

Impresión 3D: la nueva revolución industrial

- 3D printing: the new industrial revolution

Esp. Edwar Guillermo Velasco (1)
Corporación Universitaria de Comfacaucá, Colombia
edwarvelasco@unicomfacaucá.edu.co

Mag. David Armando Revelo (2)
Corporación Universitaria de Comfacaucá, Colombia
drevelo@unicomfacaucá.edu.co

Fecha de Recepción: 26 de Marzo de 2019 / Fecha de Aceptación: 13 de Noviembre de 2019

Resumen: Se presenta una reseña histórica, así como algunos principios básicos de funcionamiento acerca de una de las tecnologías disruptivas más importantes del siglo XX: La impresión 3D. Aunque el concepto de impresión 3D ha sido ampliamente difundido, existe una parte de la población que desconoce los fundamentos y alcances de esta tecnología disruptiva. Este trabajo presenta una reflexión en relación al estado actual de la tecnología y su impacto en diferentes escenarios industriales, y se propone el desarrollo de un recurso educativo exelearning como herramienta de apropiación y divulgación de la tecnología. La digitalización en 3D es conocida desde el siglo XX; en la actualidad puede incursionar en nuevos campos, desde la academia, pasando por las numerosas aplicaciones en el mercado y la industria, incluso en el área social, ofreciendo aplicaciones casi infinitas para la materialización de nuevos productos. Cuando se habla de impresión 3D se infiere que el proceso que se realiza es similar a las impresoras de papel, pero en lugar de depositar tinta se hace con cualquier otro material que puede ser de diferente naturaleza para conseguir así un objeto tridimensional. La impresión 3D utiliza sólo el material necesario para fabricar objetos, reduciendo al mínimo el desperdicio de insumos. Por el contrario, métodos de fabricación convencionales manufacturan piezas con considerables pérdidas de material. Tecnologías de impresión 3D están cambiando el mundo y los procesos industriales porque permiten obtener resultados de forma rápida, efectiva y de precisión en relación a la construcción de objetos a partir de diseños digitales. Este tipo de tecnologías son aplicables en diferentes disciplinas como, la revisión de literatura mostró que existen avances importantes en industrias como: construcción, automotriz, aeroespacial, médica, transporte, alimentación y en la educación. Sin embargo, aún existen varios retos en cuanto a la síntesis de materiales con características mecánicas adecuadas.

Palabras clave: Educación, Escáner 3D, Exelearning, Impresión 3D, Recurso, Tecnología 3D.

Abstract: A historical overview is presented, as well as some basic operating principles about one of the most important disruptive technologies of the 20th century: 3D printing. Despite the fact that the concept of 3D printing has been widely spread, there is a part of the population that does not know the fundamentals and scope of this disruptive technology. This work shows a reflection about the current state of technology and its impact on different industries, and the development of an exelearning educational resource is proposed as a tool for appropriation of technology. 3D digitization has been known since the 20th century; Nowadays it can enter new fields, from the academy, through the numerous applications in the market and industry, even in the social area, offering almost infinite applications for materialize in new products. When talking about 3D printing, it is inferred that the process carried out is similar to paper printers, but instead of depositing ink, it is done with any other material that may be of a different nature to achieve a three-dimensional object. 3D printing uses only the material needed to make objects, minimizing waste of supplies. In contrast, conventional manufacturing methods manufacture parts with considerable material losses. 3D printing technologies are changing the world and industrial processes because they allow to obtain results quickly, effectively and accurately in relation with the manufacturing of objects from digital designs. These types of technologies are applicable in different disciplines, the literature review showed that there are important advances in industries such as: construction, automotive, aerospace, medical, transportation, food, and education. However, there are still several challenges to be addressed about synthesis of materials with adequate mechanical characteristics.

Keywords: Education, Resource, Exelearning, 3D printing, 3D scanner, 3D Technology.

