

El tiempo invertido para realizar una inspección con drones de tipo multirrotor supone una ínfima parte del que se necesitaría para la inspección manual.



► **REHABILITACIÓN:** el pasado boom inmobiliario generó una gran cantidad de proyectos que hoy en día necesitan ser rehabilitados. El problema existente es la falta de documentación de dichos proyectos, en los que no se sabe qué se oculta tras los paramentos. Y aquí es donde el uso de drones y del escaneado láser también presenta grandes ventajas.

Mediante el volado de un *drone* dotado de una cámara, láser y/u otros sensores podemos obtener con precisión un modelo en tres dimensiones del que obtener el levantamiento y toda la información necesaria para documentar el edificio, y poder desarrollar el proyecto de rehabilitación.

► **GESTIÓN DEL PATRIMONIO:** *Dado el carácter único e irremplazable de la mayoría de elementos que componen nuestro patrimonio, cualquier pérdida puede resultar dramática. Una correcta documentación del patrimonio podrá ser de gran utilidad para otras labores como estudios históricos o arqueológicos (Arqueología virtual).*<sup>35</sup>

La robótica aérea es una herramienta única para realizar estas labores de gestión, pues permiten acceder a lugares inaccesibles mediante andamios, pértigas, aeronaves no tripuladas, etc. Su

impacto en el entorno es nulo, y su tamaño y precisión les capacitan para volar y acercarse críticamente a cualquier lugar, sin poner en peligro el bien patrimonial que se quiere documentar o analizar. Además de eliminar el riesgo que supondría que un operario lo hiciese mediante otros métodos.

El empleo de la termografía durante el vuelo sobre el patrimonio, también es una buena herramienta para descubrir por ejemplo la existencia de huecos ocultos en las fachadas, para distinguir materiales gracias a su diferente acumulación de calor, o para detectar la estructura oculta.

► **URBANISMO:** (Los Drones y sus aplicaciones a la ingeniería civil., 2015) Nuevamente el uso de drones en este sector resulta de gran interés por satisfacer la regla de las cuatro «d». En la planificación urbanística es necesaria la elaboración de productos cartográficos, que como hemos visto los procedimientos tradicionales para su obtención resultan muy rutinarios, peligrosos, sucios y costosos. Realizar la toma de datos mediante robots no tripulados solventa todos estos problemas en un solo vuelo.

Quizás no son útiles para cubrir grandes superficies como por ejemplo la de un municipio completo para lo que es mejor utilizar vuelos tripulados debido a su autonomía. Si bien, son más que factibles para cubrir áreas más pequeñas que vayan a sufrir cambios o lugares donde se vaya a desarrollar un plan parcial.

*El producto conseguido es una herramienta perfectamente válida tanto en las fases de diagnóstico y elaboración de planes urbanísticos como en las tareas de seguimiento y ejecución de dichos planes. Es posible generar cartografía antes y después de una determinada actuación, la cual puede pasar a un repositorio de datos donde un servicio técnico tendrá una cartografía del territorio actual donde apoyarse para abordar proyectos o asistir a la toma de decisiones. Probablemente, desde este punto de vista las plataformas UAV pueden operar de forma alternativa a los vuelos fotogramétricos tradicionales.*<sup>36</sup>

Su empleo permite generar ortofotografías y cartografía de un territorio, material con el que se puede crear una excelente base cartográfica digital que pueden incorporarse a las bases de datos geoespaciales. Con ello se pueden analizar e identificar puntos de interés para la gestión urbana de la ciudad, así como estudiar periódicamente el nivel de dotación de infraestructuras y



**Figura 1:** dron realizando la inspección técnica de una fachada en cuestión de minutos, sin necesidad de andamios ni de peligrar la seguridad de los operarios. Obtenido de: <https://www.esmartcity.es>

<sup>35</sup> Domínguez, J.A. (2015). Capítulo 12, Aplicaciones en la gestión del patrimonio y herencia cultural. *Los Drones y sus aplicaciones a la ingeniería civil*. Madrid. Consejería de Economía y Hacienda Comunidad de Madrid, 162.

<sup>36</sup> Mesas, F.J. (2015). Capítulo 18, Aplicaciones urbanísticas. *Los Drones y sus aplicaciones a la ingeniería civil*. Madrid. Consejería de Economía y Hacienda Comunidad de Madrid, 213.

equipamientos, útil para evaluar posibles necesidades mejorando la planificación y por consiguiente las inversiones económicas.

Gracias al empleo de la tecnología GPS permite asociar a todos los elementos información georreferenciada y muchos otros atributos que los caractericen, aumentando la calidad y definición de la base cartográfica.

El vuelo no tripulado sobre el espacio urbano, junto con la dotación de otros sensores a bordo permite también realizar un control periódico del mismo en muchos ámbitos: uso y explotación del suelo, contaminación del aire, contaminación de aguas y terrenos en materia de vertidos, gestión y mantenimiento de zonas verdes y parques, o simplemente la seguridad.

Mediante la comparación de ortofotografías o modelos digitales de la base de datos geoespaciales en distintas fechas, los drones pueden actuar a modo de **policía urbanística** detectando nuevas edificaciones o cambios de altura ilegales, así como actividades sospechosas o peligrosas.

*Frente a la contaminación atmosférica, países como China, donde la contaminación atmosférica alcanza niveles perjudiciales para la salud están probando UAV para pulverizar agentes químicos que frenen y hagan caer los elementos contaminantes. Esta alternativa hoy día ya está presentando mejores resultados que sistemas tradicionales como el uso de autómatas en tierra.*<sup>37</sup>

En los espacios urbanos de España el uso de estas plataformas todavía no está permitido, pero sabemos que su uso puede generar nuevas oportunidades de trabajo y gestión del entorno urbano. Para ello es necesario establecer un marco legal y protocolos de actuación para poder utilizar con seguridad estos dispositivos.

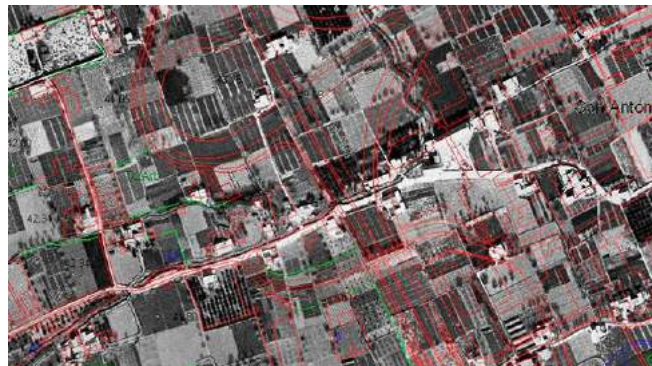


Figura 1: actualización de la cartografía de Murcia con un dron. Obtenido de: <http://murciadiario.com/art/1517/urbanismo-actualizara-la-cartografia-de-murcia-con-un-dron>

<sup>37</sup> Mesas, F., & García-Ferrer, A. (7 de Julio de 2015). *Aplicaciones de drones urbanísticas*. Obtenido de Aplicaciones y Operación con Drones/RPAS: <http://drones.uv.es/aplicaciones-de-drones-urbanisticas/>

# Investigaciones actuales, nuevas aplicaciones del futuro

Finalmente pero no menos importante vamos a hablar de las investigaciones que se han venido realizando en los últimos años y que supondrán nuevas y posibles aplicaciones futuras en el sector AEC, que podrán llevarse a cabo al combinar activamente la metodología BIM, los drones y los nuevos materiales de construcción.

Como ejemplo personal, voy a contar que durante mi estancia en la ciudad de Lisboa (Portugal) con el programa Erasmus pude experimentar la importancia que tiene allí el trabajo sobre maquetas físicas, las cuales desarrollaban con mayor pericia y calidad de lo que en nuestra escuela acostumbramos a ver. Pero esto tenía una repercusión negativa sobre los proyectos de los alumnos. Debido a la necesidad y obligación de realizar una maqueta manualmente, todos los proyectos tenían volúmenes rectangulares fácilmente materializables. Difícil y rara vez se podían ver proyectos orgánicos con trazados curvos.

Imaginemos ahora que sucedería si los alumnos tuviesen a su alcance cortadoras láser, impresoras 3D y otras tecnologías de control numérico ¿No es posible que su imaginación y su proceso creativo se expandiese proyectando arquitecturas más orgánicas y complejas con todo tipo de diseños paramétricos que podrían materializar fácilmente?

Extrapolando este caso a la arquitectura real, podemos deducir que las técnicas de construcción a las que se tiene acceso condicionan la forma de pensar y diseñar para poder ser construida. Y que solo cuando rompamos nuestras barreras y abracemos las nuevas tecnologías para beneficiarnos de su uso, podremos construir arquitecturas disruptivas que se liberen de las limitaciones coetáneas.



Nuevamente volvemos a hablar en este apartado de los arquitectos Gramazio & Kohler, que tienen un gran protagonismo en este papel, proyectando su arquitectura con ayuda de la programación que complementa los métodos tradicionales de diseño y construcción. Su trabajo se caracteriza por la continua investigación sobre las posibilidades del uso de la robótica en la construcción. Según ellos la construcción puede definirse como "el arte de transformar material en arquitectura".

Actualmente se está invirtiendo en la investigación de las potenciales aplicaciones de los drones a la construcción. De momento todas ellas solo se encuentran en estado de experimentación, pero en un futuro más próximo de lo que podamos esperar se convertirán en nuevos medios constructivos aplicados a la Arquitectura. Los robots voladores se constituyen como una nueva herramienta que permite materializar en el mundo físico los diseños virtuales del tercer entorno con formas paramétricas totalmente novedosas.

Por el momento la construcción mediante UAS solo se ha probado en laboratorios cerrados y seguros. Pero ¿cómo será este proceso cuando los drones trabajen autónomamente en la realidad? ¿Será posible la completa automatización de la obra y quedará el factor humano relegado a una posición remota fuera de la obra? Por el momento lo que sabemos con certeza es que esta tecnología aportará un soplo de aire fresco al sector y abrirá nuevas posibilidades arquitecturales.

La aparición de los drones en el sector es resultado de un largo proceso de convergencia de diferentes disciplinas: de la industrialización y la automatización, de la ingeniería, la informática (ciencias computacionales) y las ingenierías mecánicas. Es decir, se confirman como una de las tecnologías habilitadoras de la Industria 4.0.

Con el surgir de esta revolución en la Arquitectura, la transformación digital, las barreras profesionales se rompen a medida que los especialistas intercambian roles. Los arquitectos se convierten en escultores, los ingenieros en diseñadores, artistas en arquitectos, y los límites de las diferentes disciplinas de trabajo se vuelven borrosos.

Las nuevas ideas y la excelencia en el diseño surgen cuando se rompen las barreras existentes para ser reformuladas. Los drones son parte de esta apresurada revolución.

Los grandes méritos arquitecturales a lo largo de la historia como la cúpula de Florencia de Brunelleschi, surgieron cuando el proyectista trascendió más allá de la arquitectura, para pensar y trabajar también como un inventor, un ingeniero y un escultor. Y así sucedió también con Eiffel, Tatlin, Le Corbusier y muchos otros. Podemos mencionar a Félix Candela, Pier Luigi Nervi o Eduardo Torroja por sus excepcionales y novedosos trabajos con hormigón armado. O como el ingeniero Robert Maillart llevó al siguiente nivel la comprensión de las estructuras y de las fuerzas geométricas que se plasman en una variación de grosores adelantados a su época



Es necesaria la adopción del pensamiento complejo y de la multidisciplinariedad, y aceptar e interiorizar que el conocimiento y el desarrollo no dependen del aprendizaje individual sino que lo hacen del estado de civilización de nuestra sociedad actual. Y por ello debemos formarnos y aplicar los conocimientos de todo el legado histórico que tenemos a nuestras espaldas para así poder crear una nueva arquitectura más competente con nuestro mundo actual. La historia de la construcción ha demostrado que toda innovación necesita de una generación entera para establecerse a sí misma, no importa lo rompedores que hayan sido los primeros experimentos.

Hemos hablado de las ventajas del uso de drones en las tareas *dull, dirty, dangerous and difficult*. Y siempre nos hemos referido a ellos como dispositivos que trabajan autónoma e individualmente. Pero el futuro deviene en su uso a gran escala y de **trabajo en grupo**, donde un enjambre de drones coordinados trabajará en la obra como si del vuelo harmónico de una bandada de pájaros se tratase, cada uno programado y especializado en tareas diferentes, sin entorpecerse el uno al otro. Y es así como obtendremos una arquitectura BIM donde el objetivo final no sean los *Smart Buildings* sino a mayor escala las *Smart Cities*. Una

Figura 1: el puente Salginatobel de Robert Maillart en 1929, muestra por su parte un entendimiento de las estructuras adelantado a su época. Obtenida de: [http://www.arch.mcgill.ca/prof/sijpk/abc-structures-2005/concrete/puentes\\_arco\\_files/](http://www.arch.mcgill.ca/prof/sijpk/abc-structures-2005/concrete/puentes_arco_files/)

arquitectura más eficiente, eficaz y competitiva, comprometida con la sostenibilidad, la seguridad y una mayor calidad.

Todos estos objetivos llegarán a medida que vayamos adoptando y adaptándonos a las nuevas tecnologías, y sometamos el sector de la construcción a la **sensorización, automatización, coordinación e industrialización**.

Durante la revolución industrial las máquinas tomaron importancia en el sector, con infraestructuras para el transporte, la mecanización y la estandarización de los edificios como una respuesta el crecimiento demográfico consecuente de la industrialización y la necesidad urgente de nueva vivienda obrera para todas las personas que migraron a las ciudades para trabajar en las fábricas. También fue determinante el uso del acero y el cristal. Características como la simplicidad y la repetición fueron los valores del momento, puesto que así la arquitectura podía ser materializada por obreros con baja formación, pero aún más importante, podía ser realizado con la ayuda de máquinas. Éstas se automatizaron en los años 80. Los elementos se comenzaron a prefabricar fuera de la obra, aumentando así la estandarización, la precisión, el aumento de la velocidad y la reducción de los costes. Pero la carencia de estas tecnologías era su incapacidad de ser utilizadas en obra, y es aquí donde entran en juego la **fabricación digital** y en especial los robots voladores. Cuando se juntan la programación y la construcción surgen un sinfín de posibilidades que rompen las ataduras de los procesos tradicionales y la materialidad se ve enriquecida con las características digitales.

En los últimos cincuenta años, la evolución de los ordenadores y la fabricación digital se han integrado en el diseño y la construcción de elementos prefabricados. Pero ha llegado el momento de **dar el salto a la construcción *in-situ***, lo que denominamos **Construcción digital o Construcción 4.0**. Esta nueva construcción podría dar solución a los problemas de andamiaje, a los métodos de trabajo y al despilfarro de material, problemas típicos de la construcción tradicional. Para ello hay que solventar su gran limitación que no ha permitido que este salto se produjese: la **diferencia de escala** entre la arquitectura y los dispositivos necesarios para la construcción digital (impresoras 3D, corte láser y demás tecnologías CNC, brazos robóticos, etc.), y el hecho de no poder integrarlos en la obra.

Estas limitaciones van a desaparecer a medida que los drones aumenten su autonomía de vuelo y su carga útil, e integren a

bordo nuevas tecnologías que los conviertan en herramientas aptas para ser utilizadas en la edificación. De este modo se sellará también la enorme grieta que separa al diseño digital de su fabricación.

A parte de la gran diferencia de escala entre las máquinas y los elementos que producen, otra de las limitaciones es la dificultad de la maquinaria para moverse por la obra. Los brazos robóticos por ejemplo precisarán de la instalación de vías, grúas puente, o en el mejor de los casos de ruedas que le permitan un movimiento autónomo y libre, pero siempre en el mismo nivel. Pero los drones no tienen ninguna de estas limitaciones. Pueden acceder y moverse libremente por cualquier lugar y en cualquier nivel. Su tamaño no es una limitación para construir estructuras de mucha mayor escala que la suya propia, conformadas por elementos de tamaños más pequeños que pueden manejar. Su aplicación elimina la necesidad de andamios y grúas, y permite construir en lugares inaccesibles para la maquinaria rodada. Por ello los drones serán una de las mejores opciones para la construcción digital *in-situ*.

La fabricación digital permitirá al arquitecto tomar el control total de la producción de su proyecto. Las nuevas formas de construir posibilitarán que pueda visualizar la materialización del diseño desde el primer boceto. Nos encontramos en una Revolución Digital donde el *Big Data*, el *cloud computing*, la Inteligencia Artificial, los nuevos materiales *high-tech*, la programación y la construcción se entrelazan.

Una de las características de la Construcción Digital es la noción de **-customización masiva-** que la diferencia de la construcción estandarizada. Y es que mediante la robótica se pueden fabricar productos personalizados pero igual de económicos que los estandarizados, ya que a un robot le da igual realizar mil movimientos iguales que mil diferentes. Esta nueva revolución rompe con la producción en serie que nació con la revolución industrial en el siglo XIX.

Durante la historia de la arquitectura, desde Da Vinci, a Oscar Niemeyer, pasando por las ciudades nómadas del Archigram, siempre han existido utopías sobre el vuelo y lo aéreo. Los drones nos liberan ahora del plano del suelo con todos sus grados de libertad. Sus limitaciones, por el momento, son su reducida autonomía de vuelo y la poca carga útil que son capaces de

transportar, aunque como podemos esperar no tendremos que esperar mucho tiempo para ver como

Veamos algunos ejemplos:

>>> **INVESTIGACIONES DEL GRAMAZIO & KOHLER RESEARCH:** entre sus muchos ejemplos de la aplicación de robótica avanzada en la Construcción 4.0 como vimos al inicio del trabajo, encontramos otros realizados con drones:

>> **FLIGHT ASSEMBLED ARCHITECTURES:** proyecto diseñado junto con Raffaello D'Andrea, ingeniero, artista y empresario, también profesor en la ETH Zürich. Se construyó a modo de *performance* pública en el centro FRAC de Orleans (Francia) en 2011 y cuya exposición permaneció hasta 2012. Se trata de una torre de ladrillos de poliestireno de 6m de altura y 3,5m de ancho. Lo interesante es que fue construido por un escuadrón de drones. Su diseño paramétrico se realizó previamente mediante computación, con un modelo virtual 3D en el que cada elemento está georeferenciado y un software que establece el plan de vuelo y operaciones de cada dron, que levantan, transportan y ensamblan cada ladrillo. Las aeronaves están interconectadas entre sí y el modelo, de forma que pueden comunicarse para saber qué ladrillo deben coger y dónde lo deben colocar autónoma y colaborativamente sin interferir o colisionar unos con otros.



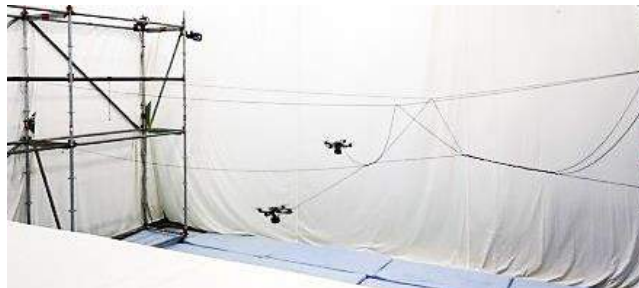
La instalación pretende exhibir la innovación y vanguardia de las nuevas formas radicales de pensar y materializar la arquitectura, mediante una multitud de agentes móviles coordinados que

actúan como **medios de construcción escalables**. Tanto es así, que en verdad la idea originalmente fue pensada para construir un rascacielos futurista o "aldea vertical" compuesto por pequeños módulos de vivienda colocados en vuelo.

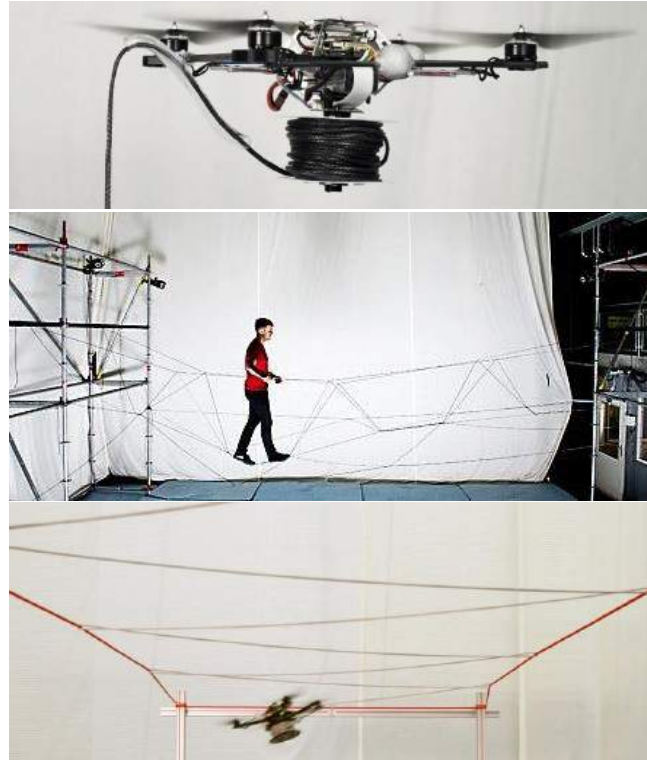


Raffaello d'Andrea con este proyecto quiso expresar que aunque estas tecnologías todavía se encuentran en fase de experimentación, deben inspirarnos para replantearnos qué papel debe tener la tecnología en la configuración de nuestro futuro.

>> **AERIAL CONSTRUCTION:** otro experimento realizado con drones pero que en este caso no se ensamblan elementos sino que se construyen o "tejen" estructuras aéreas. Este proyecto se realizó en colaboración con el ETH Research de Zürich. Con él se pretende demostrar cómo la construcción con drones aunque por el momento es un poco imprecisa debido a factores externos como el viento, pueden adaptarse a estas imprecisiones. Se quiere desligar la máquina del plano del suelo y sus restricciones abriéndose a arquitecturas y materiales no estándar de diseño digital. También esperan que algún día los drones puedan ser utilizados en trabajos de ayuda humanitaria, y para construir estructuras en lugares no accesibles.



Se realizaron varios experimentos entre 2013 y 2015 en Zúrich. Los drones dotados de carretes de cuerda motorizados, "tejieron" en el aire de forma completamente autónoma, siguiendo un plan de vuelo programado previamente) un puente peatonal de 7,4m de longitud, capaz de soportar el peso de una persona.



Figuras 1-3: Aerial Construction, Gramazio & Kohler Research + ETH Zúrich, 2013-2015. Estructuras aéreas tejidas en el aire con cuerda mediante drones. Obtenidas de: <http://gramaziokohler.arch.ethz.ch/web/e/forschung/240.html>

Figuras 4 y 5: Construction of Cubic Structures with Quadrotor Teams, Grasp Lab, 2011-12. Estructura ensamblada mediante drones. Obtenida de: <https://wordlesstech.com/construction-with-quadrocopters-video/> y <https://www.semanticscholar.org>

Figuras 6 y 7: Mud Shell, proyecto de Stephanie Chaltiel de construcción de refugios mediante proyección de arcilla con drones. Obtenido de: <https://www.designboom.com/architecture/stephanie-chaltiel-mud-shell-drones-emergency-architecture-09-21-2018/>

»»» CONSTRUCTION OF CUBIC STRUCTURES WITH QUADROTOR TEAMS: en esta ocasión un escuadrón de drones ensamblan estructuras cúbicas en forma de *truss*, mediante barras estructurales unidas mediante imanes. Investigación realizada por el Grasp Laboratory entre 2011-12.



»»» MUD SHELL: proyectos de vivienda realizados por la francesa Stephanie Chaltiel en Londres, 2018. Esta investigación difiere en las anteriores en que los drones están dotados de un "sistema umbilical", es decir, que están conectados a un depósito en tierra que le suministra material pastoso continuamente que la aeronave (denominada *Drone Spray*) previamente programada computacionalmente proyecta mediante una boquilla.



En este caso el material proyectado está compuesto a base de arcillas autóctonas mezcladas, proyectadas en varias capas sobre un ligero marco prefabricado de listones de madera, hilos de acero o encofrados inflables de plástico. En el cascarón obtenido las arcillas funcionan como el aglomerante, y los áridos como la arena. El polvo de mármol y la cal añadidas absorben la humedad. Además se pueden añadir fibras para reforzar las estructuras y evitar que se agrieten.

Con este proyecto pretende demostrar la utilidad de esta tecnología como método de construcción rápido que puede erigir viviendas de emergencia para refugiados o en zonas de desastre. Aunque dada la resistencia y la inercia le que confiere el lodo,

como si de adobe se tratase, también puede servir para transformar arquitecturas temporales en permanentes.

En verdad este último proyecto no dista mucho de otros para "imprimir" arquitecturas mediante drones combinados con la tecnología de la Fabricación Aditiva o "impresión 3D", donde el material en vez de pulverizarse, es vertido en lechadas o niveles, siguiendo el diseño virtual contenido en un modelo BIM. Pero esto lo desarrollaremos en el siguiente apartado.

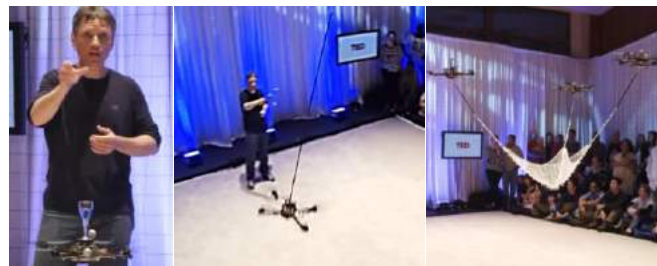
>>> **WORK BEE, APELLIX:** este último sistema de pulverización mediante un "sistema umbilical" también es apto para realizar otras labores, como las de mantenimiento de fachadas en edificios de gran altura sin la necesidad de utilizar andamios, ascensores o columpios. Los drones pueden pulverizar pintura y así pintar fachadas u otros paramentos. Así lo ha demostrado la empresa Apellix con su dron denominado Work Bee.



>>> **SERVICIO DE LIMPIEZA:** de forma similar, los drones pueden pulverizar agua a presión para realizar las labores de limpieza de grandes fachadas y cubiertas y otros paramentos sin así poner en peligro la seguridad de los operarios. Las aeronaves pueden acceder con soltura a cualquier lugar en cualquier altura y proyectar agua a presión aportada por el sistema umbilical. Hay varias empresas que ya han puesto en práctica su aplicación, como Drone Volt o Robinson-Solutions Professional Window Cleaning.



>>> Por último es necesario volver a mencionar al ingeniero y artista Raffaello D'andrea, cuyas investigaciones y experimentos con la tecnología dron le han permitido ilustrar en las famosas conferencias en línea de TED talks (cuyo lema es "*ideas que merece la pena difundir*") y en su página web, las pericias que ha logrado conseguir con estos robots voladores: equilibrio con pértigas, acrobacias en el aire sin derramar una gota de la copa de agua que el dron lleva a bordo, seguimiento del objetivo y trabajo en grupo con drones que por ejemplo juegan al ping-pong o seguir los movimientos de su mano, respuesta ante cambios externos como la presencia de obstáculos o fuerzas, escuadrones de drones capaces de ensamblarse en el aire y funcionar como un dispositivo único etc. con total facilidad y precisión. Esto nos muestra la enorme capacidad que tienen estos dispositivos para ayudarnos en el trabajo, o realizarlo por sí mismos de manera automatizada, con mayor precisión de la que podíamos imaginar. Sin duda merece la pena echarle un vistazo



**Figuras 1 y 2:** dron pintando fachadas. Obtenido de:  
<https://medium.com/apellix-robotics/beyond-the-delivery-drone-5b40fde61e34> y  
<https://www.youtube.com/watch?v=kjRPooS2XB0>

**Figuras 3-5:** drones proyectando agua a presión para la limpieza de paramentos. Obtenidas de:  
<http://robinson-solutions.blogspot.com/2016/01/drones-cleaning-windows.html> y <https://www.dronevolt.com/en/drone-volt-services-en/>

**Figuras 6-9:** exhibición de Raffaello D'Andrea en TED Talks en la que muestra las habilidades conseguidas por los drones. Obtenido de:  
<https://www.youtube.com/watch?v=w2itwFICgFQ>

# Los drones construyen nuestro futuro

Anteriormente hemos visto que las Realidades Virtual y Aumentada, aparte de ser útiles en múltiples sectores, están transformando los medios de comunicación de masas y nuestro lenguaje. Pero, ¿cómo afectará el uso de drones a nuestra sociedad? Una de las respuestas está en nuestras ciudades, nuestra forma de consumo y transporte.

Primeramente, el ferrocarril y la locomotora de vapor en el s. XIX crearon un gran impacto en las ciudades permitiendo que estas se expandiesen drásticamente y cambiando la forma de desplazarse entre ellas por completo, a mayor velocidad y con la posibilidad de transportar mayores mercancías.

Poco más tarde, la ordenación interna de las ciudades fue tomando forma en base a la llegada del automóvil, acomodándose a las infraestructuras urbanas necesarias para la circulación de los mismos. Observando cualquier mapa, podemos observar que las urbes tal y como ahora las conocemos, con o sin diseño urbanístico, siempre se han estructurado en base al necesario desplazamiento de los vehículos.

El legado de todo esto han sido urbes con carreteras saturadas y congestionadas por el tráfico rodado, presentes en casi todas las calles y donde el espacio para los peatones se ve relegado a una posición de inferioridad en cuanto a privilegios y tamaño.

Poco a poco se está tomando conciencia de esta problemática y practicando un nuevo planeamiento urbano que ha tomado un giro de 180°, primando el libre desplazamiento totalmente accesible y seguro para los viandantes, frente a los vehículos (exceptuando el transporte público) que quedan en un segundo

plano, e incluso son desterrados hacia la periferia, liberando cada vez más calles para su peatonalización.

La llegada de los vehículos voladores no tripulados, supondrá un cambio tan disruptivo como lo fueron el ferrocarril y el automóvil, y quizás su presencia en el aire llegue a ser tan común para nosotros como la de los coches en las calles.

Y es que estamos presenciando como esta nueva tecnología cada día toma más y más popularidad, y su uso se va extendiendo en más actividades rutinarias, así como creando otras muchas nuevas como hemos visto anteriormente.

¿Cómo impactará su uso en las ciudades? A medida que la sociedad ha ido evolucionando junto con las nuevas tecnologías, lo han hecho también nuestras necesidades y formas de consumo. Ahora es muy común poder ir a comprar sin necesidad de bajarnos del coche, o comprar desde casa a través de la web. Todo esto implica la presencia de más vehículos de reparto circulando por las calles.

El uso de drones supone la **descongestión de las infraestructuras** por un medio de transporte aéreo que **no contamina**, y que posibilita la recepción de nuestras compras de manera **más rápida y sostenible**. Incluso en un futuro, los drones serán capaces de transportar personas, sustituyendo o complementando al servicio de taxis y a los medios de transporte urbano (la empresa Uber ya ha iniciado proyectos de transporte con drones vehículos voladores y coches que conducen autónomamente). Las ciudades futuristas de las películas de ciencia ficción dejan de serlo para poco a poco convertirse en nuestro presente.

También se vaticina sobre otros posibles usos, como por ejemplo la presencia de escuadrones voladores que actúen a modo de "policía" velando continuamente por nuestra seguridad, controlando el tráfico, supervisando actividades o realizando vigilias nocturnas. Así lo adivinan muchos expertos y lo podemos

ver en la película anteriormente mencionada Ready Player One de Steven Spielberg.

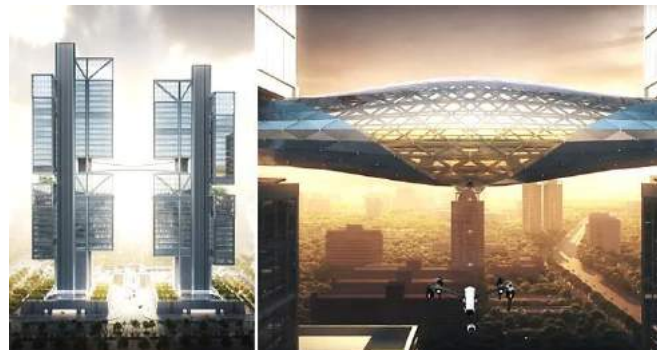


A medida que el transporte urbano y otras actividades se muevan del suelo al aire, la forma en que las ciudades se expanden puede ser revertida. El transporte se liberará de la linealidad de las infraestructuras para agregar una nueva dimensión, y por lo tanto la urbe podrá expandirse verticalmente de maneras más complejas.

Actualmente la ciudad la percibimos desde el suelo, pero en un futuro cuando nos desplazemos por el aire su diseño se transformará, para ser vista desde todo tipo de ángulos. La arquitectura será pensada para poder acceder desde distintos niveles y no solo desde sus cotas bajas, probablemente a través de "balcones" desde los que podremos ingresar directamente a nuestras viviendas o recibir paquetería. La imagen urbana y nuestra perspectiva hacia ella cambiarán por completo.



>>>**TORRES SHENZEN:** un ejemplo de cómo los arquitectos empiezan a tomar conciencia de la inevitable presencia de los drones en un futuro lo podemos ver nuevamente con el arquitecto Norman Foster, que a parte de visualizar que esta industria pueda servir para el desarrollo de los países del hemisferio sur donde escasean las infraestructuras, sin duda también tendrá un gran impacto los países del norte global. Por ello, ya ha presentado algunos diseños de proyectos como el de las torres Shenzhen en China, para una importante compañía de robótica. En él hace un pequeño acercamiento a la arquitectura del futuro, ya que se trata de dos torres gemelas unidas por un puente aéreo, punto de interés en el que exhibe su última tecnología para drones, permitiéndoles la entrada y salida directamente desde el aire.



Solo hemos hablando del lado positivo de esta tecnología, pero también existen muchas desventajas como la pérdida de privacidad, el espionaje, posibilidad de hackeo de los drones, atentados por cargas explosivas, o una nueva segregación de la ciudad por clases (las zonas altas y luminosas para los ricos y el pie de calle sombrío para los pobres).

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

Alumno: ALEJANDRO GONZÁLEZ CHAMORRO

Tutor: JESÚS SAN JOSÉ ALONSO

Figuras 1 y 2: fotogramas obtenidos del largometraje Ready Player One: drones policía. Obtenidas directamente del filme.

Figuras 3 y 4: proyectos de futuros de droneport Uber y torre de viviendas con acceso para los drones en distintos niveles. Obtenidas de: <https://www.lapagina.com.sv> y <https://archinect.com>

Figuras 5 y 6: proyecto de Foster+Partners 'Shenzhen' Drone Towers, con tecnología punta para drones. Obtenido de: <https://petapixel.com/2018/06/18/dji-shiny-new-hq-has-a->

Como con cualquier tecnología emergente surgen inconvenientes, ya que muchas veces se desarrollan mucho más rápido de lo esperado antes de poder planificarlo y establecer normativas, o que se utilizan con fines distintos de los que se pretendía. Pero como siempre hacemos, terminaremos llegando a un acuerdo y estableciendo nuevas leyes para solucionar todos estos problemas. Y el momento de empezar es ahora, porque los drones son una realidad que crece vertiginosamente y **debemos adaptarnos conforme lo hacen para poder beneficiarnos de todas las ventajas de su uso.**



Figuras 1 y 2: proyectos futuristas de Uber de droneports para sus servicios de aerotaxi. Obtenidas de: <https://www.lapagina.com.sv/cultura/ciudad-uber-un-futuro-posible/>

Figura 3: fotograma obtenido del largometraje Ready Player One: reparto de comida a domicilio mediante drones. Obtenida directamente del filme.

Figuras 4-6: servicio futurista de reparto de paquetería en la ciudad mediante drones denominado *DragonFly Drone Delivery*. Concepto ideado por PriestmanGoode y exhibido en su documental *Elevation*. Obtenidas de: <https://www.dezeen.com>

Por sus grandes ventajas de accesibilidad, libre movimiento, reducidos costes, sostenibilidad y aumento de la seguridad, los drones ya tienen numerosas aplicaciones en varios sectores como hemos visto en este apartado, y como estamos adivinando ahora surgirán otras muchas que generarán nuevas profesiones.

Aún no podemos definir con exactitud qué rol ocuparán en un futuro. Lo mismo que la realidad virtual nos permitía visitar y supervisar una obra a distancia, los UAS también nos permitirán construir o realizar labores de mantenimiento a distancia. Pero más interesante es la posibilidad de utilizarlos como herramientas de construcción digital *in-situ* mediante numerosas e inimaginables técnicas. O para construir arquitecturas temporales o de emergencia en lugares difícilmente accesibles.

Para que su aplicación sea lo más productiva posible, debe trabajar colaborativamente junto a la metodología BIM aportándole nueva información en los casos de toma de datos, u obteniendo información en los casos de construcción.

Lo que sí que sabemos con certeza es su innegable potencial dentro del sector con muchas más ventajas que inconvenientes. Pero su desarrollo está coaccionado por las leyes y normativas que actualmente no permiten su utilización. **Es extremadamente urgente la necesidad de redactar nuevas normativas que permitan un uso seguro de los mismos y por ende nos permitan evolucionar hacia las ciudades inteligentes.**





# BIM + Drones

Finalmente vamos a hablar brevemente sobre cómo la tecnología dron y la metodología BIM pueden trabajar colaborativamente.

Los UAS recopilan grandes cantidades de datos muy valiosos para incorporar en nuestro proyecto, datos que BIM permite gestionar y almacenar eficientemente. Esta tecnología es útil tanto en las fases iniciales para la recolección de datos; durante la fase de edificación para monitorear, documentar y controlar las obras; y durante la vida útil del edificio para realizar inspecciones técnicas y realizar labores de mantenimiento. ¿Nos suena esto de algo? En efecto, una de las características o premisas del BIM era su aplicación en estas mismas fases, es decir, en todas las fases proyectuales y en todo el ciclo de vida de la edificación. Por ende, la combinación de BIM y drones es más que apta y necesaria. De esta manera ambos pueden beneficiarse de sus respectivas ventajas, los drones aportando nuevos datos al modelo de información en las labores de toma de datos, y el modelo aportándoles información en las labores de edificación y mantenimiento.

Una de las mayores ventajas que aportan los drones junto con la fotogrametría y/o el escaneado láser LIDAR, es la facilidad y rapidez con que permiten incorporar con precisión a nuestro modelo BIM las volumetrías del terreno, el entorno y de las construcciones existentes sin tener que modelarlas por nuestra cuenta. Lo que supone un gran ahorro de tiempo y dinero que el podremos invertir en realizar un proyecto de mejor calidad aumentando la productividad. Es decir, los drones nos permiten digitalizar con relativa sencillez la realidad física, contribuyendo así a eliminar la barrera existente entre ella y el tercer entorno, y a aumentar el control del arquitecto sobre el proyecto.

El proceso de trabajo es relativamente sencillo o por lo menos fácil de comprender. A groso modo, las aeronaves dotadas de cámaras y/o láser capturan la realidad, que es procesada por

algún software o alguna aplicación online que genera el modelo 3D exportable a BIM. De hecho, es tan sencillo que incluso existen software y aplicaciones de fotogrametría como EyesMap de e-Capture o 123D Catch de Autodesk con los que podemos tomar las fotos necesarias del objeto que deseemos incorporar a nuestro proyecto con nuestro propio Smartphone o Tablet. El software automáticamente genera un modelo 3D con una precisión geométrica y resolución gráfica muy aceptable. El procesamiento de las imágenes se realiza on-line por lo que no se necesita de disponer de potentes procesadores o gran memoria RAM. (Loredo Conde, 2016)

Para procesar los datos obtenidos desde un dron (fotogramétricos o LIDAR) disponemos de software como ReCap de Autodesk que generan modelos en nubes de puntos o en mallas de polígonos. Otros software como Drone Harmony permiten realizar la planificación del vuelo del dron desde una Tablet. Sólo tenemos que marcar el área que queremos digitalizar y la aplicación automáticamente genera el plan de vuelo. A continuación otros software como RealityCapture crean un modelo 3D asignando a cada fotografía su posición con coordenadas en el modelo teniendo en cuenta la superposición o solapes entre ellas. Este procesamiento demora unas horas.

PIX4D BIM por ejemplo es un software que permite realizar todas las operaciones en una sola plataforma: planificar el vuelo del dron y la captura de datos, su procesamiento en nuestra computadora u online, el análisis de la información y la posibilidad de realizar modificaciones, y por último su aplicación en procesos posteriores.

El proceso inverso por el que los drones obtienen información del modelo BIM para su posterior aplicación en labores de construcción, como por ejemplo para levantar una torre de ladrillos, todavía está en fase de experimentación, por lo que no disponemos de gran información al respecto. Lo más probable es que por el momento lo realicen con software independiente, pero lo indicado es que en un futuro la planificación del vuelo y de las operaciones se realicen directamente a partir de la información contenida en el modelo BIM.

Existen multitud de posibilidades para coordinar el trabajo de los robots voladores y la metodología BIM, sus grandes ventajas resaltan a la vista, y su implantación en el sector AEC es ya imparable.

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

Alumno: ALEJANDRO GONZÁLEZ CHAMORRO  
Tutor: JESÚS SAN JOSÉ ALONSO

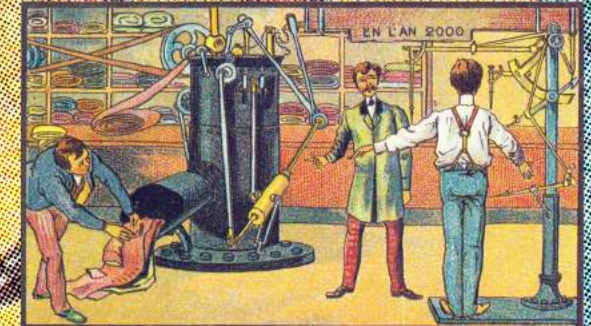
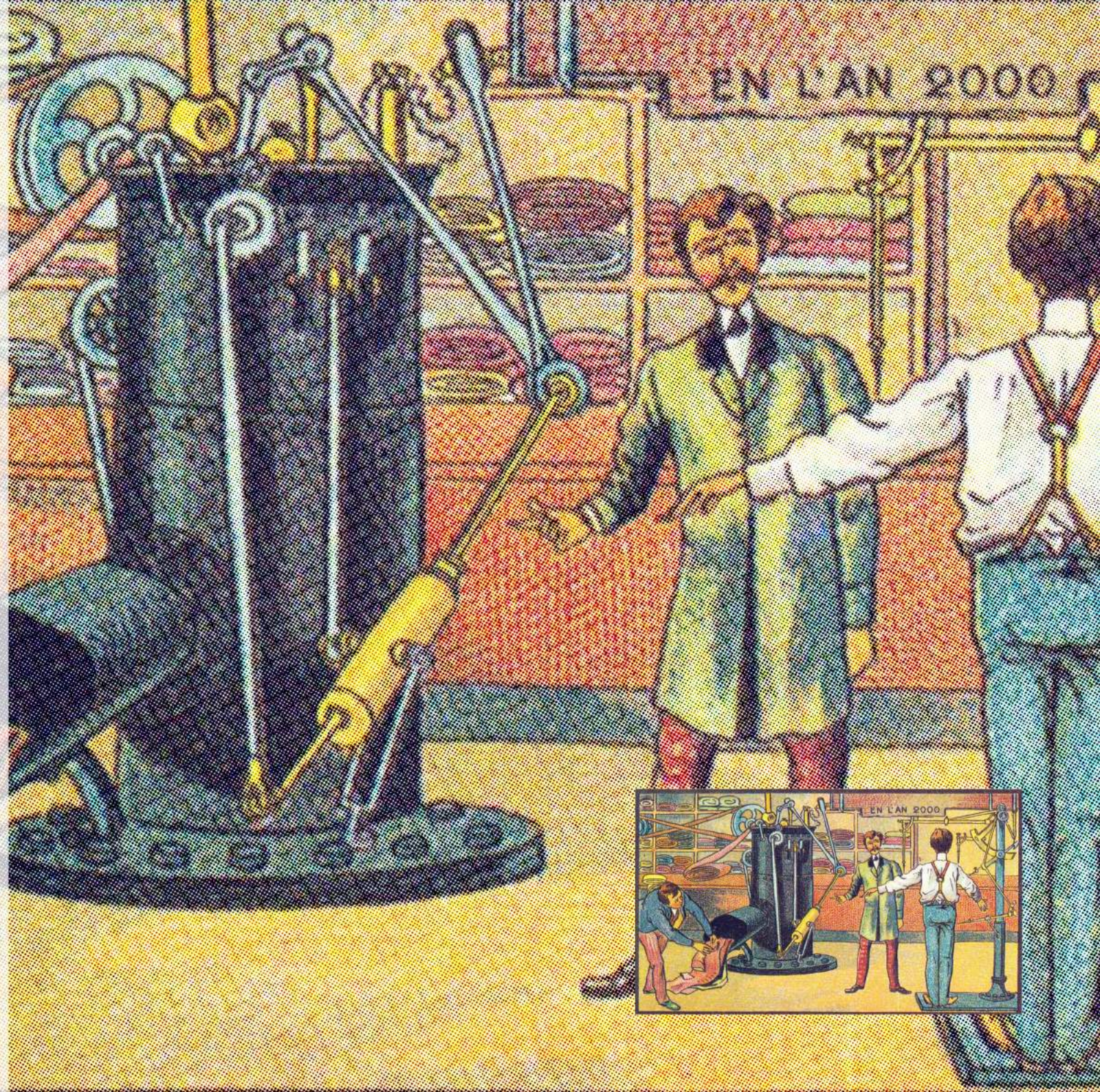


*En L'An 2000 (En el año 2000),  
Jean-Marc Côté, XIX-XX.*

En este caso imaginaron como en nuestro siglo tendríamos máquinas capaces de fabricar prendas de ropa a medida.

No es cierto del todo que tengamos máquinas que fabriquen específicamente ropa, pero si disponemos de máquinas de "impresión 3D" o mejor dicho de Fabricación Aditiva.

En este último apartado desarrollaremos esta tecnología, que al igual que en la ilustración, es capaz de fabricar objetos (incluso casas) partiendo de cero mediante el aporte continuo de algún material (que en esta imagen sería tela). No es desacertada la idea de que en un futuro esta tecnología nos permitirá fabricar también nuestra ropa.





**FABRICACIÓN  
ADITIVA**

**5.0**

# Qué es y cuáles son sus orígenes

Impresión 3D y fabricación aditiva no son exactamente lo mismo aunque se utilicen como sinónimas popularmente.

La **Fabricación Aditiva (FA)** engloba a todas las técnicas de fabricación mediante adición de material, por control computacional hasta conseguir un producto resultante, duradero y con una libertad formal que no permiten otros métodos.

La **Impresión 3D** es un tipo concreto de fabricación aditiva, Su técnica consiste en la deposición de algún material plástico o de cera, en polvo o en estado de cambio de fase en sucesivas capas, que se corresponden con las secciones horizontales de un modelo CAD hasta conseguir la pieza tridimensional, cuyo tamaño, resolución y prestaciones son muy limitadas.

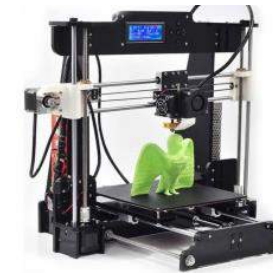
Para entenderlo mejor, según Joseph DeSimone<sup>38</sup> "La impresión 3D es algo lenta, y es básicamente impresión 2D en diversas capas superpuestas". De hecho, originalmente el proceso utilizaba cabezales de chorro de tinta personalizados.

Es una tecnología aditiva muy sencilla, pero también limitada. Y es debido a su sencillez, a su cada vez mayor accesibilidad y menor coste que ha llegado hasta las manos de particulares siendo ya común que algunas personas posean impresoras 3D en sus casas o estudios, popularizándose su nombre hasta el punto de ser utilizado de manera general y coloquialmente como sinónimo de fabricación aditiva.

El concepto de Fabricación Aditiva o *Additive Manufacturing (AM)* en inglés, es generalmente utilizado en ámbitos más profesionales o especializados, y abarca un sinfín de técnicas de adición de material (incluida la impresión 3D), así como de los tipos de

material utilizados, como ya veremos más adelante. Es un concepto genérico que proviene del Prototipado Rápido o RP (*Rapid Prototyping*)<sup>39</sup>, que no concreta la tecnología utilizada y por eso es preferible su uso en vez de impresión 3D de forma general para evitar confusiones.

Por ello, a partir de ahora en el desarrollo de este trabajo hablaremos de Fabricación Aditiva de manera general.



**Figuras 1 y 2:** impresora 3D y fabricación aditiva, dos procesos de fabricación similares pero que incluyen tecnologías y trabajan con materiales totalmente diferentes. Obtenidas de: <http://chupatintas.es> y <https://dmgmori.com>

<sup>38</sup> Joseph DeSimone es un químico, inventor y empresario americano, ganador del premio Lemelson-MIT Prize en 2008, cofundador y director de la empresa Carbon3D. Su empresa es popular por fabricar impresoras 3D y reconocida por investigar nuevas formas de impresión 3D, recibiendo el apoyo financiero de grandes compañías como Google o Nikon.

<sup>39</sup> El Prototipado Rápido es un conjunto de tecnologías aditivas utilizadas para producir ejemplares contenidos en un archivo CAD en un tiempo extremadamente reducido frente a otras tecnologías y con un coste menor, con el objetivo de generar varios prototipos con diferentes geometrías para valorar la mejor posible, antes de comenzar la producción en serie del producto. Es decir, su uso se limita a productos en fase de desarrollo.

delicadas estructuras tridimensionales sin uniones ni costuras, en una sola pieza.

Su uso permite a los diseñadores tener una máquina de RP, con el que experimentar y probar sus diseños de manera rápida y sencilla, pero también les permite producir elementos definitivos y listos para ser utilizados. Su gran precisión permite incluso reproducir en el material que elijamos, objetos totalmente similares a otros previamente escaneados y digitalizados.

Para el uso de esta tecnología es necesario el uso de programas informáticos CAM, que sean capaces de leer modelos 3D en CAD y procesarlos para poder imprimirlos mediante la división del objeto en secciones transversales, la transformación de superficies en geometrías específicas y mediante la definición de la trayectoria que el cabezal extrusor ha de seguir para imprimir la pieza. No por ello quiere decir que debamos ser expertos en informática, sólo necesitamos saber utilizar los programas de modelado informáticos más tradicionales, pues a no ser que se trate de una impresora desarrollada por nosotros mismos (lo que implica saber programar un software específico para ella), bastará con que ajustemos nuestro modelo 3D a las exigencias del software específico que acompaña a la impresora utilizada.

El tiempo de impresión puede parecer lento pero en verdad es más rápido que otros métodos tradicionales si tenemos en cuenta que genera en un solo proceso, productos listos para ser utilizados, prescindiendo de herramientas, moldes y cualquier otro proceso intermedio. Debido a esto, y a que no genera residuos, ya que en el caso de haber material sobrante (dependiendo del tipo de tecnología utilizada) este puede ser reutilizado sin desperdicio en los siguientes procesos, se trata de un tipo de fabricación más **sostenible** que cualquier otro. De hecho es un medio de producción susceptible y perfecto para utilizar materias naturales (arcillas, barro, arena, sal...), materiales reciclados (plásticos, papel, hormigones, ladrillos...) y nuevos materiales biodegradables como los bioplásticos.

Estamos por lo tanto hablando de un ahorro de materiales y una reducción de los tiempos de producción que tienen por consiguiente una reducción de los costes sin precedentes.

La popularmente conocida Impresión 3D tiende a ser pensada como una actividad de escritorio para producir pequeños accesorios y juguetes. Pero la verdad es que su alcance y posibilidades llegan más lejos de lo que muchos podían imaginar.

Las máquinas actuales ya no imprimen solamente en capas horizontales, sino que mediante brazos robóticos se puede imprimir desde cualquier ángulo y en cualquier dirección, o mediante "incubadoras" se puede generar piezas en medios fluidos que neutralizan la acción de la gravedad, por lo que el diseño se libera y permite crear geometrías complejas y verdaderas estructuras en tres dimensiones en lugar de capas en 2D macizas. Las piezas generadas son igual de válidas, útiles y funcionales que las producidas con métodos más tradicionales, incluso presentan capacidades novedosas frente a las anteriores, como optimizaciones formales, mejoras de la estructura interna y la distribución de los materiales, integración de funciones, etc...

La Fabricación Aditiva es actualmente aplicada con éxito en gran variedad de sectores, desde la producción de piezas industriales, bioimpresión en el campo de la medicina con células humanas, hasta llegar finalmente al sector de la construcción, para el cual ha tenido que repensarse y renacer de nuevo liberándose de sus primeras limitaciones: relación entre el tamaño de la máquina y el elemento producido. Tradicionalmente el tamaño de las máquinas de producción estaba estrechamente ligado al tamaño del objeto fabricado. Si bien, la FA y la robótica en general han evolucionado hasta convertirse en medios de producción escalables. Es decir, si queremos imprimir una casa la impresora no puede tener el tamaño de la misma, sino que tendrá un tamaño reducido, el necesario para poder añadir el material mientras se desplaza por todo el perímetro de actuación. Para ello han sido muy útiles los brazos robóticos típicos de la industria automovilística, dotados con boquillas extrusoras de material y capacitados para desplazarse en alguna dirección o con total autonomía en todos los ejes. En otras palabras, "impresoras 3D" móviles. De esta manera la FA puede imprimir objetos cada vez más grandes, convirtiéndose en una herramienta muy útil para la ingeniería y la construcción, liberándose de su posición remota a la construcción para introducirse en ella como una herramienta más de la fabricación digital.

Más adelante entenderemos esto mejor con ejemplos de algunas tecnologías para imprimir arquitectura. Pero antes vamos a hablar un poco de su historia.

Al igual que hemos visto con la Realidad Virtual y los drones, la Fabricación Aditiva es una tecnología que nació y se desarrolló junto a las demás tecnologías digitales que arquitectos, ingenieros

y diseñadores han venido incorporando de manera progresiva en los últimos 50 años. Todo comenzó con la llegada de los ordenadores personales y el dibujo asistido. Más tarde la tercera dimensión aumentó la eficacia de los procesos de representación y visualización. Se convirtió en una alternativa a las maquetas físicas. Pero CAD y 3D se volvieron realmente eficaces cuando se comenzaron a utilizar en el proceso de diseño. Cuando se entendió que el PC podía ser utilizado como una herramienta en el proyecto. Nace entonces la Arquitectura Digital, a finales de los 90, que permitió diseñar innovadores proyectos, complejos e intrincados. Pero en aquel entonces había una gran barrera entre la arquitectura proyectada y la que se podía construir con la industria del momento. El siguiente paso entonces, fue desarrollar la fabricación y la construcción digital para poder materializar la arquitectura digital. Es decir, incluir la computación como otra herramienta en la edificación al igual que ya se había hecho en otras industrias desde los 70. Los grandes avances llegaron de la mano de los que además de adoptar el CAD/CAM <sup>40</sup> en procesos tradicionales, experimentaron y fueron más allá con esta herramienta, entendiendo su capacidad para transformar nuestra concepción sobre la arquitectura, uniendo estrechamente los procesos de diseño y fabricación, acelerando el proceso y aumentando la precisión (Malé-Aleman, 2015). Y con ello surge también en la arquitectura una nueva libertad formal y material debido a las posibilidades de las nuevas tecnologías y los nuevos métodos de producción. Casi cualquier elemento por complejo que sea puede ser diseñado y fabricado digitalmente. Y puede fabricarse un ejemplar, o cinco mil, sin que esto interfiera en el coste; y cada ejemplar puede ser diferente del anterior, sin que esto encarezca el producto. Porque esta tecnología trasciende sobre la producción en serie hacia un nuevo tipo de producción y consumo denominado *mass customization*, que se caracteriza por la flexibilidad y la personalización masiva sin aumentar los costes.

La comúnmente denominada Impresión 3D, no es una tecnología nueva sino que se desarrolló a partir del Prototipado Rápido a partir de los años 70 con la introducción de la computación en diversas industrias como acabamos de ver. El RP no deja de ser un tipo de fabricación digital que se beneficia del uso del CAD/CAM. En concreto nació en los años 80 con la llegada de tecnologías aditivas controladas electrónicamente como la Estereolitografía o STL -técnica que solidifica capas de

fotopolímeros sensibles a la luz ultravioleta aplicada con láseres-<sup>41</sup> y el Modelado por Deposición Fundida o FDM –tecnología que funde y deposita a través de una boquilla, filamento plástico o metálico que solidifica instantáneamente-<sup>42</sup>, y otras tecnologías que fueron surgiendo sucesivamente.

El Sinterizado Selectivo por Láser o SLS <sup>43</sup> es otra tecnología de RP, que fue desarrollada y patentada en los años 80 por Carl Deckard pero obtuvo mayor fama en los 90. Consiste en la deposición de capas de polvo cerámico, metálico, cristal o plástico en una cuba cuya temperatura se encuentra ligeramente inferior a la del punto de fusión del polvo, en la que un láser CO<sub>2</sub> sinteriza (fusionando y solidificando) selectivamente las sucesivas secciones de la pieza. El polvo no sinterizado se mantiene en su lugar para soportar las siguientes capas, por lo que no se necesitan estructuras de soporte para crear piezas complejas. Este polvo se reutiliza en las próximas impresiones sin desperdicio.

Estas tecnologías no eran perfectas, pero demostraron su gran potencial. Es por eso que continuaron desarrollándose y ahora forman parte de las diferentes técnicas de FA e Impresión 3D, así como también se siguen utilizando en el Prototipado Rápido.

La fabricación aditiva constituye uno de los procesos de formación y fabricación más presentes en los procesos biológicos y en la naturaleza, y es en ella donde cada vez más toman inspiración las nuevas tecnologías emergentes. Por ejemplo, una araña tejiendo una telaraña entre dos ramas es un proceso muy similar al que en el apartado anterior vimos como unos drones tejían una estructura aérea con cables. Pues bien fabricar aditivamente es el método en que las termitas, arquitectas ejemplares, construyen sus complejos termiteros añadiendo barro capa a capa, y cuyo resultado es un sistema capaz de regular las condiciones interiores de sus colonias verticales. También es fabricación aditiva la técnica con la que los gusanos de seda tejen sus eficaces capullos dentro de los cuales realizan la metamorfosis. Estos capullos están tejidos con un único hilo de seda de unos 6500m de largo, a partir del almidón que extraen de las hojas de las moreras y que transforman en dextrina líquida que solidifica instantáneamente en contacto con el aire. Los gusanos enrollan sobre sí mismos este hilo, que variando su trama y densidad tendrá diferentes propiedades, duro y resistente al exterior, y suave al interior. Realmente impresionante.

<sup>40</sup> CAM *Computer Aided Manufacturing* o fabricación asistida por ordenador. En el ámbito la fabricación digital, se refiere al empleo de software especializado para el control de máquinas CNC. Es un traductor entre el CAD y el lenguaje de dichas máquinas. A este sistema a menudo se le denomina CAD/CAM, el cual permite pasar directamente de la fase de diseño a la producción.

<sup>41</sup> La patente la obtuvo Chuck Hull en 1986, que fundó la compañía 3D Systems Inc en ese mismo año. STL se utilizó más adelante para denominar así también a un tipo concreto de formato de archivos CAD, “*Standard Triangle Language*” creado para este tipo de tecnologías y que genera una geometría determinada omitiendo información como el color y otras propiedades físicas que sí incluyen los archivos CAD.