1. Introducción:

Desde tiempos pasados la tecnología ha estado presente en la vida de los individuos facilitando la interacción entre los mismos, logrando un eficiente intercambio de

información y la creación de nuevas herramientas. Es evidente que en la actualidad la ciencia avanza de tal manera que permite un desarrollo importante en lo social, político y económico. Esto ha generado una propagación de nuevas metodologías de manufactura. Tecnologías

1. Ingeniero Mecatrónico, Especialista en Tecnologías de la Información y la Comunicación en Educación de la Corporación Universitaria Comfacaucá

2. Ingeniero Físico, Ingeniero en Automática Industrial de la Universidad del Cauca, Magíster en Ingeniería con Énfasis en Ingeniería Sanitaria y Ambiental de la Universidad del Valle. Profesor de la Corporación Universitaria Comfacaucá y co-lider del Grupo de Investigación en Sistemas Inteligentes-GISI de la misma institución

como el scanner 3D han estado presentes en la vida de los seres humanos desde hace ya algunas décadas, soportada en los últimos años por el avance de la electrónica y desarrollo e implementación de la impresión 3D. [1]

Es así como el proceso de digitalización en 3D se ha constituido como un gran avance en los diferentes procesos de manufactura, así como de gran impacto y utilidad que permite modelar, diseñar y crear bienes de consumo con el objetivo de satisfacer necesidades humanas y del mercado. En la segunda mitad del siglo XVIII empezó la “Revolución Industrial”, una era donde se implementaron nuevos métodos de producción y manufactura gracias a la invención de innovadoras máquinas que utilizaban la combustión de carbón como fuente de energía. Gracias a esto, el hombre reemplazó las labores manuales por procesos mecánicos, eficientes a la hora de transformar materias primas en productos tangibles y útiles para el consumo de la sociedad. Algunas décadas después llegó la segunda revolución industrial donde tuvo lugar la invención del motor de combustión interna (siglo X), éste utilizaba combustibles fósiles derivados del petróleo, que poseían características distintas a las del carbón y permitían un uso más eficiente de la energía potencial que liberaban al ser sometidos a condiciones especiales de presión y temperatura., lo que abrió la puerta a numerosas posibilidades para la creación de nuevas aplicaciones industriales, nuevos materiales y métodos para el procesamiento de materias primas [2].

Es así como el ser humano deja atrás la necesidad no solo de inventar herramientas que sirvan como extensiones de su cuerpo sino también, extensiones para su mente. Esto gracias al impulso tecnológico que implicó durante el siglo XX la llegada del transistor, los sistemas digitales, la computación y el internet. En el año de 1976 se inventa la primera impresora de inyección de tinta fina, gracias a la unión de varias tecnologías disponibles para la época. Desde aquel entonces, estas aplicaciones han venido evolucionando de manera satisfactoria para dar lugar a diferentes metodologías de impresión, por ejemplo: la impresión con materiales moldeables, impactando positivamente diferentes ramas de la industria, debido al aumento de la productividad. En la actualidad, gracias a la tecnología en impresión 3D, la producción o creación de bienes de consumo ya deja de estar únicamente en manos de las grandes empresas y de los dueños de grandes capitales, para pasar a manos del ciudadano común quien puede crear objetos según su necesidad, siempre y cuando cuente con una impresora 3D. En un mediano plazo se espera que cada institución educativa cuente con esta tecnología para apoyar procesos de

enseñanza-aprendizaje; y más importante aún, es el objetivo donde en cada casa exista la tecnología necesaria para la manufactura de objetos e incluso comida. Las técnicas y aplicaciones de impresión 3D para construcción se encuentran en una fase inicial de desarrollo. Especialmente en lo referente a materiales como a procedimientos constructivos, hay mucho espacio de desarrollo; En el campo de la salud, quizás lo que más ha impacto recientemente ha sido cómo un modelo de corazón impreso en 3D ayuda a cambiar el complicado pronóstico de una niña de cinco años. Esta solución ha permitido a los cirujanos mejorar la preparación de la operación, reducir las complicaciones, así como el tiempo de intervención, ofreciendo el cuidado más profesional y personalizado. Esto representa no una perspectiva irreal sino algo inevitable. En la tabla 1, se muestra un conjunto de acontecimientos relevantes en relación a la tecnología de impresión 3D y sus aplicaciones prácticas.

Año	Acontecimiento
1984	Charles Hull inventa la estereolitografía.
1987	Carl Deckard desarrolla el proceso de sinterizado selectivo por laser
1988	Scott Crump inventa el modelado por deposición fundida (FDM) y al mismo tiempo “3D Systems” lanza al mercado la primera impresora 3D de uso comercial.
1993	Se desarrolla la impresión 3D por inyección (3DP) en el MIT.
1999	Se implantan los primeros órganos modificados por medio de implantes arteriales impresos en 3D y cubiertos por células del paciente – instituto de medicina regenerativa de Wake Forrest.
2002	Se imprime en 3D el primer riñón completamente funcional – Instituto de medicina regenerativa de la universidad Wake Forrest.
2005	Z corporation lanza el primer equipo de impresión 3D capaz de trabajar en color a alta definición. Se establece “Exone” como una spin-off de Extrude Hone Corporation y Selsky Inc. Siendo pioneros en el proceso aditivo basado en tecnología de soldadura por haz de electrones (EBW). El Dr. Adrian Bowyer funda RepRap, una iniciativa open source para crear una impresora 3D que pudiera imprimir sus propias partes. También, StratsSys lanza el servicio de Rapid Prototyping & Printing Service Bureau: RedEye.
2008	Desktop Factory es adquirido por 3D Systems. El proyecto RepRap lanza “Darwin”, la primera impresora auto replicante que puede imprimir la mayoría de sus componentes. Se desarrolla la primera prótesis de pierna impresa en 3D.
2011	La Universidad de Cornell comienza a construir una impresora 3D para alimentos. Shapeways y Continuum Fashion anuncian el primer bikini impreso en 3D. En la conferencia de TEDMED 2011, el Dr. Gabor Forgacs (Organovo Inc), cocina y come carne producida mediante un proceso de bioimpresión 3D
2013	Defense Distributed lanza “The Liberator”, la primera arma de fuego impresa en 3D. Robohand crea la primera prótesis de mano.
2014	Stamooe Fabrica un modelo a medida de una pelvis en 3D. Organovo Inc. Realiza la primera venta de tejidos humanos bioimpresos (exVive3D). Grace Choi revela “Mink”, la primera impresora 3D de maquillaje. Local Motors imprime en Chicago un automóvil en 3D, “Strati”. Shanghai Winsun Decoration Design Engineering Co. Difunde su sistema de impresión 3D “Atlas”, capaz de construir casas.

Procesos de impresión 3D Modelado por deposición de material fundido

Este proceso de impresión consiste en una inyección de material fundido sobre una base con un mecanismo que le provee la capacidad de moverse verticalmente. Un cabezal automatizado con dos grados de libertad en planos ortogonales alimentado por filamento termoplástico va

depositando sistemáticamente el material formando una capa. Una vez la construcción de la capa ha finalizado, la base baja para continuar con las capas siguientes hasta formar el objeto deseado.

La boquilla del extrusor del cabezal se mantiene a una temperatura constante y por debajo del punto de fusión del material termoplástico, haciendo eficiente energéticamente el proceso de deposición del polímero [4].

Estereolitografía

Consiste en la utilización de una resina fotosensible en estado líquido, la cual bajo el efecto de un láser de alta frecuencia a una potencia determinada comienza un proceso de polimerización. Al principio del proceso se tiene una base de trayectoria vertical ubicada a cierta distancia de la superficie del líquido (fotopolímero), el láser sigue la superficie de la sección junto con su contorno, solidificando las regiones expuestas a la radiación ultravioleta. Una vez se logra conformar una sección, la base vertical se sitúa en la altura de la siguiente lámina, repitiendo el proceso [5]. Se observa el proceso de estereolitografía en la Figura 1.

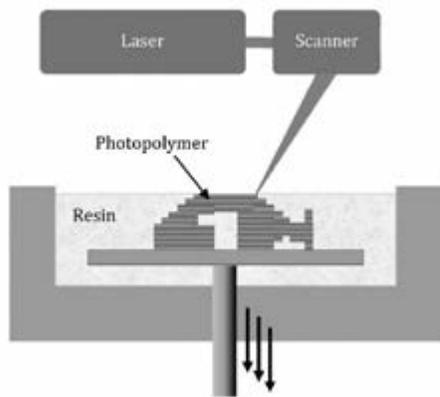


Fig. 1. Proceso estereolitográfico [6].