<sup>42</sup> Tecnología desarrollada a finales de la década de 1980 por S. Scott Crump, patentada y comercializada por Stratasy Inc en los 90.

<sup>43</sup> Desarrollada y patentada por Carl Deckard y Joe Beaman en los años 80 con el patrocinio gubernamental de la agencia DARPA en la Universidad de Texas, Austin. Ambos participaron en la fundación de la empresa DTM para construir máquinas SLS, empresa que fue adquirida en 2001 por su mayor competente, 3D Systems Inc. la empresa de STL de Chuck Hull.

# Tipos

La industria de la fabricación aditiva es un sector en plena ebullición en el que durante años han ido surgiendo nuevas innovaciones e investigaciones, y con ellas nuevas tecnologías que son muy difíciles de catalogar en un número cerrado de tipologías debido a su gran diversidad. Existen tecnologías de "impresión" catalogables según su escala: desde las impresoras 3D de escritorio a otras más pequeñas capaces de trabajar a escalas moleculares, hasta las capaces de imprimir edificios o piezas para barcos. También se pueden clasificar según la tecnología y mecanismos empleados que van desde la impresión 3D realizada dentro de cubetas, otras que trabajan dentro de cubos mayores, hasta la fabricación en grandes pórticos, con tecnología de cables, mediante brazos robóticos o mediante pequeños robots móviles. Quizás también se pueden categorizar según su aplicación que influye directamente en su tamaño y tecnología, como para el Prototipado Rápido, para las ingenierías militar, aeronáutica o automovilística, para la medicina, la farmacéutica o para la moda, y por supuesto para la arquitectura. O quizás lo más común sea clasificarlas según el material con el que trabajen.

Por ello, vamos a realizar una simple y breve clasificación según los materiales y las tecnologías utilizadas, dentro de la cual existen muchas subcategorías en las que no vamos a entrar por su gran variedad y magnitud. Con los ejemplos que veremos más adelante en este trabajo se entenderá perfectamente el alcance de la fabricación aditiva para trabajar con casi cualquier material y con un sinfín de tecnologías.

► **EXTRUSIÓN PASTOSA:** esta tecnología quizá es la más simple de comprender pues simplemente trata de la deposición directa de algún tipo de material pastoso o alguna mezcla de

componentes, de secado rápido, mediante un cabezal extrusor capa a capa, sin necesidad de añadir otros materiales aglutinantes durante el proceso, ni estructuras de soporte. El cabezal extrusor se desplaza a lo largo de todo el perímetro ascendiendo progresivamente para depositar cada hilada de material una sobre otra.

Su aplicación más común es en el sector de la arquitectura, y los materiales utilizados abarcan una amplia gama desde pastas cementicias, arcillas y adobes, u otros tipos de mezclas salinas, minerales, arenas, o de materiales reciclados obtenidos de ladrillos, plásticos u hormigones. Incluso es utilizado en cocina vanguardista para elaborar platos de diseño con cualquier mezcla densa de ingredientes.



► **EXTRUSIÓN O INYECCIÓN CON CAMBIO DE ESTADO:** técnica de deposición de algún material, también sin necesidad de añadir otros aglutinantes pero que en esta ocasión, ha necesitado una fusión del mismo a altas temperaturas para convertirlo de un material sólido a uno líquido denso, apto para su deposición capa a capa que posteriormente seca y se convierte en sólido nuevamente. Existen dos opciones en las que, o bien el cabezal extrusor es el que se desplaza para superponer las capas de material o bien el cabezal permanece siempre al mismo nivel y es la plataforma sobre la que se deposita el material la que desciende coordinadamente con cada capa de material añadido. La gama de materiales depositados es muy amplia, y sus aplicaciones también son muy variadas. Veamos un par de ejemplos:

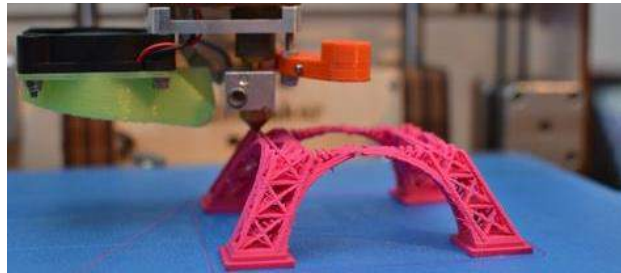
▲ **MODELADO POR DEPOSICIÓN FUNDIDA (FDM):** originaria del prototipado rápido, utiliza materiales termoplásticos (PLA, ABS, HDPE, TPU, etc.) aportados generalmente mediante una bovina de filamento, que se funde en el cabezal extrusor a

aprox. 200°C previamente a su deposición en capas y que rápidamente secan por sí solos. Esta tecnología puede realizarse en un solo material mediante un único cabezal, o también con materiales de distintos colores con varios cabezales extrusores. En el caso de que la pieza posea partes en voladizo el cabezal extruye soportes fácilmente retirables, en el mismo material o en otro soluble en agua.

Cambiando el tipo de cabezal y el sistema de aporte material esta tecnología es apta para utilizar otro tipo de materiales como los cerámicos, o nuevamente materiales alimenticios como el chocolate.

Aunque su precisión y el diámetro de cada hilada alcanzan hasta las 50 micras, no admite técnicas de postprocesado tan buenas como la de otras tecnologías.

Sus aplicaciones son variadas, desde la producción de figuras ornamentales, moldes, a prototipos y productos profesionales y funcionales.



▲ **MODELADO CON METALES:** técnica similar, generalmente aplicada para producción a mayores escalas. Los materiales utilizados son metales variados y aleaciones, aportados mediante bobinas de filamento, o metales en polvo, que son fundidos en el cabezal extrusor previamente a su deposición. Generalmente el cabezal está integrado en un brazo robótico y sus aplicaciones son muy variadas en la industria AEC. En el caso de que el metal aportado sea en polvo, esta tecnología puede introducirse en otra categoría como veremos un poco más adelante.

► **MATERIALES FOTOQUÍMICOS:** su origen se encuentra en la Estereolitografía o SLA, tecnología del *rapid prototyping*, y consiste en un cubo que contiene una resina líquida o fotopolímero que cambia de propiedades con técnicas como la fotopolimerización. El material sensible a la luz ultravioleta a algún

láser u otros tipos de luz, que es aplicada en máscaras o con un rayo selectivo, solidifica capa a capa mientras la plataforma que sostiene el objeto se desplaza sincronizadamente manteniendo la última capa sumergida justo por debajo del nivel superior del líquido. Estos fotopolímeros poseen una capacidad auto-adhesiva que unen las capas entre sí formando un objeto robusto. La calidad que se obtiene es muy alta con espesores de hasta 16 micras y un muy buen acabado superficial, aunque los productos suelen necesitar de la generación de soportes durante el proceso en el caso de haber voladizos, y de procesos de secado y postproducción sencillos. Dentro de esta categoría existen diversas tecnologías como la SLA, SGC, DLP, etc. y su aplicación general es la de producción de moldes, maquetas y prototipos. Otras tecnologías como el *Photopolymer Phase Change Inkjet Printing* permiten trabajar con diversos materiales a la vez, gracias a un cabezal con miles de inyectores, fabricando productos multimateriales con diversos comportamientos y que abarcan materiales translúcidos, opacos, rígidos y flexibles.



► **SINTERIZACIÓN SELECTIVA POR LÁSER o SLS:** la última de las tecnologías originarias del RP que como ya vimos sinteriza con un láser capas de material en polvo (cerámico, metálico, nylon, cristal o plástico) dentro de una cuba (que mantiene la temperatura cerca del punto de fusión), fusionándolo y solidificándolo. El polvo no sinterizado permanece estático funcionando a su vez como soporte, por lo que se pueden generar piezas en voladizo sin necesidad de generar otras de soporte. El polvo sobrante se reutiliza sin desperdicios en los siguientes procesos. El producto resultante se extrae de la cuba, y el polvo se elimina mediante soplado o vibrado. La calidad superficial y la robustez obtenida es muy buena, cuyas características son similares a las del material original utilizado. La parte negativa es que las piezas deben dejarse dentro de la

**Figura 1:** FDM, modelado por deposición de materiales fundidos. Obtenida de: <https://www.impresoras3d.com>

**Figura 2:** SLA, o estereolitografía. Un tipo fabricación aditiva mediante resinas sensibles a algún tipo de luz que solidifican a su exposición. Obtenida de: <https://www.techtudo.com.br>



cubeta hasta que se enfríen antes de retirarlas, proceso que puede demorar horas o incluso un par de días, además de ser una tecnología relativamente cara debido a la potencia del láser utilizado.



Posteriormente se han creado nuevas tecnologías de funcionamiento similar, pero que no tienen la necesidad de producirse dentro de una cuba con altas temperaturas, y con gran variedad de materiales y posibilidades, por lo que las vamos a catalogar en otra tipología, cuya similitud es que el material utilizado siempre se aporta en polvo.

► **GRANULADO:** técnica similar a la anterior que trabaja con material en polvo con o sin cambio de estado. El material en polvo se añade o esparce capa a capa, sobre la cual un cabezal inyecta el material aglomerante dibujando la sección como si el cabezal de una impresora de chorro de tinta se tratase. Sucesivamente se van añadiendo nuevas capas de material en polvo sobre las que se dibujan las siguientes secciones horizontales del producto.

En otras ocasiones en vez de un cabezal que dispone aglomerante, el cabezal posee un láser que sinteriza el material en polvo. Los materiales utilizados engloban desde yesos y escayolas, arenas, hasta polvos metálicos.

Incluso puede tratarse de polvos plásticos que son aglutinados mediante la aplicación de un chorro de calor que funde selectivamente cada sección.

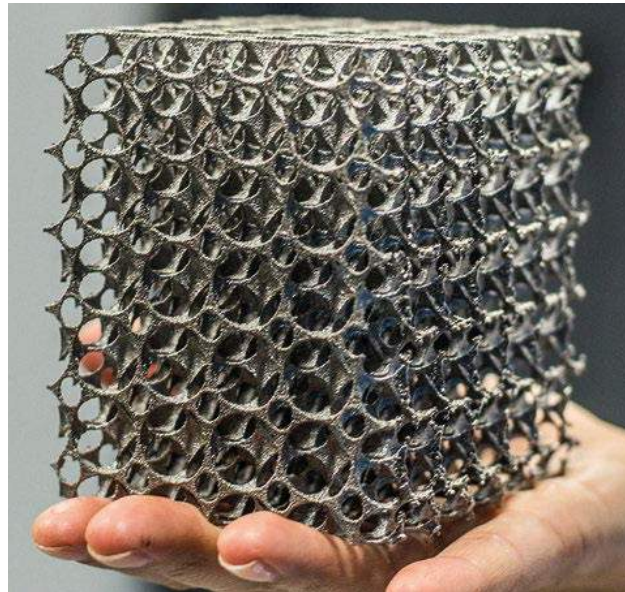
Algunas de las distintas tecnologías existentes son el EBM, DMSL, DSPC, SHS, SLS, etc. Veamos algunos ejemplos:

▲ **3D PRINTING O 3DP:** tecnología patentada en 1993 por el MIT, el material en polvo es yeso o similares, que solidifica con un pegamento especial dispuesto capa a capa por un cabezal de chorro de tinta. Mediante un rodillo el polvo se traslada de una cubeta a la plataforma sobre la que se crea el objeto, creando una fina y compacta capa de material, sobre la que

sincronizadamente el cabezal de chorro de tinta dibuja cada sección correspondiente de la pieza, la plataforma desciende alternando cada proceso hasta obtener el producto final. Similar al SLS, el polvo funciona como soporte, por lo que se pueden crear complejas piezas con partes en voladizo sin necesidad de crear estructuras adicionales de soporte.

Más adelante se han creado tecnologías similares, capaces de producir estructuras de piedra artificial mediante arenas y adhesivos naturales, con características mecánicas similares a la piedra natural. Lo veremos más adelante en el trabajo.

▲ **SINTERIZADO DIRECTO DE METAL POR LÁSER, DMLS:** el polvo de metal y aleaciones es directamente sinterizado por un potente láser. Las características mecánicas de las piezas de metal obtenidas son similares a las producidas por medios tradicionales, con la diferencia de que así se pueden obtener formas imposibles de conseguir con las otras y de manera mucho más rápida. El resultado son piezas de gran precisión (hasta 20 micrómetros) y totalmente funcionales utilizadas en diferentes sectores.



▲ **FUSIÓN POR HAZ DE ELECTRONES, EBM:** similar al anterior, el material en polvo es metal conductor, y capa a capa es sinterizado en vez de con un láser, con un haz de electrones.

**Figura 1:** SLS, fabricación aditiva mediante la sinterización selectiva por láser de materiales en polvo. Obtenida de: <https://impresora3d.tech>

**Figura 2:** DMLS, fabricación aditiva con metales en polvo sinterizados con potentes láseres que produce piezas con altas prestaciones. Obtenida de: Rodríguez Gómez, N. (s.f.). Cevsimap 99. En 3 Dimensiones. Impresión 3d: la futura fabricación del recambio, 11

Se realiza dentro de una cuba en vacío que permite evitar la desviación del haz, emitido a la mitad de la velocidad de la luz (similar a la soldadura en vacío), lo que permite alcanzar grandes niveles de precisión. La temperatura dentro de la cuba de trabajo es aprox. de 700°C evitando así deformaciones en las piezas por saltos térmicos e incrementando sus propiedades mecánicas. Además se crean robustas piezas metálicas, densas y rígidas, sin burbujas, imposibles de conseguir con otras tecnologías de sinterizado.



▲ LASER POWDER FORMING, LPF: tecnología que bien podría estar dentro de otra categoría, o crear otra nueva. El material en polvo también es metálico, y es aglutinado mediante un potente láser. La gran diferencia de esta tecnología es que el polvo metálico se dispone punto a punto en vez de capa a capa, y el láser es aplicado directamente en ese punto. Es decir, por el cabezal sale el metal fundido directamente que solidifica instantáneamente, y es capaz de “dibujar” directamente “líneas” de metal en el aire, que entrecruzándose crean resistentes estructuras aéreas. Lo más interesante de esta tecnología es que debido a que el polvo es dispensado punto a punto, el material puede ser cambiado dinámicamente y continuamente, lo que permite obtener materiales multi-material imposibles de conseguir con otros métodos. Más adelante en el trabajo veremos unos cuantos ejemplos prácticos.

Existen numerosas tipologías más que han quedado sin mencionar, y otras muchas que están surgiendo actualmente que utilizan tecnologías y materiales totalmente novedosos. Como hemos visto, las tecnologías expuestas son de difícil catalogación, pues muchas comparten numerosas similitudes entre ellas y bien pueden pertenecer a una subcategoría de otra tecnología, o considerarse otra nueva. Pero lo que está claro es que su común

denominador es la adición de material, con o sin cambio previo de fase, que capa a capa consigue fabricar u elemento partiendo de cero.

**Figuras 1 y 2:** EBM, piezas metálicas fabricadas aditivamente mediante fusión por haz de electrones. Obtenidas de: <https://amfg.ai> y <https://engineeringproductdesign.com>

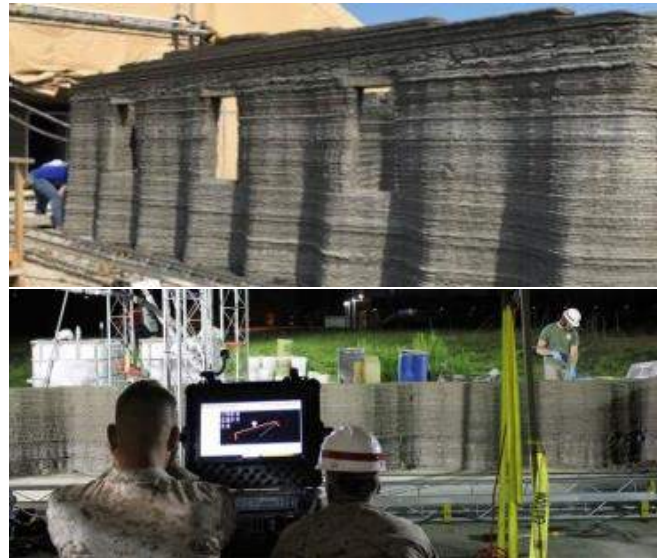
# Aplicaciones y Ventajas

La FA ya se ha instalado en prácticamente todos los sectores e industrias, si bien no es utilizada como primera elección sino que en general es mayormente utilizada cuando hay que fabricar productos no estandarizados y en pequeños lotes que supondrían costes inasumibles mediante métodos tradicionales. Pero a medida que la tecnología avanza y se desarrollan, los precios bajan y se vuelven más asequibles para todos los públicos como siempre ha pasado con todas las nuevas tecnologías. Y así es como poco a poco irá escalando puestos hasta introducirse por completo como un medio de producción más gracias a su potencial y numerosas ventajas.

A continuación vamos a enumerar brevemente algunas de sus aplicaciones generales (Malé-Aleman, 2015):

► **INDUSTRIA MILITAR:** como no podía ser menos, la industria militar y armamentística siempre desarrolla y hace uso de las nuevas tecnologías mucho antes que la sociedad civil. Su utilidad radica en poder fabricar imprimir en zonas de combate recambios, piezas, o cualquier otra cosa que necesiten sin necesidad de enviarlos desde la base o de cargar con piezas de repuesto. Hasta entonces el transporte de material bélico suponía fortunas a los ejércitos. *Además la FA permite hacer equipos de protección a medida para los soldados, los cuales no serían factibles con una producción tradicional. Además de esta personalización, la tecnología aditiva facilita replantearse la forma y funcionalidad de aplicaciones como cascos, armaduras u otras, aumentando radicalmente su complejidad.*<sup>44</sup> Toda la maquinaria necesaria, incluso tecnologías tradicionales, es transportada en un contenedor de obra preparado para fabricar piezas de cualquier material. También están experimentando con algunas

de las impresoras más grandes del mundo, con las que por ejemplo el Comando de Sistemas del Cuerpo de Marines de Estados Unidos (MCSC) ha fabricado en 40 horas un campamento de hormigón considerada la primera impresión de hormigón *in situ*, pues existían este tipo de impresiones pero hasta entonces ninguna se había ejecutado directamente en el lugar. Esto permite de nuevo que los robots hagan todos los trabajos peligrosos, sucios y aburridos en campo de batalla, aumentando la seguridad de los infantes. Por el momento el proceso tiene que ser monitoreado por unos pocos operarios que además deben rellenar continuamente la impresora con la mezcla de hormigón. Pero se espera que finalmente un robot pueda ocuparse autónomamente de todo el proceso, lo que también lo acelerará.



Fuera del campo de batalla, esta industria posee impresoras de tamaño industrial capaces de imprimir tanques completos y grandes piezas para submarinos y aviones.

► **INDUSTRIA AERONÁUTICA Y ESPACIAL:** fue también una de las primeras en adoptar la FA y ya la utilizan no sólo para el prototipado sino también para piezas definitivas. En la actualidad es utilizada sobre todo para fabricar complejos conductos de ventilación y componentes para los motores. Su gran objetivo es poder trabajar en el espacio en gravedad cero, lo que permitirá

**Figuras 1 y 2:** proceso de fabricación aditiva de un campamento militar *in situ* y monitoreo del proceso. Obtenidas de: [www.elnuevodia.com](http://www.elnuevodia.com) y [www.marines.mil](http://www.marines.mil)

<sup>44</sup> Malé-Aleman, M. (Noviembre de 2015). Tesis Doctoral en Arquitectura. El potencial de la fabricación aditiva en la arquitectura: Hacia un nuevo paradigma para el diseño y la construcción. Escola Tècnica Superior d'Arquitectura de Barcelona (ETSAB), Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), 115.

poder fabricar todo tipo de piezas y objetos sin tener que transportarlos desde la tierra.

► **INDUSTRIA AUTOMOVILÍSTICA:** mencionar sobre todo que su gran desarrollo ha sido propiciado por la Fórmula 1 en busca del aligerado de sus automóviles y su mejora aerodinámica. Muchas de sus soluciones después son utilizadas en el automovilismo convencional. Toyota, la gigante japonesa del motor ya ha conseguido replicar un motor funcional de 4 cilindros, fabricado enteramente mediante FA.

► **MEDICINA:** pionera también en el estudio y uso de los beneficios de esta tecnología que permite adaptarse a necesidades y morfología de cada paciente. Sus aplicaciones alcanzan desde las prótesis personalizadas externas e internas, hasta la impresión con células vivas (del paciente) de tejidos y órganos funcionales que permiten realizar trasplantes sin rechazos y sin listas de espera. La impresión de órganos funcionales todavía no es una realidad, por el momento sólo se imprimen réplicas exactas como vemos en la imagen, pero se está avanzando a pasos agigantados.



También es utilizado para imprimir otras partes de la anatomía así como tumores, órganos u otros, para que los cirujanos puedan estudiarlos y prepararse antes de una operación.

Decir también que su desarrollo ha estado de nuevo propiciado en parte, por la industria militar. Entre el 10 y el 30% de las heridas de guerra son quemaduras, cuya piel puede ser trasplantada en campo de batalla gracias a la bioimpresión de tejidos vivos.

► **INDUSTRIA FARMACÉUTICA:** se trabaja para que en un futuro cercano la FA permita imprimir a nivel molecular cualquier composición química y fabricar medicamentos *in situ* según la necesidad, sobre todo en países subdesarrollados.

► **INDUSTRIA ALIMENTARIA Y GASTRONÓMICA / FOOD PRINTING:** una vez más la industria militar ha sido una de las grandes partícipes de su desarrollo, así como la aeroespacial. La idea es similar, poder crear alimentos variados con todos los nutrientes necesarios en el campo de batalla así como en el espacio en gravedad cero.

Otra idea en la que se está trabajando es su gran potencial para trabajar con nuevos ingredientes, nutritivos pero más sostenibles como algas o insectos con altos contenidos en proteínas. Y de forma similar en la que en medicina se pueden crear órganos artificiales con tejidos vivos, se puede aplicar en este sector para crear alimentos artificiales con propiedades, aspecto y sabor similar a los procedentes de un animal pero creados completamente en un laboratorio.

En la cocina más cotidiana esta tecnología sigue estando en fase de experimentación. Actualmente más que para imprimir alimentos, se utiliza para imprimir complejos moldes para darles forma.

► **INDUSTRIA ELECTRÓNICA:** gran utilidad por su capacidad de fabricar dispositivos más funcionales en menos espacio. Por ejemplo, cuando las impresoras puedan trabajar con varios materiales a la vez podrán integrar la electrónica de un dispositivo utilizando materiales conductores, en la propia carcasa.

La unión de la electrónica y FA permite crear dispositivos inteligentes y multifuncionales. Por ejemplo, ya podemos imprimir en nuestra casa drones funcionales, por el momento sólo la estructura o chasis, pero el objetivo es poder imprimir todos sus componentes, incluidos los electrónicos, para lo que grandes compañías como Xerox y su centro de investigación canadiense XRCC trabajan sólidamente, capaces de imprimir circuitos con resoluciones inferiores a un cabello humano sobre cualquier tipo de superficie. O la impresora Voxel8 en fase de desarrollo, capaz de imprimir objetos completos y también parte de su electrónica.

► **INDUSTRIA TEXTIL Y CALZADO:** por el momento utilizado solamente en pasarela y en prototipos, pero con gran potencial para convertirse en nuestra moda urbana en no mucho tiempo. Sus posibilidades permiten, al igual que en medicina se pueden generar prótesis personalizadas para cada paciente, que por ejemplo se pueda fabricar calzado personalizado y a medida de cada cliente.

Figuras 1-3: réplica de corazón, prótesis de pierna funcional y nariz producidos por FA. Obtenidas de: [www.eoi.es](http://www.eoi.es), [www.fablabconnect.com](http://www.fablabconnect.com) y [www.dezeen.com](http://www.dezeen.com)



Empresas como FOC (*Freedom of Creation*) investigan la fabricación de materiales textiles mediante microestructuras y ensamblajes complejos, un nuevo concepto de tejido sin hilos ni costuras a base de tramas de “anillas” entrelazadas entre sí, que variando su material, densidad y escala consigue diferentes texturas, tramas y flexibilidad.

Se vaticina sobre cómo afectará esto en un futuro, en el que podremos comprar y descargar ropa y calzado por internet en archivos digitales, customizarla según nuestros gustos y adaptarla a nuestras medidas, y acudir a un comercio local de FA en el que podamos imprimir las prendas mientras nos tomamos un café tranquilamente o solicitar directamente que nos lo envíen a casa. Esto cambiaría por completo los medios de producción tal y como los conocemos ahora, reduciría el transporte y la contaminación, beneficiando al comercio local. Las grandes empresas de la moda no se verían obligadas a fabricar grandes cantidades de ropa de la cual mucha no se vende, y pasaríamos a producir sólo la ropa que demande el consumidor. Además el

material de las prendas, podría reciclarse para imprimir otra distinta.



► **PALEONTOLOGÍA Y ARQUEOLOGÍA:** realizar réplicas idénticas de un espécimen de millones de años previamente fotogrametrizado o escanear mediante un láser un sarcófago u otras reliquias arqueológicas por ejemplo, para posteriormente imprimirlo, estudiarlo y exponerlo sin necesidad de abrir o alterar el original, son algunas de las aplicaciones en este sector.

► **ARTE:** permite superar los límites de la fabricación tradicionales y materializar obras que hasta ahora sólo se podían concebir virtualmente. Por consiguiente, sus posibilidades repercuten también en la concepción del arte, los diseñadores pueden jugar con software que les permiten idear obras de arte de lo más heterodoxas.

► **ARQUITECTURA:** desde la fabricación de maquetas y componentes en fábrica, hasta la “impresión” de casas *in-situ*, la FA tiene numerosas aplicaciones en este sector que desarrollaremos un poco más adelante.

**Figura 1:** zapatos de tacón, diseñados por importantes arquitectos y diseñadores (Ben Van Berkel, Zaha Hadid, Ross Lovegrove, Fernando Romero y Michael Young) y elaborados por FA para el proyecto *Re-Inventing Shoes* expuestos en el London Design Festival y la London Fashion Week en 2015. Obtenido de: <http://www.designcurial.com>

**Figura 2:** zapatos deportivos de Adidas mayormente elaborados mediante FA. Su innovadora suela polimérica se conforma mediante una estructura tridimensional más robusta que cualquiera producida por inyección, se customiza no solo para la talla del pie sino también para el peso del usuario. Obtenido de: <https://www.sculpteo.com>

**Figura 3:** *Fashion Tech*, diseños completamente producidos por FA en alta pasarela. Obtenido de: <http://www.lasmolinas.com>

Vistas sus aplicaciones veamos las **VENTAJAS** de la fabricación aditiva sobre otros medios de producción:

► **MÁS SOSTENIBLE:** este tipo de fabricación ha demostrado ser más sostenible que las demás por diversos factores. (Malé-Alemany, 2015)

▲ En primer lugar como ya hemos visto es debido a que utiliza menos material, sólo el estrictamente necesario, y en la mayoría de los casos el sobrante se puede reutilizar en los próximos procesos. Además los materiales utilizados pueden ser reciclados o biodegradables.

▲ El proceso es único, sin necesidad de otros intermedios, herramientas o moldes (a excepción de algunos tipos de FA que requieren de un tratamiento a posteriori para mejorar su acabado o alguna otra característica), lo que también significa menor contaminación.

▲ Adiós a las grandes fábricas con numerosa maquinaria especializada en diferentes procesos. Esta tecnología por sí sola permite fabricar todas las partes del producto en el mismo proceso.

▲ Se reduce el transporte durante la fabricación ya que el proceso es único y localizado. También después de la fabricación, ya que si la tecnología es privada se elimina la necesidad de que lo fabrique un tercero en otra ubicación.

▲ Todo lo anterior se traduce en una reducción de la huella de carbono más que considerable.

► Se favorece el comercio local. Relacionado con el punto anterior, se reduce el transporte nacional e internacional, ya que un archivo digital puede viajar por todo el mundo en cuestión de segundos sin ocupar espacio ni contaminar, para ser fabricado localmente. (Malé-Alemany, 2015)

► **SIMPLIFICACIÓN DEL PROCESO Y MAYOR RAPIDEZ:** debido a que el proceso es único, el proceso es más rápido. Acorta tiempos incluso en las fases de diseño y validación del producto, y este puede ir adaptándose progresivamente a los cambios de la demanda. El proceso de producción se simplifica al cambiar varias máquinas dedicadas a diferentes tareas por solo una que realiza todas. (Sachon, 2015) No se requiere de una

gran inversión para abrir un negocio, una empresa, o una nueva actividad dentro de la misma, basta con pequeños recursos y una instalación mínima.

► **MAYOR PRECISIÓN:** proporcionada por la tecnología CNC. (Malé-Alemany, 2015)

► **LIBERACIÓN FORMAL** del proceso de producción y que por ende se extiende también al proceso de diseño. La fabricación aditiva permite crear complejas geometrías imposibles con cualquier otro proceso. Los diseñadores pueden por lo tanto desarrollar estas geometrías y estructuras complejas mediante software paramétrico para aplicarlo en sus obras, productos y proyectos que responden a muchos más factores y restricciones que de haberlos diseñado analíticamente y fabricado con métodos tradicionales.

► **PRODUCTOS OPTIMIZADOS:** además de fabricar complejas geometrías y estructuras, estas se realizan en una sola pieza sin uniones ni costuras lo que aumenta generosamente la resistencia de los mismos. Contribuye mucho también que gracias al diseño paramétrico y las posibilidades de la FA el material se distribuye sólo allí donde es necesario, creando secciones variables adaptadas a su funcionamiento estructural y al reparto de cargas.



Por ejemplo, en el taburete que vemos en las imágenes, siguiendo el sistema de Gaudí de los arcos catenarios el holandés Bram Geenen ha diseñado y fabricado su estructura mediante SLS de forma que sus finas láminas de nailon a modo de nervios dispuestos sólo allí donde son necesarios, distribuyen las cargas hasta el suelo variando su sección según los esfuerzos

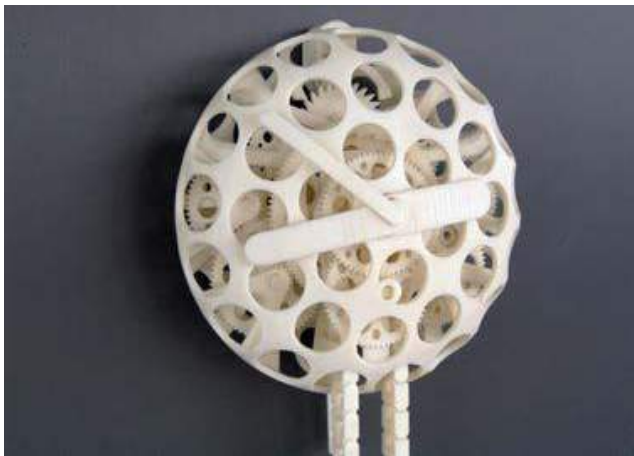
Figura 1: *Gaudí Stool*, taburete diseñado por Bram Geenen en 2009. Obtenido de: [www.dezeen.com](http://www.dezeen.com)

de cada punto. El caparazón está realizado en fibra de carbono y se apoya en la estructura descrita.

*"Se pueden fabricar productos diseñados para una determinada función y con condiciones a medida, como el aligeramiento de peso, resistencia y/o costes. Mediante procesos de fabricación aditiva es posible obtener piezas con entramados internos y con densidades a la carta".<sup>45</sup>*

► La fabricación partiendo desde cero tiene otra serie de ventajas sobre otras tecnologías que añaden o sustraen material (Malé-Aleman, 2015):

▲ **FABRICACIÓN SIN ENSAMBLAJE.** Los procesos que superponen capas (secciones) permiten fabricar interior y exterior de un producto de una vez. Es decir se puede crear mecanismos funcionales dentro de una envolvente cerrada en un solo proceso. Como por ejemplo podemos ver en la imagen, el reloj de pared *3D Printed Clock*, se imprimieron a la vez mediante SLS todos los engranajes y piezas necesarias y es funcional nada más salir de la "impresora" sin ninguna acción o elemento adicional.



▲ **INSPIRACIÓN BIOLÓGICA:** fabricar interior y exterior a la vez puede también realizarse de manera heterogénea con diferentes características en cada elemento. Por ejemplo hay numerosos proyectos que buscan imitar características de la naturaleza como son las de los huesos, duros y resistentes por fuera, ligeros y esponjosos en su interior. O como los capullos de los gusanos de seda que utilizando el mismo material pero

variando su distribución consiguen que el capullo sea suave por dentro pero rígido al exterior.

▲ **FABRICACIÓN MULTIMATERIAL:** las tecnologías que trabajan con varios materiales a la vez (escasas en la actualidad pero que veremos dentro de no mucho) permiten generar de una vez elementos heterogéneos imposibles de fabricar de otra manera, que poseen características optimizadas.

▲ **INTEGRACIÓN DE FUNCIONES:** todas estas novedades aplicadas juntas permitirán la fabricación de objetos diseñados desde el interior, que ahorren espacio integrando más funciones y que junto al trabajo simultáneo con varios materiales como por ejemplo metales conductores, permitirá integrar los circuitos de un dispositivo en su carcasa. Un ejemplo más claro es el de los muros de una vivienda fabricados con esta tecnología, en los que se imprimirán las diferentes capas de estructura, aislamiento y acabados, así como las instalaciones eléctricas y otras canalizaciones embebidas en su interior todo al mismo tiempo.

► **CUSTOMIZACIÓN MASIVA:** el lote de productos puede ser muy reducido sin que esto suponga un sobrecoste en la fabricación. Es decir, no presenta economías de escala, o lo que es lo mismo, la cantidad de la producción no interfiere en el coste de la unidad. Esto permite que los productos puedan ser modificados y personalizados para adaptarse a las necesidades y voluntades de cada usuario. (Rodríguez Gómez, Cesvimap 99, 2017)

► **REDUCCIÓN DE COSTES:** todas las ventajas anteriores afectan directamente a la reducción de costes: proceso y maquinaria única, posibilidad de producir lotes pequeños, uso de material estrictamente necesario y reducción de residuos, eliminación de procesos intermedios, de logística y transporte, de financiación de existencias y de mano de obra.

**Figura 1:** Reloj de pared *3D Printed Clock* (2010) de Peter Schmitt y Robert Swartz. Obtenido de: <http://robotic.media.mit.edu/wp-content/uploads/sites/14/2013/10/Portfolio-Peter-Schmitt.pdf>

<sup>45</sup> Rodríguez Gómez, N. (Marzo de 2017). Cevimap 99. En *3 Dimensiones. Impresión 3d: la futura fabricación del recambio*, 12.

Ahora que ya tenemos nociones suficientes sobre la fabricación aditiva, para rematar este apartado antes de entrar en el sector de la arquitectura sería interesante ver un par de ejemplos en el que bien podemos visualizar las posibilidades y ventajas de esta tecnología. Valga de ejemplo:

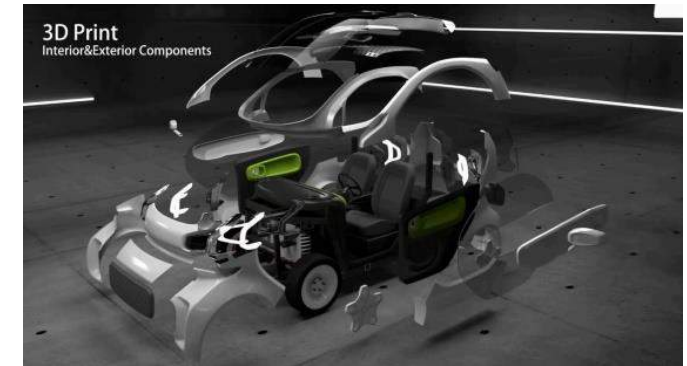
>>> **LSEV:** se trata de un automóvil biplaza totalmente eléctrico con una autonomía de 150km, diseñado por la *startup* italiana XEV y fabricado por la empresa china Polymaker. Lo interesante es que está producido casi en su totalidad mediante FA (a excepción del chasis y los neumáticos, las ventanillas y los asientos). Y no debemos centrar la atención simplemente en este hecho, sino en los múltiples beneficios y cambios revolucionarios que esto proporcionará al sector.

Se espera que se comercialice en 2019 y con ello va a revolucionar la industria automovilística debido al uso pionero de FA y la reducción de costes que esta propicia. Frente a las 2.000 piezas aproximadamente que componen un coche convencional, el LSEV se conforma solamente por 57 piezas, pesa apenas unos 450kg y se fabrica en su totalidad en unas burlescas 3 horas, lo que todo junto reduce el coste un 70% frente a sus rivales y que se traduce en un precio de entre ocho y diez mil euros, según los extras añadidos.

Por último mencionar que los pedidos (ya hay más de 7.000) se realizan mediante contacto directo entre el cliente y la fábrica, para beneficiarse de las ventajas de esta tecnología que permite la customización y personalización, dentro de unos márgenes. Entre sus virtudes también está la de corregir errores muy fácilmente en cada impresión.



Figuras 1 y 2: LSEV, coche eléctrico producido por XEV y Polymaker, mayormente mediante FA. Obtenidas de: [www.autopista.es](http://www.autopista.es)



Anteriormente casi todas las grandes firmas automovilísticas han adoptado esta tecnología para fabricar algunas piezas. Incluso en 2014, Local Motors, ORNL y Cincinnati Inc. imprimieron el primer coche eléctrico, pero que no llegó a salir a las carreteras pues no cumplía los requisitos de seguridad para un vehículo. De forma que el LSEV se proclama como el primer automóvil que se fabrica en serie a gran escala mediante fabricación aditiva.

Este vehículo muestra una pequeña parte del *Additive Manufacturing* como medio de producción, pues chasis, neumáticos asientos y ventanillas han tenido que ser producidos por medios tradicionales. Pero la realidad es que como ya estamos acostumbrados, en estos años la evolución de las tecnologías corre más rápido de lo que podemos asimilar. Y este coche es sólo uno de los primeros ejemplos. En los sucesivos se irán aplicando los avances que hasta la actualidad se han ido desarrollando. A medida que evolucione la impresión multi-material y el trabajo sincronizado entre varias máquinas que permitan conformar tanto las partes estructurales y funcionales metálicas, así como la carrocería y los acabados, a medida que la impresión con materiales conductores permitan integrar toda la instalación tecnológica durante el proceso, etc. se podrán fabricar en un único proceso aditivo vehículos completos.

>>> **RAPID-PACK:** a la impresión multi-material todavía le queda camino para terminar de desarrollarse. Pero con este asiento para coche, diseñado por Max Kandler en 2008, podemos ver otra de las posibilidades de trabajo con un solo material. Y es que variando la densidad y los patrones del material depositado, ha conseguido fabricar un asiento completo con diferentes comportamientos según la zona. Las partes estructurales como el respaldo son rígidas y robustas. Por el contrario el relleno se hace



con una microestructura que permite aligerar su propio peso a la vez que resiste el peso del usuario. En el asiento se presentan una serie de “muelles” que aportan flexibilidad y confort. Además, como no iba a ser menos, el asiento es customizable al peso, altura, etc. del usuario.

Se ha fabricado enteramente mediante SLS en un único proceso y repetimos, mono-material, todas sus partes están compuestas por nailon. Esto nos hace vislumbrar las posibilidades que puede obtener la FA de un solo material, inalcanzables con cualquier otra tecnología presente. Aplicable a cualquier otro sector, como la arquitectura, ahora sabemos que podremos fabricar estructuras, pero también acabados, cerramientos textiles, muebles... cualquier cosa que podamos imaginar. (Malé-Aleman, 2015)



# Ventajas, Aplicaciones y Ejemplos en la Arquitectura y la Construcción Digital

## 5.3.1

En la arquitectura y la construcción la entrada del *Additive Manufacturing* está resultando más lenta que en el resto de sectores, al igual que hemos visto con la VR, los drones, la robótica, la colaboración e información masiva, y cualquier otra innovación tecnológica. A diferencia de los demás sectores con grandes presupuestos, y posibilidad de experimentación y aplicación intensiva de la FA, que han incrementado su tasa de productividad un 200%, el sector de la construcción por el contrario apenas lo ha aumentado, debido a que no ha adoptado los preceptos de la Industria 4.0. Aquí, los procesos son más lentos y poseen grandes riesgos económicos y de seguridad.

Las nuevas generaciones de arquitectos más familiarizadas con las tecnologías emergentes, carecen de los medios y recursos para implementar el uso de la FA en la actualidad. Es por esto que por el momento a pesar de que se ha estado experimentando incesantemente en las últimas décadas, esta tecnología aún no ha superado esta fase de investigación. La iremos superando a medida que vayamos incorporando el cambio de paradigma en la construcción, aceptando la digitalización y la industrialización de los procesos constructivos; a medida que dejemos de intentar sobrevivir con metodologías y tecnologías anteriores a la crisis, y aceptemos las tendencias digitales como el motor que nos impulsará al desarrollo y prosperidad de la edificación.

La FABRICACIÓN DIGITAL a manos de la tecnología computacional, y más concretamente, de la robótica cambió totalmente la industria de la fabricación. Convirtió al inventor y al diseñador en emprendedor y creador. Convirtió a las máquinas y a los materiales no confiables en confiables. Ha permitido que los datos virtuales se conviertan en objetos físicos a través de máquinas controladas por códigos discretos. **La materialización de la realidad virtual en el mundo físico.**

Si bien la FABRICACIÓN ADITIVA es una tecnología de la fabricación digital, su aplicación en la construcción convierte a esta en una tecnología propia de la CONSTRUCCIÓN DIGITAL o CONSTRUCCIÓN 4.0. No es más que otro paso más en la adaptación del sector de la construcción a la era digital en la que vivimos.

Una casa "impresa en 3D" es una materialización directa, de un modelo virtual (CAD) a través de la robótica mediante un lenguaje propio o código numérico (CAM). Eso es la FA aplicada a la edificación. Al igual que su aplicación en otros sectores nos permite materializar e implementar nuevos diseños, geometrías y estructuras imposibles anteriormente, transformando consigo el proceso de diseño, tiene a misma repercusión en el sector de la edificación.

Las **VENTAJAS** de la fabricación aditiva aplicada en estos sectores son exactamente las mismas que hemos visto anteriormente propias de esta tecnología, así que no vamos a repetirlas nuevamente y solo mencionaremos algunas más específicas para este caso:

► **CONSTRUCCIÓN DIGITAL:** ruptura de la brecha entre la arquitectura digital y su materialización. Del mismo modo que la fabricación digital rompió la barrera entre el diseño digital y la fabricación, la construcción 4.0 está consiguiendo lo que no habíamos conseguido nunca. Y no solo con la arquitectura digital sino también con la arquitectura tradicional, en las que el diseño y la construcción de un edificio son procesos muy distintos y alejados el uno del otro. La construcción digital convierte al arquitecto y al diseñador en constructor y fabricante, permite transformar ambos procesos en prácticamente uno, de la misma manera en que una impresora transforma el estudio de un escritor en una imprenta libre, que YouTube convierte a un profesor en un divulgador de conocimiento a nivel mundial; o que los *Smart Phones* han permitido a sus usuarios convertirse en *influencers*<sup>46</sup>. Las nuevas tecnologías generan nuevas posibilidades y nuevos trabajos, y se convierten en herramientas indispensables al

<sup>46</sup> Un "influencer" es una persona que se ha convertido en una personalidad pública a través del uso de redes sociales u otros sitios web en Internet.

Tienen gran alcance mundial y capacidad de movilización de masas, es por ello que muchas marcas se interesan en ellos para patrocinarles a cambio de publicidad. Un influencer posee credibilidad sobre algún tema, cierta pericia en alguna actividad o practica algún estilo de vida que atrae grandes cantidades de seguidores. El nacimiento de los influencers ha dejado a gran parte de la sociedad boquiabierto, pero poco a poco se ha consolidado como un trabajo más al igual que el de un modelo o un periodista. Incluso y debido a su repercusión, está surgiendo formación profesional para poder dedicarte profesionalmente a ello e influir a la sociedad positivamente.

servicio del desarrollo y la evolución, tanto para humanos, animales, como también para el planeta; capaces de romper barreras naturales y de unir e incluir a colectivos y sociedades. La Aldea Global solo es posible gracias al desarrollo tecnológico.

La construcción digital eliminará algunos puestos de trabajo como la mano de obra barata sin formación, pero generará muchos otros nuevos puestos para desarrollar estas tecnologías, programarlas y controlarlas. Permitirá que personas con alguna discapacidad que antes no podían entrar en una obra, puedan participar en el proceso edificatorio.

La arquitectura digital diseñada mediante complejos cálculos computacionales paramétricos y su consecuente nueva complejidad formal de tediosa construcción con los medios tradicionales, son ahora fácilmente "imprimibles" en alta resolución de detalle.

► **NUEVO LENGUAJE FORMAL:** el diseño y la construcción se liberan de las limitaciones impuestas por los medios tradicionales. Por ejemplo construir formas esféricas resulta una labor muy tediosa por no decir imposible en muchas ocasiones, a pesar de que es la forma geométrica óptima para las estructuras. La FA nos permite retomar estas geometrías y otras muchas ignoradas hasta ahora y olvidar las restricciones que la construcción tradicional nos imponía, o acometer otras soluciones paramétricas de forma más sencilla. Permite pensar la arquitectura de forma continua, sin uniones ni costuras, sin diferenciación entre estructura y cerramiento, una arquitectura en la que los vacíos y los rellenos también pueden ser diseñados para aportar o integrar alguna función. Los software de modelado y CAD-CAM más modernos permiten a los arquitectos diseñar y fabricar geometrías complejas, optimizando su forma, su estructura, la distribución del material, así como la densidad y estructura interna de este, inspirándose en la naturaleza ósea de los vertebrados, en la estructura de los radiolarios<sup>47</sup>, en los *diagramas de Voronoi*<sup>48</sup> o en la estructura de los diamantes por ejemplo. "¿Por qué no modelar piezas cuya estructura resistente sea un panal de abejas? ¿Por qué no reforzar las secciones de las estructuras horizontales sólo en los puntos en los que es realmente necesario?" (Picado, 2017). El añadido de capas de material para la producción de un elemento es el mismo proceso de construcción de algunos procesos de la naturaleza, y poner nuestras miradas sobre su sabio funcionamiento está permitiendo

que la arquitectura evolucione un poco más hacia la disposición inteligente de material, solo allí donde es necesario y con la sección necesaria de forma que al producto ni le sobra ni le falta nada, tiene lo justo para ser funcional.

Está claro, el *Additive Manufacturing* va a suponer un antes y un después en la forma de concebir la arquitectura, desde dentro hacia fuera.

► **MULTIFUNCIÓN Y ZERO-WASTE MANUFACTURING:** los objetos, los dispositivos e incluso la arquitectura cada día integran más funciones adaptándose a los avances cibernéticos y a nuestras nuevas exigencias de confort y sostenibilidad. La fabricación aditiva tiene mucho que aportar aquí. Disponemos de dos formas de ejecutarla, la más desarrollada y actual, la fabricación MONOMATERIAL, y la fabricación MULTIMATERIAL con la que todavía se está experimentando pero nos anuncia un futuro muy prometedor. Ambas dos satisfacen todos los requisitos de los que estamos hablando. Participan en la filosofía del *Zero-Waste Manufacturing* o ZWM (fabricación sin residuos) que evita el abandono de residuos mediante el uso de materiales reciclados como hormigones y ladrillos, así como materiales que no los generen como los ecológicos bioplásticos o los sostenibles adobes. El ZWM también busca la fabricación sostenible y la no generación y optimización de residuos en el proceso, acción con la que la FA es compatible gracias a su reducción o supresión total utilizando solamente el material necesario, y en caso de haber material sobrante este puede ser reutilizado en los sucesivos procesos.

La materialidad adquiere una nueva dimensión, siempre en búsqueda de la multifunción. En las fabricaciones MONOMATERIALES los distintos materiales para conseguir las distintas funciones son sustituidos por uno solo, y las distintas funcionalidades se consiguen mediante la variación de la densidad y el patrón utilizado análogamente al funcionamiento de los organismos biológicos. Como por ejemplo en el asiento de coche Rapid-Pak que vimos, el mismo material hace las veces de estructura, relleno, amortiguación y acabado. O arquitecturalmente, se puede citar un tabique conformado con diferentes elementos, montantes para la estructura, lana de roca para el aislamiento, paneles de yeso laminado para el cerramiento, etc. Todas esas funciones pasan a ser realizadas por el mismo material mediante la diferenciación y el tratamiento continuo del mismo. Además el diseño de ese paramento se puede orientar hacia un mejor

<sup>47</sup> Los radiolarios son protozoos marinos de la clase de los Rizópodos, dotados de un esqueleto formado por finísimas agujas o varillas silíceas, que forman a veces dibujos semejantes a un encaje. (Malé-Aleman, 2015, pág. 90)

<sup>48</sup> La Teselación o Diagramas de Voronoi son unas construcciones geométricas matemáticas presentes en la naturaleza (en las plantas, en aglomeraciones de pompas de jabón, en la hipodermis, las manchas de las jirafas, en la forma que se erosionan y agrietan los suelos áridos, etc.) muy utilizada hoy en día en un sinnúmero de aplicaciones dentro de la ingeniería, arquitectura, urbanismo, computación, medicina, estadística, matemáticas, etc. Debe su nombre al matemático ruso Georgy Voronoi y es el método de interpolación más simple basado en la distancia euclidiana, que básicamente se trata de una subdivisión en regiones de una superficie o volumen según X puntos o parámetros, en las que cualquier punto de sus perímetros equidista de los puntos o parámetros que han quedado contenidos en su interior.

rendimiento del conjunto y que elementos como la cámara de aire, puedan canalizarlo además de albergar otras instalaciones y responder a funciones más complejas. Otro ejemplo de integración de nuevas funciones es visible cuando la trama de deposición del material permite confeccionar textiles que en arquitectura son útiles, aparte de para revestir mobiliario y paramentos, para realizar cerramientos ligeros y flexibles cuyo diseño permite responder concretamente ante necesidades de impermeabilización, opacidad, transpiración, etc.

Por otro lado, cuando se desarrolle y llevemos a la práctica las fabricaciones MULTIMATERIALES con éxito podremos beneficiarnos de la diferenciación de material para conseguir la multifunción de los elementos, y podremos culminar la integración de **todas** las funciones gracias a la interesante adición de por ejemplo materiales conductores. De esta manera conseguiremos en un único proceso fabricar estructuras, paramentos y en general arquitecturas híbridas y multifuncionales, no solo integrando las instalaciones eléctricas convencionales sino integrando la electrónica sistemáticamente en nuevos lugares que nos permitan alcanzar la arquitectura inteligente. Imaginemos por un momento una casa con electrónica integrada, capaz de modificar automáticamente su nivel de cerramiento, ventilación y permeabilidad dependiendo del clima exterior y las condiciones interiores. O un edificio capaz de “comunicarnos” su actividad estructural, la avería de algún cerramiento o cualquier otra anomalía.

► **PERSONALIZACIÓN MASIVA:** la personalización de la arquitectura tiene muchos alcances. De la misma manera que en otros sectores la FA permite adquirir un producto prediseñado y adaptarlo a las necesidades y gustos del usuario, en la arquitectura permitirá que sus propietarios varíen dentro de unos márgenes el diseño original del arquitecto. Adiós a las urbanizaciones repetitivas y a los bloques de viviendas donde todas son iguales.

La personalización masiva como superación de los límites impuestos por la producción industrial en masa, también afecta a la arquitectura “impresa” en que a la máquina le da igual fabricar por ejemplo, una fachada entera recta y vertical que con un diseño paramétrico que varía en toda su extensión.

En las rehabilitaciones y obras de conservación las ventajas son las de poder fabricar piezas y elementos para complementar o

reemplazar a otros dañados, o construir arquitecturas anexas que encajen perfectamente con la existente.

La fabricación aditiva y su ventaja de personalización y producción en series cortas sin influir en los costos permiten a los arquitectos innovar en el sector diseñando y fabricando sus propias soluciones constructivas, aunque no estén catalogadas o disponibles en el mercado. Incluso les permite fabricar piezas deterioradas ya descatalogadas en caso de necesidad.

► **OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO EDIFICATORIO Y REDUCCIÓN DE COSTES:** este tipo de edificación se ve beneficiada de todas las ventajas propias de la fabricación digital: todos los procesos automatizados y mecanizados quedan monitoreados por completo lo que permite realizar controles de calidad en cada capa de material añadida; consecuencia de este control se reducen los defectos en la construcción, aumenta la eficiencia y la seguridad; ahorro de tiempo en el proceso edificatorio bastante significativo; un mayor control continuo de los costos en todas las fases, que permite dar presupuestos más ajustados, cerrados y concretos desde un principio.

La reducción de los costos viene de la mano de muchos factores, como la reducción de material y residuos, de la mano de obra y el transporte, de los tiempos... que quizás permitan solucionar parte del problema de la vivienda digna y asequible a nivel mundial. Aunque hoy en día en la arquitectura del primer mundo es más normal sacrificar un poco el precio a favor de la mejora de la sostenibilidad en los materiales, en el proceso y en el producto., así como de acelerar el transcurso. No se trata de hacer el proyecto más barato, sino el mejor posible.

La reducción de los tiempos también es debida a muchos de los factores anteriores, pero el más importante es que una máquina o robot, puede trabajar continuamente sin descanso, con una supervisión humana mínima.

La inversión inicial necesaria para esta tecnología se ve ampliamente superada por los numerosos beneficios que aporta en todos los ámbitos.

► **REDUCCIÓN DE LAS HUELLAS:** todas estas ventajas afectan positiva y directamente en la reducción de las huellas: huella de CARBONO -emisiones de gases de efecto invernadero- y huella AMBIENTAL o ECOLÓGICA -consumos de materia y energía frente a la capacidad de la Tierra para regenerarlas-. Por ejemplo, el hormigón (cemento, arena, agua y grava) es uno de los materiales

más utilizados en la construcción y cuya producción (cemento) es uno de los mayores emisores de CO<sub>2</sub> mundial. El detrimento de su consumo en favor de otros materiales sostenibles y ecológicos sin duda ayudará a reducir ambas huellas y a contribuir en la protección del medioambiente.

A continuación vamos a señalar las posibles y actuales **APLICACIONES** de la fabricación aditiva en los sectores de la arquitectura y la construcción con algunos **EJEMPLOS**:

► **MAQUETAS Y PROTOTIPOS**: en un proyecto, tanto en su proceso de diseño como en la visualización posterior, las maquetas son un elemento muy importante para su representación tridimensional. En ese primer proceso las maquetas conceptuales son imprescindibles para concebir los espacios y volumetrías. Son maquetas sencillas sobre las que se realizarán modificaciones para adaptar los diseños a continuas mejoras.

A medida que el proceso avanza lo hacen también las maquetas, que cada vez se convierten en más y más complejas, con más detalle. Incluso es importante realizar maquetas de algún espacio o algún elemento en concreto a mayor escala, para valorar y estudiar su funcionamiento estructural, sus visuales o el impacto de la luz.

Concluido el proyecto, lo tradicional es elaborar una maqueta a escala, de calidad y con gran detalle para que se pueda obtener el visto bueno del cliente y de todas las partes interesadas.

Como podemos ver, la fabricación de maquetas es un ámbito artesanal muy importante en la arquitectura, que requiere gran tiempo, dedicación y consumo de materiales. La llegada del dibujo asistido, las representaciones virtuales súper realistas, e incluso las realidades virtual y aumentada, aportan un valor añadido a los proyectos, pero que no sustituyen a la realidad física de una maqueta, que nos permite verla, tocarla, cogerla y manipularla. ¿Por qué no adaptar también este ámbito a la actualidad digital del mismo modo en que los arquitectos aceptaron beneficios del dibujo asistido por ordenador?

Ya conocemos los numerosos tipos de fabricación aditiva disponibles, con distintas características y materialidades. Su uso a lo largo de todo el proceso de diseño nos permitirá tener una

máquina de Prototipado Rápido, con el que fabricar continuas maquetas sobre las que trabajar y realizar cambios. Realizar maquetas es un trabajo lento y costoso, por eso muchas veces no se realizan tantas como se desearía y con un nivel de detalle mínimo. La FA nos permite obtener maquetas a voluntad en cuestión de horas. Y finalmente podremos fabricar una maqueta definitiva, con un nivel de detalle imposible de conseguir mediante trabajo manual, sobretodo en escalas reducidas. En resumen, el uso de FA, al igual que de VR y otras tecnologías, **acelera y dinamiza los procesos de diseño y fabricación, liberando a los arquitectos para que puedan centrar todo su tiempo y esfuerzo en las partes más importantes, en invertir su escaso tiempo en hacer de su proyecto un proyecto mejor.**



>>> Para ejemplificar mejor todo esto me gustaría hablar nuevamente del **TEMPLO EXPIATORIO DE LA SAGRADA FAMILIA** en Barcelona, donde el empleo de esta tecnología es diario y de gran utilidad.

Gaudí no era muy de dibujar, sobretodo trabajaba con maquetas de yeso. Durante la Guerra Civil los planos se quemaron, y las maquetas por ser de yeso sobrevivieron al fuego pero fueron parcialmente destruidas. Una vez reconstruidas posteriormente, estas maquetas han sido las responsables de permitir la evolución de las obras respetando los diseños del arquitecto. Desde entonces se ha continuado su modelo de trabajo sobre maquetas, que permiten la toma de decisiones estéticas, de composición, e incluso de montaje, ya que el ensamblaje de una pieza a escala reducida será el mismo que a escala real. Pero es desde el año 2000, cuando que este proceso se modernizó con

la implementación de impresoras de sólidos. Máquinas que continuando con el trabajo ideado por Gaudí, de manera similar a como él lo hacía, con maquetas de yeso fabricadas por SLS. Ésta tecnología ha ayudado enormemente a acelerar el proceso de ejecución de maquetas que sirven para desarrollar y confirmar el proyecto, reduciendo los tiempos de producción y construcción de los elementos.



Al igual que el empleo de FA, las obras de La Sagrada Familia emplean las tecnologías más punteras en control numérico por computación de las que disponemos hoy en día debido a las exigencias geométricas del proyecto que piden llevar al máximo el uso de la fabricación digital, así como potentes software informáticos empleados normalmente en las industrias de automoción y aeronáutica.

Como dice Jordi Coll, actual arquitecto jefe de obras: *“si Gaudí estuviera vivo hoy, habría traído la tecnología 3D a su máximo exponente, ya que gran parte de su obra ya fue concebida tridimensionalmente.”*



Figuras 1 y 2: Maquetas de La Sagrada Familia realizadas en yeso mediante fabricación aditiva. Obtenidas personalmente.

Figura 3: Taller de modelistas en La Sagrada Familia con impresoras de sólidos. Obtenida personalmente.

Figura 4: En el mismo taller, a la izquierda podemos observar una maqueta con partes realizadas en yeso mediante FA con partes incorporadas de la maqueta original de Gaudí destruida en la Guerra Civil. Obtenida de: [www.eldiario.es](http://www.eldiario.es)



#### ► IMPRESIÓN DE ELEMENTOS O COMPONENTES PREFABRICADOS (OFF-SITE) :

similar a los componentes arquitectónicos prefabricados, en la que algunos elementos son producidos individualmente en fábrica y posteriormente llevados a la obra, listos para ser colocados y ensamblados, siendo totalmente funcionales desde el primer momento. O en su caso, similar a las casas prefabricadas, producidas totalmente en fábrica, listas para ser transportadas y emplazadas en el lugar deseado y entrar a vivir.

La FA aplicada a componentes prefabricados se ve beneficiada de las mismas condiciones de la prefabricación tradicional: dentro de una fábrica acondicionada en la que no hay que someterse a las inclemencias de la naturaleza y la meteorología, además de poder realizar un control y una supervisión de los elementos mucho más exhaustiva y eficiente. La maquinaria no tiene la necesidad de ser transportada, por lo que puede ser más simple, más grande y tener una ubicación fija.

Sus aplicaciones abarcarían desde la producción de pequeños elementos ensamblables a modo de “ladrillos” o “paneles” con los que construir grandes paramentos; a grandes elementos estructurales como complejos pilares o forjados completos; hasta la producción de casas prefabricadas completas. Su uso está pensado para eso, para pequeños elementos o pequeñas arquitecturas, manejables para poder ser transportadas y manipuladas.

Veamos algunos ejemplos:

>>> **BUILDING BYTES:** proyecto experimental del arquitecto holandés Brian Peters con la colaboración del centro de investigación EKWC47 en 2012, que rediseño uno de los componentes arquitectónicos más utilizados, los ladrillos cerámicos.

Realizó varios tipos de ladrillos, que fabricó con una impresora de mesa equipada con un extrusor de cerámica. El diseño de los mismos permite el ensamblaje entre ellos sin necesidad de otros materiales adhesivos y obtener construcciones de geometría variable. Además ofrecen ventajas frente a los ladrillos tradicionales como menor peso y mayor resistencia, y cuya geometría puede ser variable dependiendo de la parte del muro a la que corresponda y la tensión que deba soportar.



Su aplicación en una obra, permitiría descentralizar la producción de componentes arquitectónicos y ofrecer una alternativa de bajo coste más sostenible. *"Podría tener varias de estas máquinas trabajando simultáneamente en el sitio utilizando material prefabricado o fabricado localmente", dice. "No tiene que ser necesariamente de cerámica, podría ser concreto o cemento o cualquier mezcla de materiales de construcción".*

>>> **QUAKE COLUMN:** sin duda hay gran abundancia de ejemplos más de fabricación de componentes arquitectónicos. Similar al anterior vamos a ver otro más, pero este es interesante por su diseño que hace que las estructuras ejecutadas sean resistentes a los sismos.

Desarrollado por Emerging Objects en 2014, se inspira en la tradicional técnica de construcción inca en la que los bloques eran cortados para que encajasen perfectamente sin necesidad de mortero, cuyas esquinas redondeadas y una leve inclinación conformaban estructuras que durante los terremotos podían moverse ligeramente y se volvían a asentar sin sufrir daños. La ausencia de mortero permite que no se generen frecuencias resonantes y que la energía se disipe al no concentrarse la tensión en determinados puntos.

La columna Quake utiliza una técnica similar a la inca, pero los bloques en vez de ser macizos y pesados, aprovechando las propiedades de la FA son huecos y ligeros pero mucho más resistentes a la compresión que el concreto reforzado. También estudiaron formas para aumentar su resistencia a la tracción añadiendo en su composición fibras como refuerzo. Además presentan un diseño paramétrico y unos ensamblajes más complejos. Estos bloques están numerados para permitir su fácil reconocimiento y ubicación debido a que pueden ser todos diferentes unos de otros. También tienen asas para su fácil manejo.

De esta manera la fabricación aditiva demuestra que nuestras técnicas tradicionales de construcción son susceptibles de ser ampliamente mejoradas.



Figuras 1 y 2: Quake Column, Emerging Objects, 2014.  
Columna sísmicamente resistente conformada por bloques paramétricos ensamblados sin mortero realizados mediante FA. Obtenidas de: <http://www.emergingobjects.com>

Figuras 3-5: 3D PrintHousing 05, CLS Archittetti + Arup, 2018. Casa construida con módulos producidos por FA. Obtenidas de: <https://www.dezeen.com>

»»»3D PRINTHOUSING 05: El estudio de arquitectura CLS Archittetti y la firma de ingeniería Arup en 2018 ha exhibido en la plaza de Milán Piazza Cesare Beccaria un prototipo de casa construida con módulos prefabricados aditivamente. Tras su exposición durante una semana fue desmantelada y montada de nuevo a las afueras de la ciudad para realizar sobre ella estudios de rendimiento estructural a largo plazo. Sólo es un prototipo, pero trabajan para construir finalmente una casa real cuya longevidad pase de semanas a décadas.

Los módulos están fabricados con hormigón reciclado que cura en 5 minutos proporcionado por Italcementi. Se busca que el sector se aleje de la mentalidad de "fabricar, usar y desechar". Además de reducir los desperdicios, se puede volver a utilizar al final de su vida útil. Para ello utilizaron un brazo robótico compacto

y móvil, diseñado por Cybe Construction, una empresa de impresión 3D de los Países Bajos. Los módulos tomaron para su fabricación entre 60 y 90 minutos cada uno, y la totalidad de la obra tomó alrededor de una semana. Su diseño puede variar para variar su tamaño o geometría. El implemento de esta técnica podría reducir el coste del metro cuadrado de los 1.000€ a unos 200 o 300€ además de reducir extraordinariamente las horas de trabajo.



Con este ejemplo observamos como la FA puede utilizarse para fabricar algo intermedio entre pequeños bloques y muros completos como son estos módulos, o muros divididos en partes y ensamblados en obra.



>>> **LIGHTWEIGHT CONCRETE CEILING / ETH ZURICH, 2018:** en esta ocasión la FA no es utilizada para producir elementos que se utilizaran directamente en la arquitectura, sino indirectamente, para producir moldes, que permiten lograr características imposibles de lograr con otros métodos. En concreto se trata de una de las partes de la DFAB House que vimos al principio del trabajo.

Este ejemplo es una losa nervada muy ligera de 78 m<sup>2</sup>, de diseño paramétrico producido gracias a las ventajas fabricación aditiva. El material utilizado es hormigón reforzado con fibras de alto rendimiento proyectado sobre encofrados "impresos en 3D" que han tenido gran repercusión en el producto. Se fabricó *off-site* en once partes, y se ensamblaron en el lugar con la ayuda de grúas. ETH Zurich busca en este caso la innovación en un sector que produce "los mismos techos sólidos una y otra vez".



El encofrado se divide en dos partes diferentes que corresponden con las dos partes del forjado: la estructura y el cielo raso. La estructura de vigas, ortogonales, debido a su sencillez se ha realizado con moldes de madera cortada por CNC. Sin embargo el encofrado del cielo raso se realizó mediante fabricación aditiva en arenisca, que permite obtener su complejidad geométrica con

la misma sencillez que si fuese ortogonal y sin elevar por ello los costes. Sobre este molde se proyecta el hormigón, en el que las convencionales armaduras de acero son sustituidas con pequeñas fibras de acero de entre 6 y 10mm. Finalmente las vigas se ensamblan y postesan con tendones a través de pasos incluidos en el diseño.



Como ellos dicen, la losa no fue dibujada sino programada, combinando la resistencia del hormigón y la libertad de diseño de la FA. Ha sido diseñada computacionalmente para tener un funcionamiento estructural óptimo, con un 70% menos del peso de una losa convencional y utilizando la mínima cantidad de material necesaria, un 75% menos. La losa es muy delgada, lo máximo posible, tan solo 1.5 cm en algunos puntos (en un edificio de muchas alturas supondría ganar pisos adicionales), y en su diseño se incluyen los sistemas de iluminación y rociadores.

No hace falta hablar nuevamente de las ventajas de sostenibilidad (que ya hemos visto anteriormente) que esto supone para el sector de la construcción y la arquitectura.

>>> **POST IN AIX-EN-PROVENCE:** y por último un ejemplo de FA utilizada para producir encofrados. En un patio preescolar en Aix-en-Provence, la empresa francesa XtreeE ha fabricado en 2015 una estructura o columna orgánica de hormigón reforzado de 4m

**Figuras 1 y 2:** *Lightweight Concrete Ceiling*, losa de hormigón reforzado fabricada por ETH Zurich en 2018. Su encofrado se realizó mediante FA. Obtenidas de: <http://dbt.arch.ethz.ch/project/smart-slab/>

**Figuras 3 y 4:** *Lightweight Concrete Ceiling*, en este caso observamos el encofrado "impreso en 3D" y el posterior pulverizado de hormigón reforzado con fibras de acero. Obtenidas de: <http://dbt.arch.ethz.ch/project/smart-slab/>

de altura diseñada por Marc Dalibard. El encofrado se fabricó en módulos con un hormigón especial mediante un brazo robótico que después fueron ensamblados y rellenos en el sitio. Finalmente la estructura fue sometida a un proceso de pulido para dejar las superficies lisas.

XtreeE ha realizado numerosos proyectos con FA, desde mobiliario y esculturas a muros y arquetas, incluso arrecifes de coral.



Figuras 1-3: Post in Aix-En-Provence, XtreeE + Marc Dalibard, 2015. Obtenidas de: <https://www.plataformaarquitectura.cl>

### ► FABRICACIÓN ADITIVA APLICADA A LA CONSTRUCCIÓN (In-Situ):

también denominada 3DcP (3D Construction Printing) o LSAM (Fabricación Aditiva a Gran Escala en inglés). Interesante campo de investigación, que poco a poco está abandonando este ámbito de experimentación y nos está dando algún ejemplo real de su verdadero potencial. Sin querer repetir una vez más la creciente competitividad del mundo en el que vivimos y la necesidad de que los sectores de la arquitectura y la construcción se adapten a ella, la adopción de esta tecnología será una magnífica manera para conseguirlo. Podríamos decir que la FA reúne todos casi los avances tecnológicos en uno solo: digitalización, automatización y CNC. Además reúne todas las ventajas que ya hemos descrito frente a los medios de producción tradicionales.

A parte de su aplicación para producir arquitectura con lejanas fechas de caducidad como la que se viene construyendo habitualmente, otra de sus aplicaciones es en la arquitectura de emergencia, debido a su increíble rapidez y reducido coste, además de su capacidad para trabajar con materiales autóctonos, la convierten en una buena alternativa para construir hogares en lugares afectados por desastres naturales, campamentos de refugiados, etc.

Construir una vivienda es un proceso largo muy costoso, sin embargo esta nueva forma de construcción reduce el transcurso de meses a días o incluso horas, reduce la cantidad de material utilizado, la necesidad de transportarlo y reduce la mano de obra al mínimo, sólo se necesita la máquina y alguien para controlarla y supervisarla.

Los materiales utilizados en este sector, por lo general suele ser cualquier tipo de material pastoso extruido a través de algún tipo de cabezal, como si de una manga pastelera o una churrera se tratase. Este material tiene que tener la suficiente consistencia para no derrumbarse o desintegrarse sobre su propio peso, y la capacidad para fraguarse con cierta rapidez. Lo más común son los concretos o morteros reforzados con fibras y características de resistencia y fraguado optimizadas, o las pastas barrosas o adobes compuestos por arcillas y materiales extraídos del mismo suelo sobre el que se va a construir, lo que se traduce en una construcción mucho más sostenible, ecológica y que no requiere de transportes. Aunque como veremos el abanico de materiales utilizados es muy amplio.

Solo mencionar aunque resulte obvio, que lo verdaderamente interesante de esta aplicación, aunque podemos decir que todavía está en fase de experimentación y por el momento tenemos muy pocos ejemplos, es su condición *in-situ*, "imprimir" arquitectura directamente en el lugar. Análogamente al uso de los drones en la obra, que supone la migración de la fabricación digital desde la fábrica directamente al lugar de construcción, lo está haciendo la fabricación aditiva. Para ello existen dos corrientes distintas pero similares en su concepción:

- En primer lugar se trata de las "impresoras XL 3D" por llamarlo de algún modo. Su concepto es originario de las "impresoras 3D" habituales, tradicionalmente con tamaños de escritorio, o más grandes en el caso de las industriales. En este caso la escala es todavía mayor para poder adaptarse a la escala de la arquitectura y permitir imprimir una casa por ejemplo. Lo más común, son instalaciones de **grandes pórticos**, dentro de los cuales se genera la arquitectura mediante cabezales extrusores controlados computacionalmente mediante cables o sistemas hidráulicos. Si bien este tipo se está experimentando generosamente como veremos a continuación, no es viable para arquitecturas más grandes. Si queremos fabricar un edificio grande no podemos disponer de una impresora tan grande como él. **El tamaño de la arquitectura se ve limitada al tamaño del pórtico**, de la misma manera que un objeto impreso en 3D se ve limitado al tamaño de la cuba donde es generado. Por eso nació la siguiente corriente o tipología.

- En segundo lugar, y desarrollado para romper esa limitación de escala, surgen las "impresoras móviles". En esta ocasión podríamos decir que sus ventajas son las mismas que de las que hablamos en el caso de los drones: **la escala de la maquinaria es menor e independiente de la escala arquitectónica**. Una pequeña máquina puede producir elementos sobradamente superiores a ella, gracias a su condición móvil. Lo más habitual para lograrlo, son pórticos similares a los primeros pero con capacidad para desplazarse mediante raíles en una dirección (aunque esto limita a que el producto solo pueda crecer linealmente); brazos robóticos sobre raíles, ruedas o algún otro medio de desplazamiento; y por último pequeñas "impresoras" o robots alimentados por un sistema umbilical con total autonomía de desplazamiento en el espacio, que por lo general no trabajan individualmente sino en

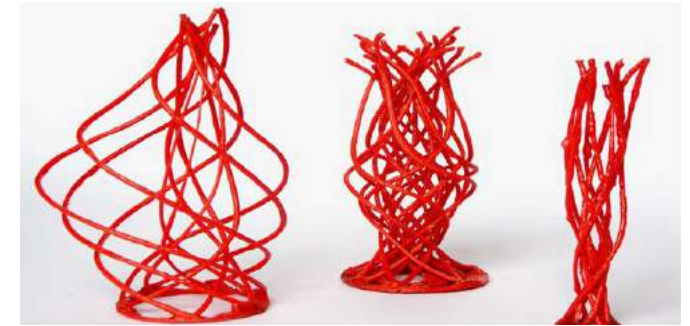
equipo a modo de enjambre, cada uno centrado en una parte o en una actividad distinta.

Resulta imposible definir detalladamente sus posibles aplicaciones, pues existen tantas como imaginación quiera brindarle cada uno. La FA no deja de ser una forma de añadir material de forma controlada computacionalmente, y puede variar desde el mecanismo utilizado (brazo robótico, sistema de cables, pórticos, etc.), a la forma de añadir el material (cabezales de chorro de tinta XL, boquillas extrusoras variadas, cabezales capaces de suministrar y soldar metal o fundir plástico en el acto, etc.) hasta el tipo de material utilizado (plásticos, metales, concretos, arcillas, adobes, yesos, sales...).

Por ello es mucho mejor que veamos unos cuantos ejemplos de prototipos así como de ejemplos reales construidos:

>>> **FABbots**: en primer lugar quiero hablar brevemente de la magnífica tesis doctoral (muy presente en la bibliografía) realizada por Marta Malé-Aleman, sobre la fabricación aditiva en la arquitectura. En ella realizó entre los años 2008 y 2012 una investigación, los *FABbots*, con alumnos de las escuelas de AA (Londres DRL) y el IAAC (Cataluña), partiendo de la premisa de desarrollar nuevos software para crear y manejar nuevas plataformas de diseño y fabricación digital, así como nuevos materiales que den lugar a nuevas formas que no siguen un diseño preconcebido. Es interesante que muchos de los proyectos, investigaron procesos de fabricación aditiva multidireccional y sin capas, con materiales que no necesitan fraguarse, o con "impresiones" incluso debajo del agua. También es interesante ver como el diseño se adapta y cambia en función de las posibilidades que la tecnología, el software, el material y el medio utilizado. Pero lo más interesante todavía, es que muchos de los alumnos que participaron en estas investigaciones, son hoy en día los protagonistas de las obras y las investigaciones más emblemáticas en fabricación aditiva. Y también, muchas de las tecnologías que han emergido posteriormente están inspiradas en ellas. Los autores de algunos de los ejemplos que veremos más adelante, son algunos de estos alumnos.

No podemos pararnos a ver todos los experimentos ni entrar en detalles, de modo que sólo vamos a visualizar algunos de ellos:



>>> **CONTOUR CRAFTING (CC):** tecnología desarrollada por el iraní y Dr. Ing. Behrokh Khoshnevis en la universidad de California del Sur en la que fundó el *Center for Rapid Automated Fabrication Technologies (CRAFT)*. Él es uno de los pioneros en aplicar la FA a la construcción. La idea nació ante la necesidad de un medio de construcción rápido y económico después de que un terremoto destruyese la ciudad de Bam, Irán. Para ello se inspiró en la tradicional fabricación por capas manual autóctona, y así patentó en 2009 el *Contour Crafting (CC)* proceso automatizado CNC que extruye materiales pastosos de alto rendimiento capa a capa que supuso uno de los avances más necesarios y significativos en los últimos 50 años. Al igual que las técnicas tradicionales de construcción, la boquilla extrusora incluye paletas y cuchillos en forma de **r** que permiten aportar un acabado liso y plano al producto, a la par de comprimir el material a medida que es depositado.



Figuras 1-5: algunos de los experimentos pertenecientes a *FABbots*, investigación académica realizada en la tesis doctoral: (Malé-Aleman, 2015)

Figura 6: Ejemplo de muro de hormigón reforzado fabricado con la tecnología CC. Obtenida de: [www.architectmagazine.com](http://www.architectmagazine.com)

La escala de la tecnología abarca desde pequeñas máquinas de escritorio con las que empezó a experimentar con prototipos, a grandes pórticos móviles capaces de fabricar una casa. Su libertad formal permite fabricar superficies curvas con la misma sencillez que las superficies planas.

Sobre la tecnología inicial ha realizado numerosos experimentos en busca de la supresión del pórtico por varios robots móviles con mayor autonomía. También ha investigado en el trabajo colaborativo junto a otros procesos robóticos que por ejemplo permitan añadir en el interior de un muro, armaduras o tuberías. (Malé-Aleman, 2015)

El CC ha demostrado tener mucho potencial reduciendo los costes, la mano de obra y los tiempos, pero sobre todo automatizando y digitalizando un sector que no ha evolucionado junto a los demás. También ha servido para inspirar otras nuevas tecnologías posteriores.



Figuras 2, 3 y 4: Aplicación del *Contour Crafting* en la edificación a diferentes escalas. Obtenidas de: <http://contourcrafting.com>

Incluso en 2010 la NASA contrató a esta empresa para desarrollar proyectos de construcción en la Luna y Marte. Tal y como declara su corporación: *“La tecnología Contour Crafting tiene el potencial de construir estructuras, hábitats, laboratorios y otras instalaciones lunares y marcianas seguras, confiables y asequibles antes de la llegada de los seres humanos. Se están desarrollando sistemas de construcción Contour Crafting que explotan los recursos in situ y pueden utilizar el regolito lunar como material de construcción. Estas estructuras pueden incluir redes integradas de blindaje contra la radiación, plomería, electricidad y sensores.”*



>>> **3D PRINTED HOUSE BY APIS COR, 2016:** en este ejemplo podemos ver la primera casa habitable (38 m<sup>2</sup>) construida mediante fabricación aditiva *in-situ* (aunque coloquialmente le digan “impresa en 3D”). Se encuentra en Stupnio, Rusia. Se trata de un proyecto realizado por Apis Cor en colaboración con PIK y se “imprimió” en tan solo 24 horas. El coste total de la casa

Figuras 1, 2 y 3: Aplicación del *Contour Crafting* en la edificación a diferentes escalas. Obtenidas de: <http://contourcrafting.com>

Figura 4: Proyecto para edificación en la Luna y Marte mediante *Contour Crafting*. Obtenido de: <http://contourcrafting.com>

incluyendo los cimientos y acabados es de 10.134 \$, de los cuales lo más barato fue la "impresión". Supone una gran reducción de los costos gracias a la automatización, la reducción del tiempo de construcción y de los materiales utilizados así como la minimización de la mano de obra.



La tecnología utilizada es similar al CC anterior. Apis Cor diseñó una tecnología propia donde el material cementicio es suministrado automáticamente y distribuido mediante una instalación móvil similar a una grúa torre. Diseñó este dispositivo para superar las limitaciones de las máquinas existentes y poder disponer de una transportable e instalable en el lugar (se instala en media hora) además de trabajar automáticamente sin necesidad de ayuda humana. Debido a las extremas condiciones del invierno ruso, el proceso se realizó dentro de una carpa aislada ya que el concreto solo se forma a temperaturas superiores a los 5°C.



Figuras 1, 2 y 3: Primera casa habitable "impresa en 3D" por Apis Cor + PIK, en Rusia, 2016. Obtenidas de: <https://www.designboom.com>

Figura 4: Office of the Future, Killa Design, Dubai, 2016. Oficinas "impresas en 3D". Obtenidas de: <https://www.archdaily.com>

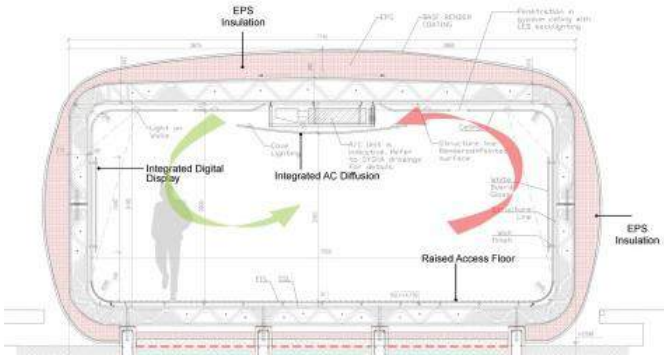
Una vez finalizado el proceso, se instalaron el aislamiento, las carpinterías y acabados, proporcionados por terceros. El diseño es circular para aprovechar el funcionamiento parejo del robot. El forjado no está impreso, es un tablero de fibras orientadas, plano, con capacidad para soportar grandes cargas de nieve.

Esta casa es un primer buen ejemplo de las posibilidades de la fabricación aditiva aplicada a la edificación de viviendas directamente en el lugar. Si esta es la primera muestra de la arquitectura "impresa" *in-situ* ¿qué nos deparará el futuro?

>>> **OFFICE OF THE FUTURE:** el estudio de arquitectura Killa Design en colaboración con BASF, ITSERVE y WinSun, construyeron en 2016 la primera oficina funcional mediante fabricación aditiva en Dubai. En las oficinas hoy se encuentra la Fundación Dubai Future y una incubadora de tecnologías emergentes de la región. Nuevamente se trata de una construcción que ha conseguido reducir la huella ambiental del proyecto, reducir el consumo y desperdicio de materiales, el coste más de un 50% y el tiempo del proceso a un total de 17 días de "impresión" y 3 meses para el resto de procesos como la urbanización y paisaje, interiores, etc. El proyecto busca estimular la innovación y fomentar la comunicación dentro de los equipos de trabajo mediante el cambio de diseño de los tradicionales espacios de trabajo. El Jeque Mohammed bin Rashid Al Maktoum, Vicepresidente y Primer Ministro de los Emiratos Árabes Unidos y Gobernador de Dubai dijo: "*Vemos este proyecto como un caso de estudio que proporcionará valiosas lecciones para toda la industria de la construcción... También beneficiará a los gobiernos de todo el mundo, ya que buscan comprender mejor y aprovechar esta importante tecnología*".



Se fabricó con una gran impresora de 12x36x6 metros en hormigón reforzado con técnicas similares a las anteriores, en este caso en vez de imprimir de abajo a arriba, la sección vertical trasversal de los módulos se imprimió en vertical.



Sobre los módulos impresos se aplicó un aislamiento de poliestireno extruido y se revistió con una compleja envolvente fabricada mediante tecnología CNC.

>>> **3D HOME PRINTING FOR THE DEVELOPING WORLD:** otro ejemplo de fabricación aditiva de tecnología similar al *Contour Crafting*. Este proyecto está desarrollado por la empresa y la organización sin ánimo de lucro ICON y NEW STORY. El proyecto es una casa, "impresa en 3D", un modelo de vivienda mínima con la que buscan crear las primeras comunidades de viviendas del mundo con las que solventar el problema de la necesidad de vivienda en nuestro mundo en el que un billón de personas sobrevive sin una vivienda digna y asequible.

La fabricación aditiva ha permitido dar un salto en cuanto a asequibilidad, velocidad y calidad para lograrlo. ICON desarrolló una impresora casera 3D denominada Vulcan con la que se pueden fabricar estas casas fácilmente de cemento, en un tiempo de 12 a 24 horas, y por un precio aprox. de 4.000 \$.



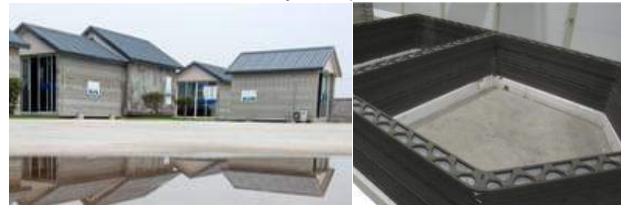
De momento sólo tienen una casa piloto situada en Austin, Texas, pero ya han recibido muchas recaudaciones a través de donaciones para sacar el proyecto adelante.

>>> **WINSUN:** este ejemplo aunque nos muestra la rapidez y los reducidos costes de la FA aplicada, vamos a estudiar el por qué es un mal ejemplo. Se trata de una empresa china, WinSun (ShaghaiWinSun Decoration Design Engineering Co.) que ha realizado varios proyectos, entre los cuales:

Figuras 1 y 2: *Office of the Future*, Killa Design, Dubai, 2016. Oficinas "impresas en 3D". Obtenidas de: <https://www.archdaily.com>

Figuras 3-5: *3D Home Printing for the Developing World*, ICON + NEW STORY, 2018. Obtenidas de: <https://www.iconbuild.com/>

» El primero se compone de un conjunto de 10 casas elaboradas en un solo día mediante fabricación aditiva (técnica similar al CC), cada una por menos de 5.000 \$. En este caso quería demostrar la agilidad de la construcción en hormigón mediante la automatización y la supresión de encofrados.



» En 2015 fabricaron el edificio más alto "impreso en 3d" (bloque de viviendas de 5 pisos) y una mansión (de 1.100 m<sup>2</sup>) en el Parque Industrial de Suzhou en la provincia de Jiangsu. Con estos ejemplos la FA demuestra su capacidad para reproducir edificios tradicionales.



Se trata de unos malos ejemplos del uso de la fabricación aditiva para construir arquitectura, porque **no aprovecha casi ninguna de las ventajas propias** de la misma. En primer lugar porque no busca la construcción completa *in-situ*, sino que se limita a imprimir complementos por separado, que después son ensamblados en el lugar al igual que en la construcción tradicional. No aprovecha el potencial creativo y de customización, de generación de geometrías novedosas que optimicen el funcionamiento del proceso, sino que se limita a seguir y reproducir las típicas arquitecturas que se repiten en serie, típicas del siglo pasado.

Podemos entenderlos dada su situación en un país masificado y superpoblado que necesita satisfacer los problemas de vivienda de manera económica y rápida. Pero sin duda no son ejemplos

que deban seguirse si queremos evolucionar y desarrollar una tecnología tan prometedora como la FA.

»» **D-SHAPE /MONOLITE:** otro caso de la aplicación de la FA a gran escala y de transferencia de la tecnología industrial a la arquitectura. *D-Shape* es una empresa fundada por el italiano e Ing. Enrico Dini, en la que patentó un proceso de impresión denominado *Monolite* en 2006. Su ya famosa impresora también recibe el nombre de *D-Shape*. El proceso es similar al de la tecnología 3DP en el que un polvo similar al yeso solidifica con un adhesivo especial. En este caso se fabrica piedra artificial mediante la deposición de capas de 5mm de arena natural (autóctona en el caso de construcción *in-situ*) sobre la que se deposita selectivamente dibujando las correspondientes secciones horizontales, un aglutinante inorgánico a base de sales minerales, muy baratas y ecológicas. La capilaridad de la arena permite que el aglutinante líquido se distribuya uniformemente. El proceso es realizado dentro de un gran pórtico cúbico de aluminio, ligero y transportable que controla los cabezales de deposición del aglutinante mediante tecnología CNC y el uso de programas CAD/CAM. El material obtenido es similar a un mineral de formación milenaria pero que acelera el proceso a unos pocas horas. El comportamiento de este material es comparable al de la piedra artificial y al hormigón, pero debido a que utiliza arena natural y aglutinante ecológico lo convierten en un material sostenible y que no deja huella de carbono al contrario que el hormigón, lo que supone una fascinante alternativa a su uso. (Malé-Alemany, 2015)



Enrico Dini tiene una visión de arquitectura futura, de bajo impacto visual y camuflada en el entorno, un paisaje urbano de casas

Figuras 1 y 2: conjunto de 10 casas impresas en 3D por la empresa WinSun en 2014. Obtenidas de: [www.theguardian.com](http://www.theguardian.com)

Figuras 3 y 4: Bloque de viviendas y mansión "impresas en 3D" por WinSun en 2015. Obtenidas de: [www.archdaily.com](http://www.archdaily.com)

Figura 3: Impresora D-Shape instalada al aire libre. Obtenida de: <https://www.3dnatives.com>



orgánicas. Una nueva arquitectura que él denominó *–Arquinatura*, que da nuevas libertades formales y una alternativa sostenible para la construcción de estructuras mediante FA, más rápida y más barata.

» **RADIOLARIA:** proyecto fabricado por *D-Shape* mediante el proceso *Monolite*, diseñado por el arquitecto Andrea Morgante en Italia, 2010. El proyecto se creó para demostrar la viabilidad y potencial de esta tecnología y darle visibilidad. El resultado, un monolito, una estructura de 3x3x3m inspirada en los radiolarios marinos. Al proceso se le sumó otro final para el pulido de las superficies. Costó sólo 200€ en material. Este proyecto se ha convertido en un hito de la LSAM y ha recibido gran repercusión mediática que le ha servido para que esta tecnología haya sido contratada para realizar otros proyectos (como la sección estructural de una casa diseñada por James Gardiner).



Es interesante pensar que para la construcción de esta estructura mediante técnicas y materiales tradicionales se hubiesen necesitado complejos moldes o encofrados de muy difícil elaboración y para nada económicos, así como de mano de obra especializada. Sin embargo con *Monolite* no se necesitan moldes ni procesos intermedios, y sólo un usuario que supervise y controle el proceso.

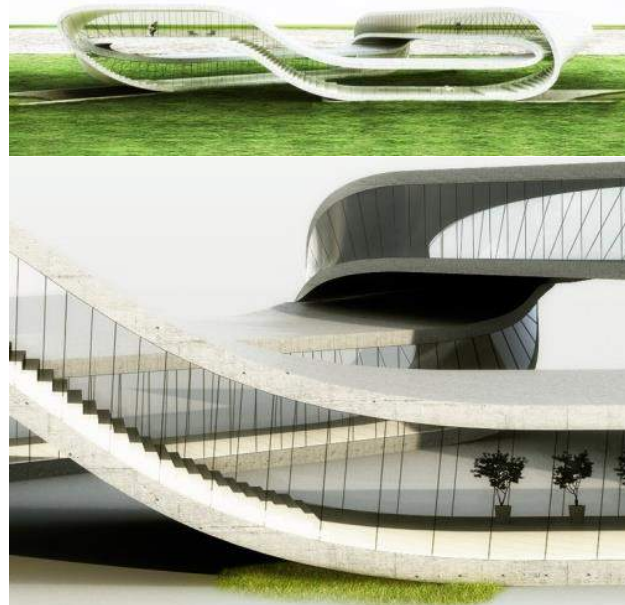
» **PUENTE PEATONAL:** primer puente peatonal funcional “impreso en 3D” del mundo. Ubicado en el parque urbano de Castilla-La Mancha en Alcobendas, Madrid. Proyecto liderado por el Instituto de Arquitectura Avanzada de Cataluña (IAAC) y ACCIONA, en el que participó Enrico Dini con su impresora *D-Shape* así como otros arquitectos, ingenieros mecánicos, ingenieros estructurales y otros pioneros en este ámbito. Con 12 metros de longitud e impreso en hormigón reforzado, se ha constituido internacionalmente como otro de los hitos de la FA aplicada a la construcción.



Su diseño paramétrico inspirado en formas de la naturaleza biométricas (condicionado por normativas de seguridad), distribuye el material allí donde es necesario para maximizar el rendimiento estructural y reducir el uso de material, de producción de desechos y de consumo de energía.

En principio se quiso utilizar un novedoso hormigón altamente sostenible pero que no fue viable debido a términos de certificación en España. Finalmente se utilizó un hormigón reforzado con fibra de vidrio que cumple todas las exigencias. Es gracioso que una de las mayores dificultades para la realización de este puente ha venido por parte de la legislación y no de la tecnología. Pero sin duda este puente contribuirá a que las normativas se adapten a esta poderosa tecnología.

»»“ENDLESS” HOUSE / LANDSCAPE HOUSE: proyecto inspirado en la banda de Möbius, una estructura continua sin principio ni final, donde los suelos se convierten en techos y viceversa. Del arquitecto Janjaap Ruijsenaars del estudio holandés Universe Architecture en colaboración con Enrico Dini y su impresora D-Shape. Se realizara por secciones huecas rellenas de hormigón reforzado de 6x9 metros, y se estima que tome entre medio y un año para completarse, constituyendo el primer edificio “impreso en 3D” del mundo. Aunque se realizará por secciones ensambladas, la ambición de sus creadores, según ellos “posible”, es que en un futuro pueda imprimirse completamente de una vez con una nueva impresora móvil que siga la dirección de la casa.



Figuras 1 y 2: Landscape House, Universe Architecture y Enrico Dini. Proyecto de edificio “impreso en 3D” con la impresora D-Shape. Obtenida de: [www.dezeen.com](http://www.dezeen.com)

Figura 3: TerraPerforma, investigación realizada por el IAAC, 2016-17. Bloques de arcilla no cocida auto-ensamblables, producidos por fabricación aditiva. Obtenidas de: <http://www.iaacblog.com> y <https://3dprintingindustry.com>

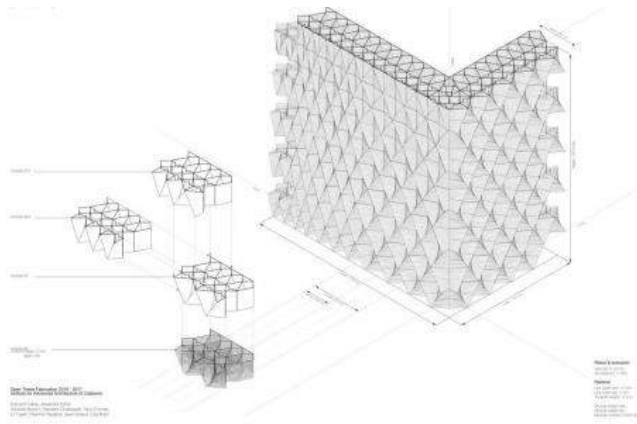
»»» **TERRA PERFORMA:** última etapa del programa *Open Thesis Fabrication* realizada por el Instituto de Arquitectura Avanzada de Cataluña (IAAC) en 2016-17. Aunque este ejemplo debería pertenecer al apartado anterior de fabricación *off-site* de componentes, sirve de pretexto para el siguiente ejemplo de fabricación *in-situ*.

Esta investigación trata de estudiar los materiales, sus propiedades y rendimiento climático más allá de la tecnología

empleada. Para ello combinan la fabricación robótica y la arquitectura de arcilla (local) no cocida, como técnica ancestral. Este tipo de arquitectura siempre ha estado vinculada a ámbitos rurales y subdesarrollados aunque ahora tiene un interés innegable en nuestra actualidad de crisis ambiental y económica. El suelo no cocido es un material natural, biodegradable y reciclable (infinitamente por largos periodos de tiempo). Posee una gran inercia térmica que proporciona espacios frescos en verano y mantiene el calor en invierno. Su capacidad de absorción y evaporación le permiten autorregular el ambiente de humedad proporcionando un saludable clima interior. La combinación con la robótica permiten reducir un largo proceso de construcción a unas pocas horas. Para ello utilizaron un brazo robótico dotado de un depósito de material y un cabezal extrusor.



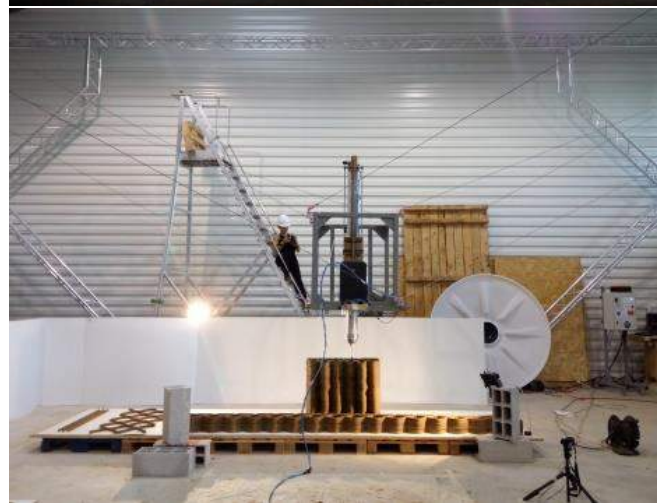
Desarrollaron muros completos pero finalmente decidieron que un enfoque modular sería mejor para esquivar las limitaciones del brazo robótico en cuanto a la escala de producción y su transporte e instalación en el lugar de construcción. Los módulos o “ladrillos” tienen un diseño paramétrico que permite ensamblarlos naturalmente entre sí, sin necesidad de aportar otro material; funcionar estructuralmente (individualmente y en conjunto), a la par de responder óptimamente a la radiación solar (con zonas de auto-sombra) y a los vientos (canales que dirigen los flujos de aire).



El diseño incluso presenta desde micro-aberturas hasta aberturas completas estratégicamente situadas para optimizar la iluminación natural.

>>> **ON SITE ROBOTICS / COGIRO:** realizado por el IAAC en colaboración con TECNALIA en 2017. Partiendo de todas las premisas y resultados anteriores, este proyecto como ya nos advierte su nombre (*on site*), permite solventar las limitaciones del anterior, en cuanto a escala de producción, transporte e instalación en el lugar de construcción.

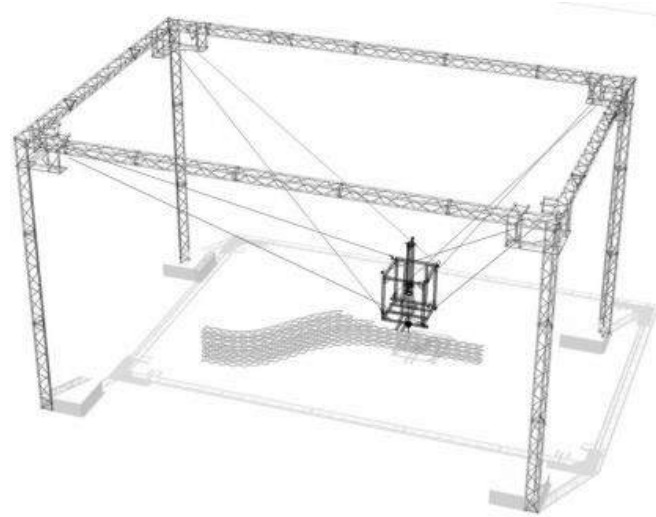
Igualmente orientado a la producción de edificios de bajo coste, sostenibles con materiales naturales mediante la automatización del proceso. En este caso la tecnología utilizada recibe el nombre de COGIRO, un robot controlado por CNC que utiliza la tecnología de cables. El proceso es realizado dentro de un gran páblico, de fácil transporte y montaje *in-situ*. El cabezal extruye el mismo material arcilloso del ejemplo anterior aunque también puede utilizar materiales cementicios.



Figuras 1-3: *TerraPerforma*, investigación realizada por el IAAC, 2016-17. Bloques de arcilla no cocida auto-ensamblables, producidos por fabricación aditiva. Obtenidas de: <http://www.iaacblog.com> y <https://3dprintingindustry.com>

Figuras 4 y 5: *On Site Robotics*. IAAC y TECNALIA, 2017. Proyecto desarrollado con COGIRO, fabricación aditiva controlada por tecnología de cables. Obtenidas de: <https://iaac.net> y <https://www.plataformaarquitectura.cl>

La tecnología robótica de cables es tradicionalmente utilizada para filmar eventos deportivos, conciertos o shows-televisivos, para poder mover la cámara con gran precisión sobre los jugadores y espectadores, cubriendo grandes espacios y obteniendo imágenes desde cualquier ángulo. Esta tecnología también permite mover grandes objetos con exactitud, de forma más sencilla, eficiente y barata que un robot rígido, permite alcanzar grandes escalas de producción y proporciona 6 grados de libertad, requiere poco mantenimiento, además de tener una sobresaliente relación espacio útil-utilizado. Por todo esto su aplicación en la fabricación aditiva supone una apreciable alternativa.



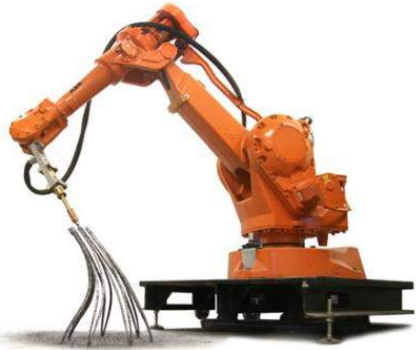
El proyecto también integra el uso colaborativo de drones para monitorear todo el proceso y mediante cámaras multispectrales obtener información sobre el secado del material muy necesaria para no añadir nuevas capas sobre masa aún fresca y sin estabilidad.

Las ventajas de esta tecnología son las mismas que hemos venido apuntando anteriormente, como su capacidad de fabricar complejas formas paramétricas mediante CAD/CAM de forma sencilla y barata, controlar la distribución del material y optimizar su funcionamiento ante múltiples funciones. Pero en este caso, su mayor y destacable ventaja es el de su gran escala, variable y adaptable a las necesidades.



>>> **JORIS LAARMAN LAB / MX3D:** Joris Laarman es un diseñador, artista y empresario holandés conocido por sus diseños experimentales inspirados en tecnologías emergentes. Ha producido infinidad de muebles, obras de arte u otros elementos como un radiador de diseño, reconocidos internacionalmente. Pero lo que más nos interesa ahora son sus investigaciones y proyectos sobre la FA mediante robótica y su novedoso trabajo con metal. A continuación vamos a ver algunos ejemplos de estos trabajos:

>> **MX3D-METAL, 2014:** MX3D-Metal es un brazo robótico tradicional en el sector de la automoción, dotado de un cabezal soldador que funde y deposita metales como acero inoxidable, aluminio, bronce o cobre. Previamente al trabajo con metales lo había hecho con un polímero y fue ahí donde descubrió una alternativa a la impresión por capas bidimensionales. Las "líneas" o barras metálicas son "dibujadas" o "impresas" en el aire, horizontal o verticalmente sin necesidad de soportes. Estas pueden intersectarse entre ellas para crear estructuras autoportantes. Laarman afirma que esta nueva tecnología que no entiende de gravedad está cambiando a medida que se desarrolla el lenguaje formal, y que puede enfocarse hacia la construcción arquitectónica, incluso para su uso en el espacio.



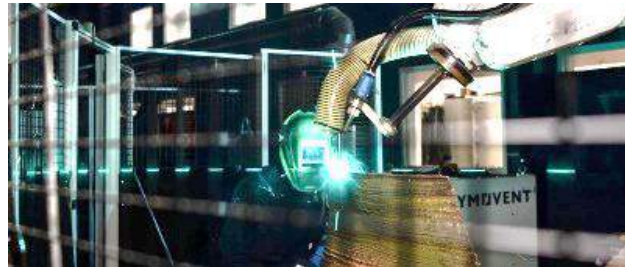
El SLM o la impresión por haz de electrones permitían trabajar con metales, pero con escalas muy reducidas, altos precios y con la ayuda de soportes. Esta nueva técnica se olvida de esas limitaciones y de su característica impresión por capas, para pasar a imprimir "líneas" o estructuras autosuficientes.



» **DRAGON, 2014:** el banco *Dragon*, es una pieza escultural que continúa y desarrolla la técnica anterior con metales, trabajando sobre el CAD-CAM, que determina los tiempos de pulso, de pausa, altura de capa y otras configuraciones que el robot ha de seguir según qué tipo de "línea" y con qué inclinación se quiera "dibujar". El lenguaje formal que permite, es más nuevo todavía, no determinado ni si quiera por la más común fabricación aditiva en capas. El resultado concluye en una pieza autoportante que nos permite vislumbrar las posibilidades de esta técnica.



» **BUTTERFLY SCREEN, 2016 Y GRADIENT SCREEN, 2017:** trabajos escultóricos experimentales, producidos también por el MX3D. Se trata de una colección de esculturas, en las que no voy a profundizar pero que resultan de interés para conocer la forma trabajo de este mismo brazo robótico, mediante la adición de capas de metal una sobre otra, más típico de la FA que el ejemplo anterior.



Figuras 1 y 2: MX3D-Metal, de Joris Laarman. Brazo robótico capaz de fundir y depositar metales en cualquier dirección sin necesidad de soportes. Obtenidas de: <https://www.dezeen.com>

Figura 3: Dragon, 2014. Banco escultural metálico realizado mediante el MX3D. Obtenida de: <https://www.jorislaarman.com>

Figuras 4 y 5: Butterfly Screen, 2016. Colección escultórica producida con el brazo robótico MX3D. Obtenidas de: <https://www.jorislaarman.com>

Figura 6: Gradient Screen, 2017. Colección escultórica producida con el brazo robótico MX3D. Obtenidas de: <https://www.jorislaarman.com>

Podemos ver como la FA con metales no sólo sirve para crear cordones estructurales sino también superficies paramétricas sólidas y autoportantes. En el caso de la Gradient Screen, además de ser una escultura también se trata de un adelanto experimental, una pieza del puente que veremos en el siguiente proyecto.

»» **MX3D BRIDGE, 2018:** Joris Laarman Lab asociado con otros patrocinadores como Autodesk, Lenovo o Heijmans, han construido un puente “impreso en 3D” de acero. Este proyecto supondrá un primer hito dentro de la fabricación aditiva con metales, como pieza funcional más allá de lo escultórico y experimental. Un ejemplo más de cómo escapar de la limitación de la escala producida por las impresoras comunes y de la aplicación de esta tecnología útilmente en este campo. El puente se situará (en 2019) sobre uno de los antiguos canales de Ámsterdam como una metáfora de conexión de las nuevas tecnologías y el pasado de nuestras ciudades, destacando lo mejor de ambos mundos. Con un proceso de diseño que se remonta a 2015, el puente ha tardado en imprimirse 6 meses, posee una longitud de 12.5m y 6.3m de ancho y se ha fabricado en acero inoxidable con 4 robots multieje.



Figuras 1-4: MX3D Bridge, 2018. Puente peatonal fabricado mediante el MX3D, y que será instalado en Ámsterdam en 2019. Obtenidas de: <https://www.jorislaarman.com> y <https://www.designboom.com>



Al igual que el puente peatonal de Alcobendas, una de las dificultades ha sido lidiar con las normativas de seguridad y los permisos, pero finalmente el proyecto ha conseguido salir adelante. En definitiva se ha desarrollado un nuevo estándar de seguridad asociado a este método de construcción, y al puente se le ha dotado de sensores que aportan información sobre su integridad estructural como la tensión las vibraciones y los desplazamientos. Estos datos servirán para medir la salud del puente, comprender su funcionamiento así como para en un futuro crear estructuras inteligentes capaces de aprender de sus comportamientos ante diferentes usos.

Pero no contentos con este logro, tienen otros planes de futuro, en el que los brazos robóticos serán móviles y autosuficientes, capaces de construir el puente o cualquier cosa que se nos ocurra, directamente en el lugar. Como dice Tim Geurtjens, director tecnológico de MX3D: “Lo que distingue a esta tecnología de los métodos tradicionales de impresión en 3D es que trabaja según el principio de la ‘impresión fuera de la caja’, es decir que al utilizar autómatas industriales de seis ejes, ya no estamos limitados a imprimir dentro de una caja virtual... La construcción empezará con una pieza de metal unida a la orilla del canal. Los robots comenzarán a trabajar desde ese lado del canal e irán imprimiendo su propia estructura de soporte, sobre la que se

asentarán y desplazarán, para imprimir más piso y otras partes de la estructura en 3D, y a partir de aquí, se seguirán moviendo, avanzando e imprimiendo más y más... Este puente mostrará cómo la impresión en 3D con soporte digital, entra en el mundo de la producción a gran escala de objetos funcionales y con materiales sostenibles al tiempo que permite obtener una libertad sin precedentes en cuanto a la forma”.



>>> **DIGITAL GROTESQUE:** como último ejemplo, este proyecto que no es “funcional” ni “arquitectura” en sí misma. Podría considerarse una obra de arte, pero lo que sí que es con seguridad, es una exploración e investigación de la FA, de sus posibilidades, de su máxima expresión y, sin duda una demostración y exhibición de la precisión e híper complejidad que se puede conseguir con esta tecnología. Con este ejemplo podemos vislumbrar el gran potencial que tiene la aplicación de la fabricación aditiva en la arquitectura, con la que podremos conseguir nuevas geometrías formales útiles tanto a nivel funcional como decorativo. *“Digital Grotesque está menos relacionado con la funcionalidad que con los potenciales expresivos formales de las tecnologías digitales. Examina las nuevas experiencias y sensaciones espaciales que estas tecnologías permiten.”*



Se trata de un conjunto de grandes estructuras altamente ornamentadas, fabricadas en arenisca y diseñadas por los arquitectos Michael Hansmeyer y Benjamin Dillenburger. Su

Figuras 1 y 2: *MX3D Bridge*, proyecto futurista en el que la tecnología MX3D será capaz de “imprimir” estructuras directamente en el lugar. Obtenidas de: <https://www.dezeen.com>

Figuras 3 y 4: *Digital Grotesque I*, 2013. Proyecto fabricado aditivamente con arenisca, diseñado por Michael Hansmeyer y Benjamin Dillenburger. Obtenidas de: <http://www.michael-hansmeyer.com>

diseño está realizado al completo mediante algoritmos que aprovechan al máximo todo el potencial de la impresora y su resultado, presenta millones de superficies que conforman geometrías y espacialidades lujosas y novedosas. "...la computadora pasa de ser un instrumento pasivo a ser un socio activo que puede expandir la imaginación del diseñador. " "Digital Grotesque está entre el caos y el orden, tanto lo natural como lo artificial, ni extraño ni familiar. Cualquier referencia a la naturaleza o los estilos existentes no se integran en el proceso de diseño, sino que se evocan solo como asociaciones en el ojo del espectador."



Figuras 1-4: *Digital Grotesque II*, 2017. Proyecto fabricado aditivamente con arenisca, diseñado por Michael Hansmeyer y Benjamin Dillenburger. Obtenidas de: <http://www.michael-hansmeyer.com>



Hoy podemos fabricar cualquier cosa. La fabricación digital ahora funciona tanto a escala micro como macro, combinando múltiples materiales y utilizando diferentes procesos de materialización. La complejidad y la personalización ya no son impedimentos en el diseño.

Si bien podemos fabricar cualquier cosa, el diseño puede parecer limitado a nuestros instrumentos de diseño: solo podemos diseñar lo que podemos representar directamente. Si uno mira artefactos impresos en 3D, a menudo hay discrepancia entre la magia de la fabricación digital y el convencionalismo de los objetos impresos. Lo que se necesita es un nuevo tipo de instrumento de diseño. Necesitamos herramientas para la búsqueda y



exploración, en lugar de simplemente control y ejecución. Necesitamos herramientas que vayan más allá del cumplimiento u optimización de requisitos funcionales simples, y que nos permitan investigar y avanzar factores más ambiguos del diseño: criterios blandos.<sup>49</sup>

A continuación podemos ver otros proyectos suyos:



**Figura 1:** *Zauberflöte*, 2018. Gruta escenografía para la ópera de Mozart, dirigida por Romeo Castellucci. Obtenida de: <http://www.michael-hansmeyer.com>

**Figura 2:** *Subdivided Columns*, 2010. Proyecto que busca la concepción y el diseño de nuevos órdenes de columnas basados en procesos de subdivisión. Obtenida de: <http://www.michael-hansmeyer.com>

<sup>49</sup> *Digital Grotesque II*. (2017). Obtenido de Michael Hansmeyer. Computational Architecture: <http://www.michael-hansmeyer.com/digital-grotesque-II>

# Trabajo colaborativo con BIM

Anteriormente ya vimos los beneficios del trabajo colaborativo entre el BIM y las realidades virtual y aumentada o los drones. Para comprender qué tiene que ver el BIM en todo esto de la fabricación aditiva hay que olvidarse del concepto erróneo que ya hemos explicado de que el *Building Information Modeling* no es un software de modelado 3D ni un programa para realizar renders, sino una metodología que abarca muchos procesos en la arquitectura, muchos software, muchas etapas, pero que sobretodo es un lugar virtual donde contener toda la información de un edificio a modo de *Big Data*. Y **esa información puede ser de cualquier tipo**, incluso la relacionada con los movimientos que debe seguir un cabezal extrusor para “imprimir” un modelo o directamente una casa.

Las nuevas tecnologías como la FA o el BIM no están destinadas a revolucionar el sector de la arquitectura trabajando de forma aislada. La gran revolución llegará cuando éstas y todas las demás se combinen para poder realizar el trabajo de manera mucho más eficiente, sin reflujo de datos ni repetición constante de información. Pensemos en el tiempo perdido a la hora de realizar un proyecto, dibujar toda la documentación básica, un 3D para extraer renders y perspectivas, planos de instalaciones, materiales y acabados, una tediosa recopilación de datos para realizar las mediciones y la memoria del edificio, y si además queremos fabricarlo aditivamente, volver nuevamente a introducir toda la información sobre la volumetría adaptada para otro software específico con el que la “impresora” pueda seguir las instrucciones. ¿No es mucho más sencillo realizar un único modelo de información del que extraer todo lo anterior a voluntad? Claro que lo es, y es que este es el concepto básico

del BIM el cual permite que el proceso constructivo hasta entonces lineal, se convierta en un ciclo con el que todos los agentes puedan trabajar en cualquier etapa con mayor colaboración y coordinación.

La fabricación aditiva junto al resto de robóticas y nuevas tecnologías propias de la fabricación digital y la Industria 4.0, nos permiten digitalizar y agilizar un proceso que hasta ahora era muy largo, documentado con muchas carencias, errores y sobre todo desligado de todos los demás procesos. Si el BIM todavía nos parece algo muy nuevo, más lo es esto de la fabricación digital. Pero sin duda, son totalmente **aptas para combinarse en una sola cerrando todos los ciclos, donde todos los procesos y toda la información queden contenidos en un único lugar**. La construcción tradicional como vimos anteriormente puede ser digitalizada y evidenciada en un modelo BIM mediante por ejemplo el sobrevuelo y el monitoreo continuo del proceso con drones. Sin embargo la fabricación aditiva puede y debe entrar de lleno en el BIM, donde el modelo virtual le aporte la información necesaria a la robótica para fabricar el producto, y de la misma manera, esa robótica aportará nueva información actualizada al modelo sobre los avances del proceso y el resultado final obtenido. La metodología BIM se ha utilizado hasta ahora para contener toda la información del proyecto básico de un edificio; se le ha comenzado a sacar beneficio durante el proceso de construcción con la VR y la RA; y finalmente servía durante la fase de mantenimiento del edificio concluido para obtener y detallar información sobre la evolución a lo largo de los años. Pero con la FA el ciclo ya puede cerrarse y **dar utilidad al BIM durante la fase de edificación, cerrando la brecha entre diseño y construcción**. Todas las fases del edificio quedan perfectamente detalladas en el modelo virtual, y éste es útil para todas las etapas y todos los agentes involucrados.

Partimos de la base que la FA añade material, y no lo sustrae o lo modifica como las demás técnicas. Esto condiciona el diseño de la arquitectura. Toda la distribución del material, incluso su composición debe quedar perfectamente detallada. Por ello el software encargado de contener esta información y posteriormente de dar órdenes al robot, debe contener no solo información sobre la volumetría general sino también la estructuración y el reparto de todos los materiales. De la misma manera que hasta ahora en BIM a un muro le dotábamos de información virtual sobre qué tipo de material y que sistema

constructivo lo integraban, para un muro fabricado aditivamente deberemos añadir información sobre qué material lo compone, cuál es la trama con la que se distribuye, las propiedades de cada "hilada" o "lechada" así como de la distribución geométrica del material o volumetría del muro, cuya sección podrá variar en función de algunos parámetros como su funcionamiento estructural o la integración de alguna instalación. Suena bastante complejo, pero está claro que posteriormente **acelerará el proceso de construcción de un edificio de meses o años a días u horas.**

Dado que esta tecnología es muy novedosa, y todavía está en fase de experimentación, no existe mucha información pública sobre este tema, por lo que en el momento de realizar este trabajo no podemos explicar con certeza cómo funciona el trabajo colaborativo entre estas tecnologías. Por el momento y por lo general las "impresoras" actuales utilizan software CAD/CAM independiente del BIM y en muchos de los casos software propio diseñado exclusivamente para el tipo de tecnología utilizada (generalmente en formato STL). La información volumétrica tiene que ser adaptada a ese software específico con el que la máquina podrá seguir las instrucciones para la fabricación, de la misma manera en que a una fresadora controlada numérica y computacionalmente, hay que aportarle una información o - código numérico- para que el cabezal realice con precisión las operaciones y movimientos necesarios.

El diseño del edificio o producto debe someterse a las condiciones y limitaciones de la tecnología con la que vaya a fabricarse digitalmente. El software o CAM se encarga automáticamente de seccionar el modelo en capas, y de ordenarlas cronológicamente siguiendo una dirección para que posteriormente el robot pueda seguir las instrucciones de fabricación. El CAM también incluye información relevante sobre la coordenada 0,0,0 que tomará como origen, así como el material utilizado, su espesor y composición, su tiempo de fraguado que directamente influye en el tiempo de fabricación, etc.

Existen programas y extensiones que convierten la información volumétrica del modelo BIM en información apta para el CAM, pero el objetivo es que poco a poco y a medida que la FA y el BIM se vayan desarrollando, también se vayan combinando en un único proceso, sin necesidad de software externo con otros formatos. Se han realizado investigaciones sobre la posibilidad de

contener la información que hasta ahora se contenía en formato STL, en el propio formato del BIM, el IFC, y el resultado ha sido positivo, permitiendo nuevas representaciones geométricas sobre las que el STL permite.

"Se me ocurre una comparación entre el pasado y el futuro de la construcción: *lo que antes era el ordenador y la impresora de papel, ahora es BIM y la impresora 3D*".<sup>50</sup> BIM es el cerebro y las impresoras son las extremidades.

# Qué futuro nos depara su uso

## 5.5

La fabricación aditiva es uno de los pilares fundamentales de la Industria 4.0 como tecnología habilitadora que permite la transformación digital hacia la fabricación inteligente con todas las ventajas que su aplicación proporciona. Se está consolidando como una de las tecnologías más prometedoras y de mayor potencial para complementar la producción en masa. Y cuando decimos complementar es porque no la puede sustituir, pues su aplicación es útil para proporcionar un nuevo medio de producción instantánea y de personalización masiva que **no va a reemplazar a las producciones en masa** de productos estandarizados a gran escala.

*“No estamos ante una época de cambios, estamos ante un cambio de época”.* Tenemos el concepto erróneo, de que todos los jóvenes de hoy en día que presenten buenas aptitudes y habilidades para las nuevas tecnologías han de formarse para dedicarse al sector científico-técnico. Pero la verdad es que las tecnologías ahora emergentes estarán presentes en todos los sectores. En el futuro necesitaremos profesores que conozcan y manejen la realidad virtual, abogados que dominen el Blockchain economistas que sepan trabajar con Big Data o médicos que dispongan de instalaciones y conocimientos para “imprimir en 3D”.

Saber trabajar con las tecnologías será tan obligatorio como lo es hoy en día la ofimática. De la misma manera en que la llegada del ordenador personal y la popularización de su uso en todos los puestos de trabajo donde los profesionales tuvieron que formarse y acostumbrarse a su uso para convertirse en más eficientes y productivos, las nuevas tecnologías como la fabricación aditiva han llegado para quedarse y todos deberemos adquirir nuevas

habilidades y conocimientos para incorporarnos a esta nueva revolución industrial. (García E., 2017)

A nivel de arquitectura y construcción, de la misma manera que vimos como el uso de drones transformarán nuestras ciudades también lo hará la fabricación aditiva **cambiando los paradigmas de diseño y producción**. El diseñador y el arquitecto se convertirán en fabricantes y constructores, y la ingeniería de la edificación se descentralizará y reducirá intermediarios para transformar numerosos procesos en uno solo, más rápido, eficaz y sostenible.

A la par, la FA **cambiará la estética** de nuestras ciudades. La aceptación que hemos tomado sobre la materialidad y el impacto visual de nuestros actuales sistemas constructivos, como los grandes muros de hormigón armado desnudos en los que quedan grabados para la memoria los encofrados utilizados durante su fraguado, y que hemos tomado como un motivo de composición y ornamentación; las potentes visuales que ofrecen las grandes y complejas estructuras de acero vistas a modo de caos ordenado plagado de elementos y uniones; la misma aceptación estamos tomando sobre la arquitectura “impresa”.



Figura 1: Palacio de congresos y sala de exposiciones de León, Dominique Perrault, 2018. Potentes visuales de la gran estructura de acero vista. Obtenida de: <http://www.perraultarchitecture.com>



Hemos comenzado a verlo ya en los primeros ejemplos de viviendas fabricadas aditivamente en cuyos muros queda evidenciado en el proceso aditivo capa a capa cuyo resultado son **paramentos y superficies estriadas**. Existe la posibilidad de enrasar y pulir las superficies para procurarlas lisas y continuas. Pero lo más lógico y sencillo es tomar y aceptar su naturaleza como bella y funcional de la misma manera que hemos hecho con los demás sistemas constructivos.

A medida que se siga desarrollando e implementando en la arquitectura, veremos como esta poco a poco va tomando formalidades más orgánicas, **libreándose de la linealidad y planitud** consecuencia de los medios de producción artesanales o industriales tradicionales. Los nuevos diseños reflejarán los **cálculos paramétricos computacionales** utilizados para **optimizar el funcionamiento** estructural, la **distribución del material** y la respuesta ante **otros factores** como el soleamiento o el aislamiento, para mostrarlos como bellos. Además los componentes arquitectónicos integrarán en sus diseños paramétricos las diferentes instalaciones presentes en un edificio a las cuales se adaptarán bien ocultándolas en su interior o bien reflejándolas a su paso.

Debido a esta característica aditiva de la integración, mono o multi-material, las estructuras y paramentos podrán combinar con sutileza la presencia de mobiliario, **convirtiendo la multiplicidad de elementos en un "todo" unificado**.

No solo afectará estéticamente en cuanto a las estrías asociadas a la adición de capas y a organicidad de las superficies debido a los cálculos paramétricos, sino que poco a poco transformará la materialidad en diferentes factores y escalas. Hemos visto que hay brazos robóticos que "imprimen" líneas de metal capaces de

dibujar estructuras aéreas con una estética totalmente diferente a la que proporciona un muro conformado por hiladas de material pastoso cementicio o arcilloso. La rápida evolución de la FA hacia sistemas más precisos nos invita a reflexionar sobre la arquitectura del futuro, que casi siempre **inspirada por procesos biológicos** podrá materializarse siguiendo los patrones de las estructuras óseas animales, de los capullos de los gusanos de seda, de las telas de araña, de formaciones submarinas, de los crecimientos fractales o arbóreos, donde la disposición del material es optimizada a diferentes escalas, incluso a nivel molecular que permitirá alcanzar una complejidad interna y una capacidad de respuesta fenoménica imposible de materializar con otros medios de producción. Quizás la arquitectura evolucione hasta el punto de poder crecer, combinarse y adaptarse a lo existente de la misma manera en que lo hacen los organismos vivos.

Para ilustrar este tipo de arquitectura orgánica de inspiración biológica vamos a ver un proyecto de vivienda futura:

>>> **PROTOHOUSE 1.0 Y 2.0:** proyectos prototípicos y conceptuales realizados en 2012 y 2013 respectivamente, de viviendas fabricadas aditivamente diseñadas por el estudio londinense Softkill Design.



Lo interesante de estos proyectos es su diseño mediante un algoritmo que imita el crecimiento óseo fibroso con un proceso de generación topológico que explora los límites de la tecnología de sinterización selectiva por láser con bioplásticos, y que minimiza el material utilizado y lo "microorganiza" a lo largo de las líneas de estrés integrando estructura, paramentos y programa en diferentes escalas. Los materiales débiles se convierten en estructuras rígidas, y la diferencia entre partes y conjunto se

**Figura 1:** Ladrillo fabricado aditivamente. Estriado característico de los productos fabricados con esta tecnología. Obtenido de: <http://sistemasconstructivosao.blogspot.com>

**Figura 2:** ProtoHouse, Softkill Design, 2012-2013. Proyecto conceptual de vivienda en voladizo fabricada aditivamente con un material fibroso que simula el crecimiento óseo biológico. Obtenidas de: <https://www.dezeen.com>

diluye. El material sufre un gradiente desde las partes duras a las blandas. El mismo material genera acabados, mobiliario y estructuras, todo en conjunto.



El concepto es diferente a la fabricación aditiva más convencional donde el material sólido es añadido capa por capa en el que las estructuras necesitan secciones ligeramente grandes. Este proyecto innova con un material fibroso cuyas fibras pueden alcanzar los 0.7 mm de radio que entrelazadas generan espacios cavernosos y todo su programa de manera liviana. Este acabado se deja a la vista incluso en el exterior, a modo de exoesqueleto permitiendo que el agua de lluvia penetre hasta la capa de impermeabilización que se encuentra en el interior. Los vanos son acristalados de manera tradicional.

El resultado, como en todos los ejemplos vistos, es una casa más barata, con menos material y por tanto que deja menos huella y es producida de manera más sostenible.



Figuras 1-3: *ProtoHouse*, Softkill Design, 2012-2013. Proyecto conceptual de vivienda en voladizo fabricada aditivamente con un material fibroso que simula el crecimiento óseo biológico. Obtenidas de: <https://www.dezeen.com>

Otro dato interesante es que los arquitectos, a pesar de ser un proyecto conceptual cuyas limitaciones tecnológicas del momento podrían ser solventadas en un futuro próximo, prefirieron adaptarse a esas limitaciones. De modo que la casa en vez de fabricarse con una gran "impresora" directamente en el lugar, se fabricó por partes en un ambiente controlado (a escala 1:33). Esas partes serían transportadas en camión y ensambladas en el lugar, directamente sin adhesivos ya que las fibras se entrelazan como el velcro.

Por aquel entonces la fabricación multi-material tampoco estaba desarrollada y por tanto también decidieron adaptarse a esa restricción e imprimir todo el conjunto en plástico en polvo mediante sinterización selectiva típica de la automoción, aunque el diseño se puede adaptar a otros materiales.



La ciudad de Dubái confía en los beneficios de esta tecnología y por ello ha apostado por ella creando la *3D Printing Strategy*, una estrategia con la que quiere convertir la ciudad y a todos los Emiratos Árabes Unidos en líder mundial de la fabricación aditiva al servicio de la humanidad, con la que también espera reestructurar las economías y los mercados, aumentar la productividad y reducir los costes en los sectores de la medicina y la edificación en un 90%, y reducir también la mano de obra en un 70%. Por el momento el jeque Mohammed bin Rashid Al Maktoum, Vicepresidente y Primer Ministro de los Emiratos Árabes Unidos y Gobernador de Dubái, ha establecido que para 2030 el 25% de los nuevos edificios deberán fabricarse de esta manera. Esta estrategia pertenece a la *Dubai Future Foundation* que ya vimos anteriormente, en la *Office of the Future*, un ejemplo

de oficinas funcionales en Dubái, primer ejemplo y caso de estudio respaldado por el jeque y la fundación.

*El futuro dependerá de las tecnologías de impresión 3D en todos los aspectos de nuestra vida, a partir de las casas en las que vivimos, las calles que utilizamos, los automóviles que conducimos, la ropa que vestimos y la comida que comemos. Esta tecnología creará valor económico agregado y beneficios por valor de miles de millones de dólares durante el próximo período. También redefinirá la productividad porque el tiempo necesario para la impresión 3D de edificios y productos será el 10% del tiempo empleado en las técnicas tradicionales.*<sup>51</sup>

Sin duda en el futuro la edificación dejará de ser un proceso tan largo y costoso como lo ha sido hasta ahora y se convertirá poco a poco en un proceso de la fabricación digital, rápida, ágil y eficaz, con sus beneficios de la personalización masiva y la reducción de costes, y lo más importante, en un medio de producción más sostenible apto para nuestro planeta enfermo.

La fabricación aditiva permitirá reducir intermediarios y saltarnos todo el proceso fabril. Arquitectos y diseñadores podrán concebir y materializar directamente. Supondrá un cambio de paradigma en la edificación y la fabricación en general, transformándose respectivamente en construcción 4.0 y fabricación digital, que entran de lleno en la industria 4.0, del internet de las cosas y la inteligencia artificial, donde todo está conectado entre sí, incluso los edificios y todas sus partes. Los edificios se convertirán en *Smart Buildings*, y juntos conformarán las *Smart Cities*.

Por último, antes de terminar este apartado de la fabricación aditiva vamos a hablar de tres conceptos que no quería dejar en el tintero, y que a pesar de que puedan parecer utópicos se están convirtiendo en una realidad.

► **IMPRESIÓN 4D:** la impresión 4D es "impresión 3D" (aceptándola como coloquialismo de la fabricación aditiva) sobre la que se ha añadido una nueva dimensión: el tiempo. Mejor dicho es una nueva capacidad añadida de transformación, la cual se produce en un fragmento de tiempo. El producto cambia de forma en un determinado tiempo cuando pasa de un ambiente a otro como al aplicar calor o al sumergirlo en agua por ejemplo. Nuevamente su inspiración radica de la naturaleza y la capacidad

de algunos organismos para alterar la forma, autorrepararse y autorreplicarse en respuesta a condiciones ambientales externas.



La impresión 4D no trata de la impresora en sí, sino del material con el que se imprime. Digamos que es una primera noción de los **materiales inteligentes**. El material es programado, diseñado con una trama a modo de código geométrico como espacios, juntas y ángulos, que mediante la acción de algún factor externo se transforma retorciéndose, enroscándose, plegándose o ensamblándose. Por ejemplo, se puede imprimir el "desdoblado" de un cubo en una plancha bidimensional, que al mojarse se transforme por sí sola en un cubo en tres dimensiones.



Su aplicación radica en implantes y órganos funcionales en el campo de la medicina, estructuras capaces de ensamblarse por sí solas (incluso en el espacio en gravedad cero), instalaciones capaces de repararse a sí mismas, o por ejemplo, cañerías que dilaten o contraigan su diámetro en función del caudal de agua que circule por su interior.

Estos materiales que son capaces de reaccionar ante los factores externos, nos permiten acercarnos a la fabricación de productos inteligentes como ropa que cambie sus propiedades en función de la temperatura y la humedad, o la tan deseada arquitectura inteligente que ya hemos mencionado en la que al igual que la ropa, el cerramiento de un edificio pueda transpirar, abrirse o cerrarse herméticamente al exterior en función de la climatología,

Figuras 1 y 2: Impresión 4D, materiales "impresos en 3D" capaces de cambiar sus propiedades frente a factores externos. Obtenidas de: <https://blog.drupa.com>

<sup>51</sup> Información obtenida de la página oficial de la *Dubai Future Foundation*: <https://www.dubaifuture.gov.ae>

o espacios capaces de adaptarse según el número de usuarios presentes.

Todavía se encuentra en fase experimental siendo estudiada en numerosas universidades del mundo, pero no cabe duda que esta tecnología tiene gran potencial muy prometedor para el futuro.



► MUNDO COMO ORGANISMO Y "ECOLOGÍA MATERIAL": antes de realizar este trabajo, tenía una visión utópica sobre el futuro muy diferente a la de las películas. Y es que si nos paramos a pensar un momento, mediante la fabricación aditiva ya hemos visto cómo se pueden crear órganos funcionales, arquitecturas y estructuras sostenibles de inspiración orgánica, materiales inteligentes que responden ante factores externos y que incluso se pueden autorregenerar (como el *Healing Concrete*, un hormigón vivo capaz de cicatrizar sus grietas por sí mismo gracias a la presencia de unas bacterias vivas, patentado por Hendrik Jonkers).

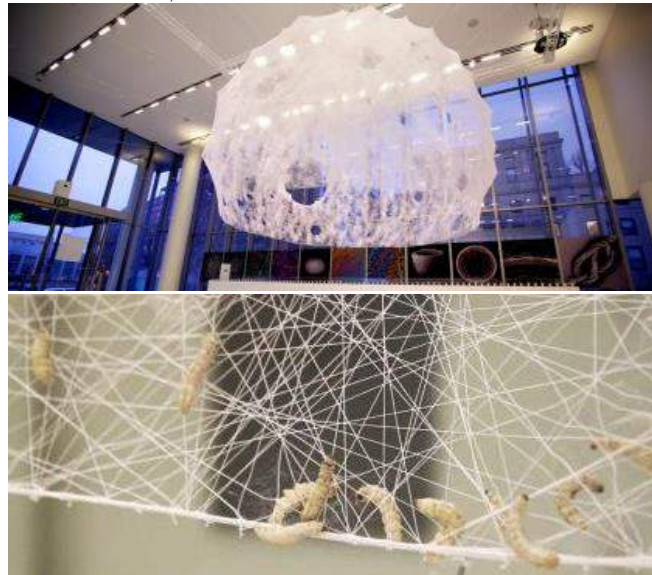


Figura 1: Impresión 4D, materiales "impresos en 3D" capaces de cambiar sus propiedades frente a factores externos. Obtenidas de: <https://blog.drupa.com>

Figuras 2-3: algunos de los proyectos de bio-fabricación realizados mediante fabricación aditiva del *Mediated Matter* de Neri Oxman en el MIT Media Lab. Obtenidas de: <https://www.archdaily.com>

Imaginemos por un momento un coche del futuro lejano, en el que su motor en vez de ser un dispositivo eléctrico y mecánico, sea algo similar a un corazón vivo producido por fabricación aditiva, capaz de abastecer de energía al vehículo; un coche que en vez de filtros tenga una especie de pulmones que filtren el aire; una serie de válvulas, un cerramiento envolvente y una serie de mecanismos similares a los humanos, capaces de regular el ambiente interior en función de las condiciones exteriores. Además todos estos "órganos vivos" estarían conectados entre sí, y a la red, al internet de las cosas. De este modo se convertiría en un coche conectado a nosotros y a la ciudad, capaz de responder con naturalidad a nuestras necesidades y a los factores externos.

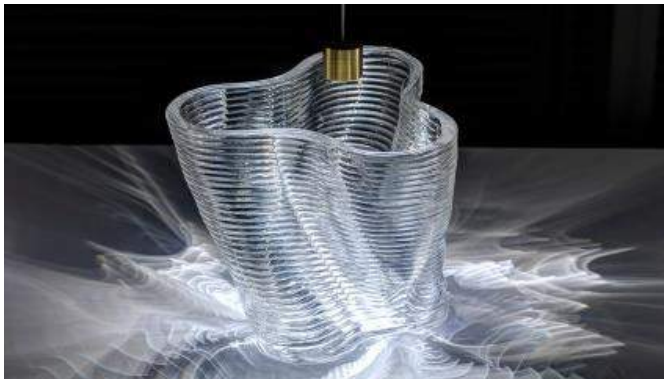
Extendiendo esta visión hacia los demás dispositivos, hacia la arquitectura, etc., me imagino un futuro más "viscoso" al que se suele imaginar, donde todo se compone y funciona de manera similar a los procesos naturales y orgánicos, en el que hemos conseguido dejar de contaminar y destruir nuestro planeta para vivir armónicamente con él.

Como ya he dicho es una visión muy utópica, lejana y quizá imposible por demasiados factores. Pero al realizar este trabajo he descubierto que esta idea (quizás de manera no tan radical) ya la han pensado otros, y que está respaldada por Neri Oxman, diseñadora, arquitecta, artista y fundadora del grupo *Mediated Matter* en el Media Lab del MIT, que mucho ha tenido que ver en todo esto de la fabricación aditiva y la robótica. Ella trabaja cuestionándose, imaginando y creando estructuras y objetos, desde los más pequeños hasta los edificios más grandes, **inspirándose por, para y con la naturaleza y el mundo biológico.** Ha definido el concepto de "Ecología Material" que abarca biología, computación, materiales y fabricación digital y que busca alejarse del ensamblaje propiciado por las herramientas para acercarnos al "crecimiento" contenido en los "genes" similar a nuestro ADN presente en cada una de nuestras células, una nueva inteligencia que profundiza en la relación entre los objetos que usamos y habitamos.





Ella cree en un futuro donde el "mundo como máquina" se sustituirá por un "mundo como organismo", en el que el todo es más que la suma de sus partes individuales, las cuales pueden crecer, adaptarse y transformarse de forma similar a lo que sucede en nuestro entorno natural. **Las ciudades crearán medioambiente en vez de imponerse a él.** Según ella, en un futuro superpoblado las cosas, los espacios urbanos y los edificios podrán cambiar para satisfacer las cambiantes necesidades de sus usuarios; en vez de calefacción y refrigeración las envolventes de nuestros edificios se contraerán y dilatarán, transpirarán para responder al entorno; los materiales serán inteligentes y no necesitaremos interruptores para activarlos.



Por el momento Neri Oxman ha trabajado en numerosos experimentos, todos biodegradables y de inspiración orgánica: desde un nuevo material -quitina- fabricado a partir del biopolímero más presente en el mundo (escorpiones, cangrejos o mariposas) que ha permitido "imprimir" grandes estructuras multifuncionales con partes ligeras y transparentes, así como las opacas y estructurales; tejidos celulares similares a un sistema

digestivo a partir de bacterias vivas que permiten crear prendas de ropa para incluso viajar por el espacio, que son capaces de crecer y adaptarse a nuestro cuerpo así como adaptarse a las condiciones exteriores; robots capaces de tejer seda análogamente a como lo hacen los gusanos de seda; cristal fabricado aditivamente; y hasta tejidos bioluminiscentes.



► **ENJAMBRES DE ROBOTS:** en cuanto a la fabricación aditiva y la arquitectura, ¿qué futuro le depara? Pues aunque ya lo hemos mencionado, quería respaldar esta información nuevamente con las palabras de la arquitecta Neri Oxman, y poner algunos ejemplos. La fundadora del *Mediated Matter* anteriormente afirmaba que las limitaciones de los materiales actuales se solucionarían imprimiendo con materiales sensibles e inteligentes. Pues bien, las limitaciones de la fabricación aditiva actual mediante pórticos y grandes brazos robóticos se superarán "imprimiendo con múltiples robot-impresoras interactivas. Y las limitaciones de proceso se pueden superar al pasar de capas a tejer en el espacio 3D, utilizando un brazo robótico". Es decir, los pequeños robots móviles, capaces de producir arquitecturas escalables mediante el trabajo sincronizado y cooperativo son el futuro: "Los edificios pueden ser construidos por enjambres de pequeños robots". **La construcción digital en enjambre será la construcción definitiva del siglo XXI.**

El funcionamiento del trabajo de robots en enjambre radica en el mismo que tienen los enjambres de abejas, colonias de hormigas, bancos de peces, bandadas de pájaros, etc. en los que cada individuo obtiene información de su entorno, y en conjunto crean un flujo de información optimizado, a modo de **inteligencia colectiva.**

Las investigaciones sobre estos colectivos animales han arrojado información útil para aplicar en la robótica. Un trabajo complejo

realizado por un enjambre de robots en el que cada uno realiza una labor simple. Un requisito básico es que análogamente a los colectivos animales, todos los robots autónomos estén conectados, sincronizados y coordinados entre sí puesto que la información está descentralizada, cada agente obtiene o aporta información incompleta y limitada pero juntos crean un sistema de información colectiva con capacidades muy superiores a las de cada agente. El resultado es: un sistema capaz de funcionar aunque alguno de los agentes falle; un sistema de gran escalabilidad que puede aumentar o disminuir según las necesidades; y la capacidad para dividir una tarea en subtareas.

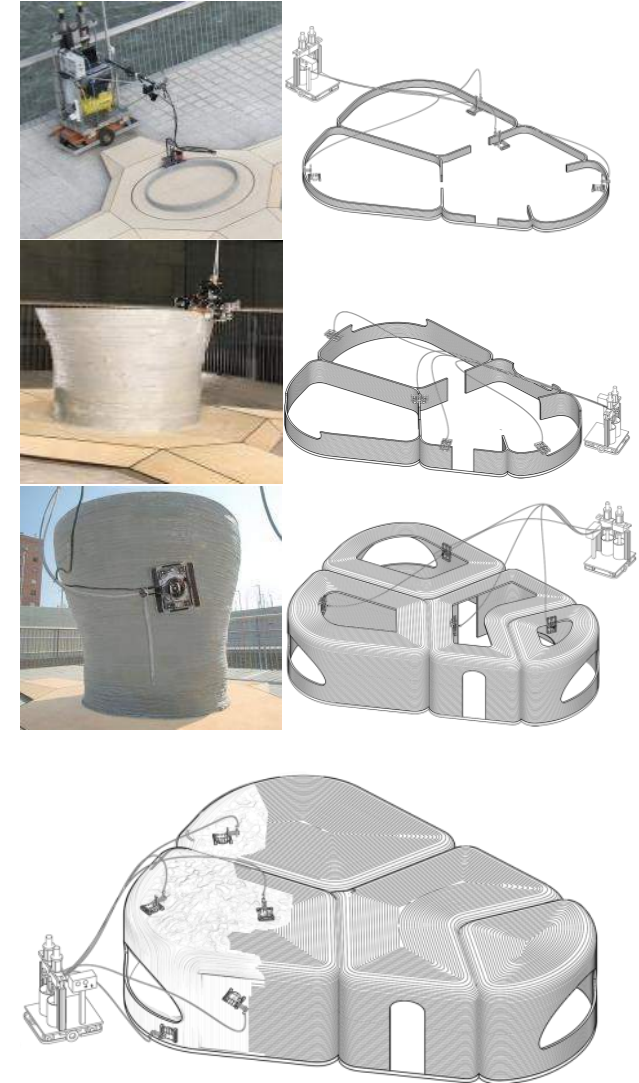
Existen muchísimos estudios e investigaciones, y numerosos experimentos y proyectos realizados con sistemas multi-robóticos que imitan el funcionamiento de algún colectivo animal, bien para obtener información o para realizar alguna labor real. Sin querer entrar en más detalle vamos a ver unos ejemplos de aplicaciones en la arquitectura que bien podrían estar dentro del anterior apartado de *fabricación aditiva aplicada a la construcción in-situ*, pero que he reservado para este momento por su condición de trabajo conjunto y porque su aplicación funcional todavía no es viable:

>>> **MINIBUILDERS:** un ejemplo de como la FA está abandonando la caja y los pórticos y se está convirtiendo en un medio de producción itinerante. Este proyecto liderado por Sasa Jokic y Petr Novikov y producido por el IAAC junto a otras empresas colaboradoras en 2014, ha demostrado la capacidad de generar grandes estructuras sin necesidad de disponer de "impresoras" descomunales. **La escala de la maquinaria de producción se desliga por completo del producto.**

Para esta demostración construyeron una estructura que se exhibió en el DHUB de Barcelona mediante un escuadrón de pequeños robots móviles. Estos robots están alimentados con material pastoso y conectados mediante un sistema umbilical a un robot nodriza de escala superior. En realidad hay 3 tipos de robots: un primer tipo que se desplaza a nivel del suelo y es capaz de fabricar los 10 primeros niveles; el segundo tipo corresponde a la segunda fase, en la que secos los 10 primeros niveles el robot se agarra como una pinza a la estructura y se desplaza sobre ella a la par que deposita las siguientes capas; el tercer tipo es el más novedoso ya que con una gran ventosa se

mueve libremente por las superficies verticales, para añadir más material sin seguir la lógica de capas anteriores.

Se trata de una demostración de posibilidades muy sencilla para la que tuvieron que sacrificar otras características de la FA. Pero sin duda es un gran ejemplo del camino que la tecnología de fabricación puede tomar en aras de suprimir por completo los límites de escala, transporte e instalación.



Figuras 1-7: Minibuilders, producido por IAAC, 2014.  
Multi-robots umbilicales para la fabricación aditiva de  
arquitecturas. Obtenidas de: <http://robots.iaac.net/>

>>> **FIBERBOTS:** nuevamente hablamos de la arquitecta Neri Oxman y su grupo *Mediated Matter* en el MIT, esta vez para ilustrar sus palabras sobre los enjambres de robots. Se trata de una performance expositiva, un proyecto se podría decir incluso artístico, pero que sin duda quiere manifestar ligeramente el potencial de este tipo de fabricación digital. "Las fibras son los ladrillos del futuro" dijo Oxman.

No se puede considerar un escuadrón o un enjambre de robots realizando una tarea compleja dividida en partes, por el momento.



Todos los agentes (16) realizan la misma labor preconfigurada, crear estructuras lineales independientes y autoportantes. Las estructuras, tubulares de hasta 4,5 m de altura, están compuestas de fina fibra de vidrio enrollada cuyo producto es una capa muy resistente. Los robots van generando el tubo segmento a segmento a medida que avanzan por su interior.



El resultado permaneció a la intemperie sin daños durante 7 meses entre los cuales se encontraban los duros meses de invierno de Massachusetts.



Tras este proyecto han comenzado a trabajar con otro tipo de fibras inteligentes naturales y más sostenibles pero no por ello menos resistentes.

"Nos preguntamos, ¿qué pasaría si cada agente biológico fuera reemplazado por un robot que puede, al mismo tiempo, producir sofisticadas arquitecturas de materiales como el gusano de seda, pero también comunicarse como un organismo eusocial, como, por ejemplo, una termita?" dijo Oxman.

Este tipo de fabricación en un futuro quizá podrá construir autónomamente grandes y resistentes estructuras para un puente o un edificio por ejemplo. Dotados de sensores que les permitan responder ante los factores externos que "también podría significar que, en entornos extremos con fuertes vientos, los robots podrían enrollar fibras compuestas más gruesas y más fuertes simplemente modificando el patrón de enrollamiento robótico, y también podrían tejer sus tubos cerca uno del otro para crear estructuras generales más densas y más fuertes".

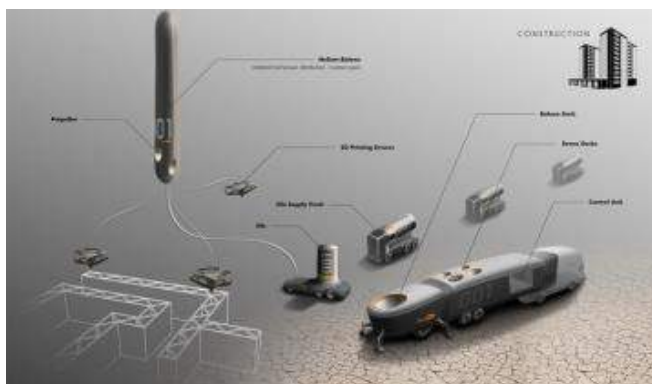
>>> **FLY-ELEPHANT:** en esta ocasión toca volver a hablar de drones. En el apartado anterior vimos varios ejemplos de drones capaces de realizar increíbles pericias con gran precisión, limpiar o pintar fachadas e incluso crear arquitecturas a base de trenzar cuerdas o de pulverizar materiales como arcilla. Pues bien, este es el siguiente paso, dotar a los drones de un sistema umbilical que les permita fabricar arquitecturas no a base de pulverizar materiales, sino de añadirlos capa a capa, como si de un pequeño brazo robótico se tratase, pero con una libertad de movimiento total en todas las direcciones.



La empresa DebiBot presentó en 2018 en Shanghai durante el TCT Asia su robot "Fly Elephant", el primer robot de fabricación aditiva capaz de volar.

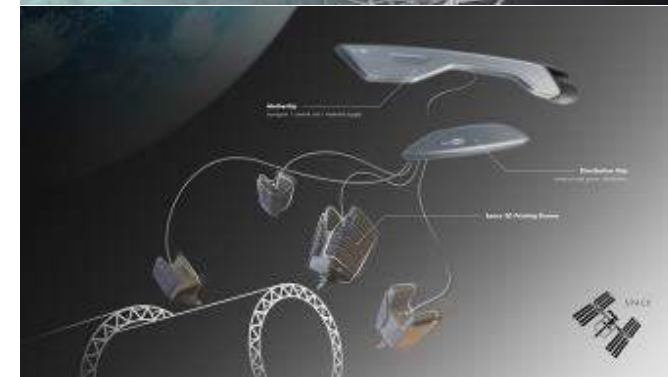
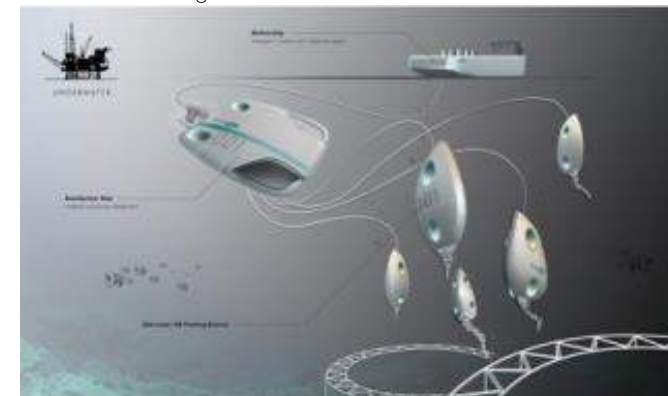


Por el momento se encuentra en fase de investigación creando pequeñas estructuras de cemento, pero con ella esperan construir rascacielos en un futuro.



Los drones trabajarían en conjunto cada uno centrado en diferentes tareas incluso con diferentes materiales.

Su concepción es válida también, y así lo han planteado para sistemas de construcción mediante "vehículos" no tripulados submarinos o en gravedad cero.



Por último y para concluir este apartado, me parece interesante mostrar brevemente un trabajo gráfico. *FROM NOW TO THEN: BETWEEN MAN-KIND AND ROBOT-KIND* es un trabajo realizado por el instituto de investigación *The Why Factory* dirigido por el arquitecto Winy Maas en colaboración con estudiantes del IAAC en 2016/2017.

En el podemos visualizar cronológicamente algunas ideas futuristas sobre como las ciudades tomarán forma mediante enjambres de robots. Progresivamente las tecnologías de construcción y fabricación van avanzando y con ellas lo hace la arquitectura ante la que van surgiendo nuevas tipologías y materialidades.

Aunque por cuestiones de tamaño aquí no se puede apreciar con detalle, merece la pena sin duda buscarlo y verlo al completo

Figuras 1-5: Fly Elephant, diseñado y patentado por DebiBot, 2018. Drones capacitados para la fabricación aditiva. Obtenidas de: <https://3dprintingindustry.com> y <https://www.tctmagazine.com>

dedicando un poco de tiempo a comprender su trabajo que cuanto menos es muy interesante y para nada desacertado.

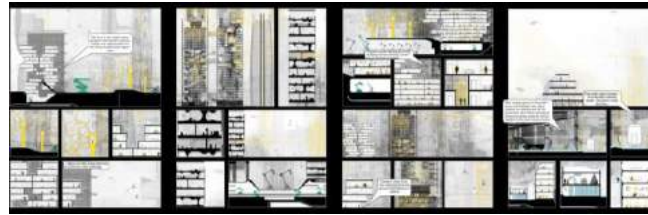
-2012:



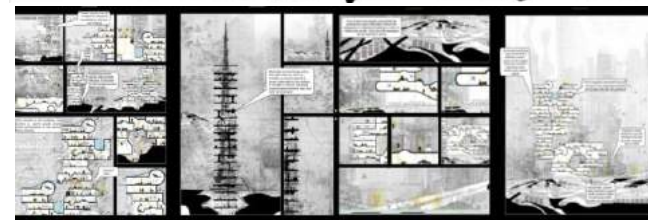
-2027:



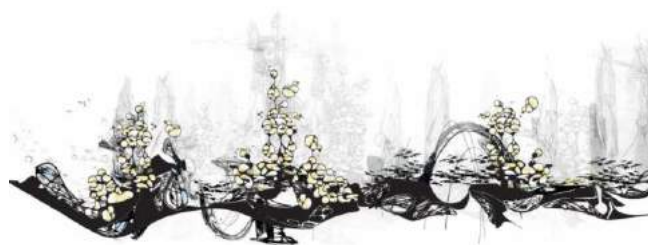
-2067:



-2117:



-2217:



UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

Alumno: ALEJANDRO GONZÁLEZ CHAMORRO

Tutor: JESÚS SAN JOSÉ ALONSO



*En L'An 2000 (En el año 2000),  
Jean-Marc Côté, XIX-XX.*

Así imaginaron que serían las ciudades del segundo milenio, en las que coexisten el tráfico rodado con el aéreo, y en las que el acceso a las edificaciones se realiza en distintos niveles.

Por el momento nuestras ciudades siguen ligadas a la cota del suelo, pero la llegada de los drones nos permiten adivinar que probablemente esta predicción termine por cumplirse.

# CONCLUSIONES



# Conclusiones

En este trabajo hemos expuesto las numerosas aplicaciones de nuevas herramientas y metodologías, pero también hemos hablado mucho sobre el futuro de la Arquitectura y la Construcción. Futuro que como ahora podemos entender está indiscutiblemente ligado al desarrollo y los avances tecnológicos, que serán principalmente los responsables de eliminar la brecha entre diseño y fabricación, permitiendo una conexión directa entre el mundo virtual y el mundo físico.

No debemos concebir estas nuevas tecnologías como el objetivo final de las profesiones, sino como herramientas con las que los profesionales pueden alcanzar sus objetivos, que son o deben ser los de la Industria 4.0: automatización e industrialización de procesos, mejora de la sostenibilidad y aumento de la eficiencia y la productividad, reduciendo a la vez los tiempos y los costes.

Los medios de producción retoman conceptos de la manufactura del pasado como la personalización y customización. La maquinaria empleada, que evoluciona de los sistemas de control numérico controlados computacionalmente, se toma autónoma, con capacidad propia para tomar decisiones basadas en la información, para lo que se apoyara fundamentalmente en las tecnologías de la gestión de macrodatos recopilados, mediante gran variedad de sensores instalados en los dispositivos físicos, conectados entre sí y el ciberespacio a través del Internet de las Cosas; datos que son procesados remotamente mediante el *cloud computing*, y analizados mediante Inteligencia Artificial que aporta a la maquinaria una cognitiva y razonamiento similar al de los humanos. Es decir, lo que denominamos robótica avanzada. Ésta está desarrollada para poder adaptarse a cambios en la producción o en el producto, responder positivamente ante cambios o imprevistos en los procesos, incluso para realizar predicciones, facilitando el trabajo colaborativo con los humanos, en el que nuestra seguridad se superpone a todo lo anterior.

Dentro de la robótica podemos englobar a las tecnologías dron y de la Fabricación Aditiva.

Por el contrario la Realidad Virtual (VR) y la Realidad Aumentada (AR) no son herramientas para realizar labores, sino herramientas que las facilitan, además de facilitar también la conexión e interacción del tercer entorno desde nuestra realidad física, a nivel visual y sensorial, funcionando como una interfaz entre ambas, entre el ordenador y el usuario. De esta manera se constituyen como una nueva forma de lenguaje universal para la comunicación de masas propia de la iconosfera, en la que prima la interactividad y que nos permite alcanzar la idea de la "aldea global". A la Arquitectura no le aportan simplemente un valor estético de representación, sino también funcional, ya que nos permite sumergirnos y manipular el tercer entorno desde dentro, en primera persona, a escala 1:1 y en tiempo real. Influye por lo tanto en el proceso creativo de diseño y en un mayor control y eficiencia del proceso edificatorio. Su llegada nos ha permitido integrarnos en un mundo globalizado más exigente en el que la información, es el valor más importante.

Los drones, autónomos o pilotados remotamente, son ya extendidamente aplicados en el sector AEC, por sus grandes ventajas frente a otros métodos como el abaratamiento de costes, reducción de tiempos, dar accesibilidad a lugares que antes no alcanzábamos y por ser capaces de realizar labores rutinarias que resultan aburridas, sucias y peligrosas para los humanos. Además de que su empleo no contamina y contribuye a la arquitectura sostenible y eficiente, evitando el despilfarro de material.

Su futuro en la construcción ya está escrito, en el que también se utilizarán como herramientas de construcción digital *in-situ* y como medios de producción escalables, capaces de materializar físicamente complejos diseños computacionales autónomamente.

Dentro de esta última aplicación entra también la Fabricación Aditiva, con el valor añadido de trabajar exclusivamente con el material precisado, partiendo desde cero (a diferencia de todos los medios de producción tradicionales) y disponiéndolo sólo allí donde es necesario, optimizando así la geometría y el comportamiento del producto, y eliminando los residuos casi por completo. Otra de sus ventajas es su óptima aptitud para incorporar materiales reciclados, e incluso mejor, otros nuevos materiales biodegradables y sostenibles. Sus repercusiones en la Arquitectura son inmensas; de la misma manera que esta



tecnología se ha liberado poco a poco de la caja en la que estaba contenida, también ha liberado los procesos de diseño y fabricación, permitiendo construir formas antes imposibles e incluso a veces, olvidándonos de la gravedad, "imprimiendo" estructuras aéreas en todas las direcciones sin necesidad de soportes o andamiajes.

El diseño evoluciona y se transforma conforme lo hace la tecnología empleada, adaptándose a los nuevos materiales, las nuevas posibilidades y las nuevas herramientas.

No nos podemos olvidar de la metodología BIM, cuya implantación es ya obligatoria. Sus beneficios radican en las posibilidades de trabajo dentro de una plataforma única, con un lenguaje universal que facilita el trabajo colaborativo multidisciplinar, actuando como contenedor y fuente de información para todas las tecnologías, procesos, etapas y agentes. Su idea no es otra que la aplicación de la ideología del Big Data a la edificación, auto-estableciéndose como nuevo paradigma de hacer arquitectura y construirla.

Lo más interesante, la colusión más importante y lo que se ha pretendido con este trabajo, es ilustrar como todas las nuevas tecnologías habilitadoras cada vez más presentes en nuestro día a día, todas se apoyan o deben apoyarse en el BIM, como nexo de unión, centro de operaciones y eje conductor para todas ellas y las que puedan surgir en un futuro.

Los profesionales y centros educativos tienen la responsabilidad de mantenerse actualizados con las tecnologías y metodologías conforme estas se van desarrollando u otras nuevas van emergiendo. El arquitecto debe estar preparado para liderar y orquestar gran multitud de procesos y agentes, poniendo siempre por delante las necesidades del cliente, que ahora toma un mayor protagonismo en la edificación.

La extrapolación de la metodología BIM a la extensión de las ciudades nos permitirá alcanzar las necesarias *Smart Cities*, gestionando todas las operaciones, disciplinas e instituciones desde una única plataforma. Es así como conseguiremos optimizar el funcionamiento y eficiencia de nuestras urbes, que no dejan de crecer conforme lo hace la población mundial, atendiendo siempre a las cuestiones de sostenibilidad y medio

ambiente. Nuestro planeta está muy enfermo y sus recursos son limitados. La contaminación, la deforestación, la escasez de espacio y de recursos deben imponerse como primer problema mundial a solventar. Estamos en un momento crucial en el que debemos tomar medidas para el cambio o quizás ya no haya vuelta a atrás. Una nueva forma de hacer arquitectura comprometida con estas problemáticas ya es posible. Para ello es de vital importancia que la legislación y normativas se adapten a las nuevas tecnologías conforme estas se desarrollan, pues serán éstas las que nos permitan satisfacer los nuevos estándares de salud social y urbana.



# Bibliografía

¿Qué es la realidad virtual? (s.f.). Obtenido de Mundo Virtual:  
<http://mundo-virtual.com/que-es-la-realidad-virtual/>

Los Drones y sus aplicaciones a la ingeniería civil. (2015). Madrid: La Suma de Todos. Consejería de economía y hacienda Comunidad de Madrid.

Revista del Colegio de Arquitectos de Valladolid. (Julio de 2015).  
*Nuevas Herramientas Aplicadas a la Arquitectura*(5). MIC.

*Aplicación de los drones en la construcción.* (19 de Febrero de 2016).  
Obtenido de Embention: <https://www.embention.com/es>

Revista del Colegio de Arquitectos de Valladolid. (Enero de 2016).  
*Sistemas Innovadores Aplicados a la Arquitectura*(6). MIC.

*4 Tendencias que están Transformando la Industria AEC.* (18 de Diciembre de 2017). Obtenido de ADA3DS EXPERIENCIE:  
<https://ada3ds.com/blog-noticias-interes/4-tendencias-estan-transformando-la-industria-aec/>

*ACE (Associació de Consultors d'Estructures).* (14 de Julio de 2017).  
Obtenido de BIM, Big Data, Realidad Virtual. El futuro de la construcción se escribe con las nuevas herramientas:  
<http://acweb.cat/es/noticias/bim-big-data-realidad-virtual-el-futuro-de-la-construccion-se-escribe-con-las-nuevas-herramientas/>

*BIM y la Realidad Virtual: bienvenido al futuro.* (14 de Julio de 2017).  
Obtenido de Isover: <http://www.isoverblog.es/bim-realidad-virtual/>

*BIM, realidad virtual y realidad aumentada: cuál es el uso en el sector de la construcción.* (19 de Diciembre de 2017). Obtenido de BibLus: <http://biblus.accasoftware.com/es/bim-realidad-virtual-y-realidad-aumentada-cual-es-el-uso-en-el-sector-de-la-construccion/>

*Digital Grottesque II.* (2017). Obtenido de Michael Hansmeyer.  
Computational Architecture: <http://www.michael-hansmeyer.com/digital-grottesque-ii>

Revista del Colegio de Arquitectos de Valladolid. (Julio de 2017). *BIM Metodología: presente y futuro de la arquitectura*(9). MIC.

*El futuro de la construcción, en manos de la tecnología.* (05 de Junio de 2018). Obtenido de La Nave Madrid:  
<http://www.lanavemadrid.com/el-futuro-de-la-construccion-en-manos-de-la-tecnologia/>

Industria 4.0. (OCT-NOV-DIC de 2018). *ERAC Capital Humano. No.86.*

*Qué es BIM?* (2 de Abril de 2018). Obtenido de MundoBIM:  
<https://mundobim.com/2018/04/que-es-bim/>

*Realidad Virtual para Arquitectura: el futuro es hoy.* (27 de Febrero de 2018). Obtenido de Factoría 5 Training Hub:  
<https://www.factoria5hub.com/single-post/realidad-virtual-para-arquitectura>

Alonso Madrid, J. (2014). Spanish Journal of BIM 15/01. *Nivel de desarrollo LOD. Definiciones, innovaciones y adaptación a España,* 40-56.

Bollnow, O., & D'Ors, V. (1969). *Hombre y Espacio.* Barcelona: Labor.

Bruscató Portella, U. (07 de 2006). Tesis Doctoral. *De lo digital en arquitectura.* Universitat Politècnica de Catalunya. Departament d'Expressió Gràfica Arquitectònica.

Burgos, I. (2008). Revista Venezolana de Información, Tecnología y Conocimiento. *El diseño en arquitectura: entre los chamanes del tercer entorno y la realidad virtual*(5), 109-126.

Camille Halabi, M. (Octubre de 2008). Tesis Doctoral. *Los inicios de la aplicación de la tecnología CAM en la arquitectura: la Sagrada Familia.* Barcelona.

Charfen Gacía, M. (2015). Trabajo Final de Máster. *Recomendaciones para la aplicación de los drones en el mundo de la arquitectura.* Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona Tech.

Cortés Yuste, E. (2014). Spanish Journal of BIM 15/01. *BIM: ¿Por qué?, ¿Para qué?, ¿Para quién?,* 64-65.

Cruz, D. (29 de Diciembre de 2015). *Plataforma Arquitectura*.

Obtenido de BIM como herramienta eficiente para las distintas fases de un proyecto:

<https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/778803/bim-como-herramienta-eficiente-para-las-distintas-fases-de-un-proyecto>

del Barrio T., R. (Mayo de 2017). Tesis Doctoral. *Uso de drones en la inspección para la rehabilitación del patrimonio. Iglesia de la Merced*. Burgos: Universidad de Burgos. Escuela Politécnica Superior. Departamento de Ingeniería Civil.

del Solar Serrano, P., Andrés Ortega, S., Vivas Urías, M., de la Peña González, A., & Liébana Carrasco, Ó. (2014). Spanish Journal of BIM 16/01. *Uso BIM en proyectos de construcción en España*, 4-12.

Domínguez, I., Romero, L., Espinosa, M., & Domínguez, M. (2013). Revista de la construcción Vol 12 Nº2. *Impresión 3D de maquetas y prototipos en arquitectura y construcción*, 39-53.

Duque, A. M. (20 de Febrero de 2017). *Realidad Virtual en Arquitectura: Más que una experiencia*. Obtenido de Revistadigital INESEM: <https://revistadigital.inesem.es/disenyo-y-artes-graficas/realidad-virtual-arquitectura/>

Economy, M. o. (Ed.). (2018). *Crafting The Future. A ROADMAP for Industry 4.0 in Mexico. ROADMAP*.

Eserte Eserverri, A. (28 de Junio de 2018). *MundoBIM*. Obtenido de Un pensamiento en "Niveles de desarrollo (LOD) y su importancia en Revit": <https://mundobim.com/2017/03/level-of-development-lod-bim/>

Fairs, M. (21 de Mayo de 2018). *Drones are "potentially as disruptive as the internet" according to Dezeen's new documentary Elevation*. Obtenido de Dezeen: <https://www.dezeen.com/2018/05/21/dezeen-drones-documentary-elevation-release/>

Fernández Álvarez, Á. (2015). Tesis Doctoral. *La arquitectura como interfaz. El paradigma informacional en la nueva arquitectura*. Universidade da Coruña.

García E., T. (8 de Diciembre de 2017). *Una impresora 3D para cada hospital en España*. Obtenido de Computerworld: <https://www.computerworld.es/tecnologia/una-impresora-3d-para-cada-hospital-en-espana>

García G., I. (Marzo de 2017). Trabajo Fin de Grado. *Estudio sobre vehículos aéreos no tripulados y sus aplicaciones*. Valladolid: Universidad de Valladolid. Escuela de Ingenierías Industriales.

García, A. L. (2000). Memoria para optar al grado de doctor. *Realidad Virtual*. Madrid: Universidad Complutense de Madrid. Facultad de Ciencias de la Información.

Gómez, J. (30 de Enero de 2017). *BIM y las nuevas tecnologías – Realidad virtual y realidad aumentada*. Obtenido de Animum, Creativity Advanced School: <https://www.animum3d.com/bim-las-nuevas-tecnologias/>

Harris, L. (4 de Mayo de 2015). *How Drones, VR and BIM are Improving Construction Jobsite Safety*. Obtenido de GRAY. Engineering Architecture Construction: <https://www.gray.com/news/blog/2015/05/04/how-drones-vr-and-bim-are-improving-construction-jobsite-safety>

Huertas, H. d. (23 de Mayo de 2017). *La era «Blade Runner» llega a la construcción*. Obtenido de ABC Tecnología: [https://www.abc.es/tecnologia/abci-blade-runner-llega-construccion-201705220941\\_noticia.html](https://www.abc.es/tecnologia/abci-blade-runner-llega-construccion-201705220941_noticia.html)

Ibáñez, Á. (4 de Junio de 2018). *Soluciones con drones en el mundo de la construcción*. Obtenido de Tendencias Inmobiliarias: <https://tendenciasinmobiliarias.es>

*Impresión 3D a gran escala*. (s.f.). Obtenido de Iaac (Institute for advanced architecture of Catalonia): <https://iaac.net>

Jurado Egea, J. (2016). Tesis Doctoral. *Aprendizaje integrado en arquitectura con modelos virtuales. Implementación de metodología BIM en la docencia universitaria*. ETSA, Universidad Politécnica de Madrid.

Kalawsky, R. (2000). *The validity of presence as reliable human performance metric in immersive environments*. In Presence 2000, 3rd International workshop on presence. Delft, The Netherlands.

La integración de BIM en los programas de Grado y Postgrado. (s.f.). *Spanish Journal of BIM*(16/01).

López Peral, M., García González, E., & Andújar Montoya, M. (2017). Redes colaborativas en torno a la docencia universitaria. *Aprendizaje basado en la metodología BIM en la docencia universitaria de sistemas constructivos*. Universitat D'Alacant. Institut de Ciències de l'Educació (ICE).

- Loredo Conde, A. (2016). Tesis Doctoral. *Aplicación de sistemas BIM y Fotogrametría en implantación de modelos de franquicias*. Universidad de Extremadura.
- Malé-Aleman, M. (Noviembre de 2015). Tesis Doctoral en Arquitectura. *El potencial de la fabricación aditiva en la arquitectura: Hacia un nuevo paradigma para el diseño y la construcción*. Escola Tècnica Superior d'Arquitectura de Barcelona (ETSAB), Universitat Politècnica de Catalunya (UPC).
- Mediavilla, A., Izgara, J., & Prieto, I. (2014). Spanish Journal of BIM 15/01. *HOLISTEEC – Plataforma colaborativa en la nube basada en BIM para el diseño de edificios energéticamente eficientes*, 4-11.
- Méndez, J. (15 de Junio de 2016). *La construcción del futuro tiene nombre: BIM. La nueva metodología permite construir edificios inteligentes y energéticamente eficientes*. Obtenido de El País: [https://elpais.com/economia/2016/06/15/vivienda/1466005630\\_855992.html](https://elpais.com/economia/2016/06/15/vivienda/1466005630_855992.html)
- Mesas, F., & García-Ferrer, A. (7 de Julio de 2015). *Aplicaciones de drones urbanísticas*. Obtenido de Aplicaciones y Operación con Drones/RPAS: <http://drones.uv.es/aplicaciones-de-drones-urbanisticas/>
- Ming, C. (2015). Independent Research Thesis. *Building with drones: outdoor experiments on lightweight structures*. Melbourne School of Design.
- Miranda, M. (7 de Julio de 2017). *Retina. El País Economía*. Obtenido de Firma Invitada. El reto de la ciudad inteligente está en saber aprovechar la nube.: [https://retina.elpais.com/retina/2017/07/06/tendencias/1499352140\\_425844.html?rel=mas](https://retina.elpais.com/retina/2017/07/06/tendencias/1499352140_425844.html?rel=mas)
- Mtnez-Espejo Z., I., Juan V., F., Caroti, G., & Fantini, F. (Abril de 2014). Tesis Doctoral. *Precisiones sobre el levantamiento 3D integrado con herramientas avanzadas, aplicado al conocimiento y la conservación del patrimonio arquitectónico*. Valencia: Universitat Politècnica de València. Escuela Técnica Superior de Arquitectura.
- Nadal, A., Pavón, J., & Liébana, O. (2017). *3D printing for construction: a procedural and materialbased*. Obtenido de Informes de la construcción 69(546): e193: <http://dx.doi.org/10.3989/ic.16.066>
- Naranjo, O. (2016). *Qué es la VR: historia y tipos de gafas de realidad virtual*. Obtenido de MediaTrends: <https://www.mediatrends.es/a/65544/que-es-vr-historia-tipos-gafas-realidad-virtual/>
- Otxotorena, J. (2007). EGA: revista de expresión gráfica. *Dibujo y proyecto en el panorama de la arquitectura contemporánea: impacto e influjo de los nuevos procedimientos gráficos*, 60-73.
- Paniagua, E. (28 de Abril de 2017). *Retina. El País Economía*. Obtenido de 'Smart Cities' Ciudades inteligentes: la clave NO está en la tecnología: [https://retina.elpais.com/retina/2017/04/27/tendencias/1493283914\\_759472.html?rel=mas](https://retina.elpais.com/retina/2017/04/27/tendencias/1493283914_759472.html?rel=mas)
- Paños Arroyo, J. (16 de Abril de 2018). *"Quien trabaje mal en construcción queda retratado en el software BIM"*. Obtenido de MIT Technology Review: <https://www.technologyreview.es/s/10150/quien-trabaje-mal-en-construccion-queda-retratado-en-el-software-bim>
- Patterson, J. (16 de Mayo de 2017). *Improving the BIM workflow with drones*. Obtenido de Heliguy: <https://www.heliguy.com/blog/2017/05/16/improving-the-bim-workflow-with-drones/>
- Picado, M. (9 de Marzo de 2017). *Cómo una impresora 3D cambió mi vida*. Obtenido de Plataforma Arquitectura: <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/866883/como-una-impresora-3d-cambio-mi-vida-el-lenguaje>
- Piedecausa-García, B., Pérez-Sánchez, J., & Mateo-Vicente, J. (s.f.). Jornades de xarxes d'investigació en docència universitària. (U. d'Alacant, Ed.) *Construcción virtual y realidad aumentada. Aplicación en el Grado de Arquitectura técnica*(XIV).
- Plaza López, J. (20 de Julio de 2017). *La construcción empieza a abrazar las tecnologías del siglo XXI*. Obtenido de Retina: [https://retina.elpais.com/retina/2017/07/17/tendencias/1500294559\\_382065.html](https://retina.elpais.com/retina/2017/07/17/tendencias/1500294559_382065.html)
- Realidad Aumentada + BIM aplicados a la construcción*. (s.f.). Obtenido de SPIN. Soluciones en Ingeniería: <http://spingenieros.com/actualidad-bim/realidad-aumentada-bim-aplicados-la-construccion/>

Reyes, A., & Pedroza, R. (2018). RIDE. Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo Vol 8 Nº16. *Retos de la formación profesional del diseñador industrial en la Cuarta Revolución Industrial (4RI)*.

Rodríguez Gómez, N. (Marzo de 2017). Cesvimap 99. *En 3 Dimensiones. Impresión 3d: la futura fabricación del recambio*, 10-14.

Rohrmann, B., & Bishop, I. (2002). Journal of Environmental Psychology 22(4). *Subjetive responses to computer simulations of urban environments*, 319-331.

Sachon, M. (Octubre de 2015). Harvard Deusto. Márketing y Ventas. *Impresión 3D: el futuro de la fabricación*, 6-11.

Sarrión E., J., & Benlloch D., C. (2017). Rights and science in the drone era. Actual challenge in the civil use of drone technology. Independent Thinking UNED Research project Actual challenges for the regulation of the civil use of drones (DroneLawChallenges).

Tomás Franco, J. (7 de Febrero de 2018). *Plataforma Arquitectura*. Obtenido de ¿Qué es BIM y por qué parece ser fundamental en el diseño arquitectónico actual?: <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/887546/que-es-bim-y-por-que-es-fundamental-en-el-diseno-arquitectonico-actual>

UAS Enable Faster, Safer Curtain Wall Inspections. (s.f.). Obtenido de BIM Learning Center: <http://bimlearningcenter.com/uas-enable-faster-safer-curtain-wall-inspections/>

Ustundag, A., & Cevikcan, E. (2017). *Industry 4.0: managing the Digital Transformation*. Birmingham: SpringerSeries in Advanced Manufacturing.

Valencia, N. (9 de Febrero de 2017). *Una revolución inminente: la visión de Areti Markopoulou sobre el futuro de la impresión 3D*. Obtenido de Plataforma Arquitectura: <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/803969/una-revolucion-inminente-la-vision-de-areti-markopoulou-sobre-el-futuro-de-la-impresion-3d>

Zaragoza, I. M.-E. (Abril de 2014). Tesis Doctoral. *Precisiones sobre el levantamiento 3D integrado con herramientas avanzadas, aplicado al conocimiento y la conservación del patrimonio arquitectónico*. Valencia: Universitat Politècnica de València. Escuela Técnica Superior de Arquitectura.





UVA

industria 4.0 / i4.0 / aec / fabricación /  
manufactura / fabricación digital / cnc /  
arquitectura / arquitectura digital / arquitectura  
avanzada / construcción / construcción 4.0 /  
bim / realidad virtual / vr / realidad aumentada /  
ar / tercer entorno / ciberespacio / 3d / dron / ua  
/ uas / uav / rpa / rpas / vant / fabricación  
aditiva / fa / am / impresión 3d / prototipado  
rápido / rp / cad / cam / cad-cam / sistemas  
ciberfísicos / cps / iot / internet de las cosas /  
inteligencia artificial / ai / inteligencia / cloud  
computing / bid data / robot / robótica  
avanzada / robótica colaborativa / materiales  
inteligentes / sostenibilidad / eficiencia /  
productividad / edificio inteligente / smart  
building / ciudad inteligente / smart cities /

## Arquitectura y Construcción Digital

En la actual Era de la información, la Transformación Digital ha alcanzado todos los sectores, incluidos los de la Arquitectura, la Construcción y la Ingeniería (Industria AEC), que mediante las tecnologías habilitadoras se adaptan a la Cuarta Revolución Industrial, la Industria 4.0. La Fabricación Digital permite cerrar la brecha existente entre la tercera dimensión y la manufactura, con nuevos métodos de producción más veloces, eficientes económicos, y sostenibles que los medios tradicionales.

Para lograrlo disponemos de recientes tecnologías como la robótica avanzada, las Realidades Virtual y Aumentada, los Drones y la Fabricación Aditiva, junto con otras ciencias aplicadas como la Inteligencia Artificial, el cloud computing, o el Internet de las Cosas.

El éxito de la Arquitectura y la Construcción 4.0 nace de la combinación y el trabajo colaborativo entre todas las anteriores y la metodología BIM (Building Information Modeling) como nuevo paradigma de edificación en busca de las Ciudades Inteligentes.

- 1.0 Revolución 4.0
- 2.0 El BIM
- 3.0 Realidades Virtual y Aumentada
- 4.0 Los drones
- 5.0 Fabricación Aditiva