Sinterizado selectivo por láser

Se utilizan láseres de gran potencia de CO₂ para derretir de forma selectiva un polvo termoplástico, modelando piezas geométricamente complejas, de acabado impecable y alta precisión en el detalle, que serían imposibles de crear mediante otros procesos de manufactura [7]. El sinterizado selectivo por láser permite crear prototipos y piezas funcionales para la industria aeroespacial, electrónica, vehículos [8], instrumentación quirúrgica

[9] y fabricación de talleres especializados. Esta técnica se destaca en la manufactura de materiales de cambio de fase para aplicaciones que requieren alta eficiencia en procesos de intercambio de energía [10]; también está impactando de manera importante la industria del plástico, debido a que permite alargar la vida útil de los materiales a través de procesos de manufactura aditiva en relación a la economía circular de esta industria [11]; en el campo de la metalurgia, este proceso ha permitido crear piezas de alta calidad, bajo costo y alta repetibilidad en sus tolerancias, especialmente en el tratamiento de aluminio para industrias especializadas [8]; incluso está logrando un importante impacto en aplicaciones biomédicas para sustituir materiales de características mecánicas específicas que no se logran fabricar artificialmente usando los métodos convencionales [9]; los materiales cerámicos que han sido considerados los más promisorios en aplicaciones que requieren propiedades mecánicas robustas a altas temperaturas, también han sido objeto de tratamiento con la técnica de sinterizado por láser, mostrando resultados importantes para generar materiales de construcción [12], [13].

En este proceso (Figura 2. Sinterizado selectivo por láser) un haz de alta potencia sinteriza el polvo termoplástico en puntos predefinidos por el software de diseño. Anteriormente, esta capa de polvo (décimas de mm) ha sido depositada en un recipiente y calentado a una temperatura apenas por debajo del punto de fusión del material, permitiendo el modelado exacto del objeto o pieza requerida. [14].

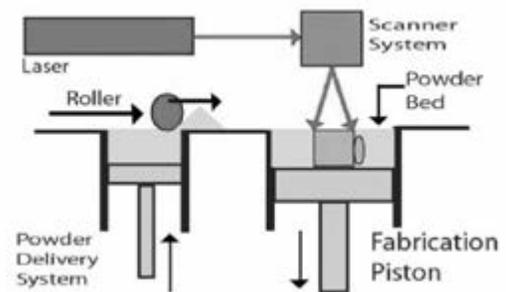


Fig. 2. Sinterizado selectivo por láser [15].

Fabricación por corte y laminado

Se trata de un proceso automatizado que genera un objeto tridimensional a partir de un modelo CAD gracias a una laminación secuencial de secciones transversales. El corte se logra mediante un láser de CO₂ de alta potencia

que es controlado por una mesa de posicionamiento XY. Este proceso cuenta con 3 fases:

Fase 1: generación del fichero CAD/STL del objeto o pieza a diseñar.

Fase 2: construcción de capas finas de adhesivo recubierto de material y unidas unas a otras, siendo previamente cortadas por el haz laser de alta potencia, esta incidencia sobre la superficie quema el perímetro especificado en el modelo CAD. Finalmente, todo lo que está dentro de los límites se libera, la plataforma con la pila de capas desciende y una nueva sección pasa a la parte posterior. La base vuelve a ascender y el material a alta temperatura se superpone juntándose a la pieza, el proceso se repite.

Fase 3: separación de material de apoyo. La temperatura en esta parte del proceso debe mantenerse constante para que no existan daños en el material, esto se logra gracias a un lazo de control de temperatura que garantiza una separación exitosa del material.

En la Figura 3. Esquema de funcionamiento del proceso de corte y laminado.

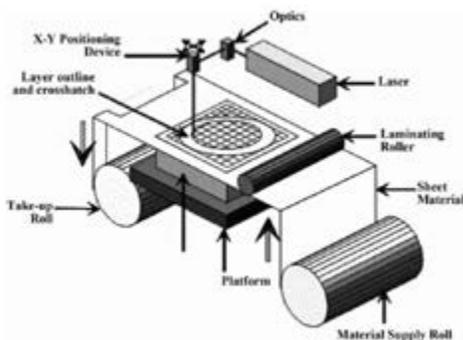


Fig. 3. Esquema de funcionamiento del proceso de corte y laminado [16]

Tabla II
 Ventajas y desventajas de la impresión 3D [17].

Ventajas	Desventajas
Accesibilidad	Disminución de puestos de trabajo
Opciones variadas de manufactura	Uso limitado de materiales
Prototipado y fabricación rápidos	Vulneración de los derechos de autor
Reducción de costos	Creación de productos peligrosos (armas blancas y de fuego)
Reducción de la necesidad de almacenamiento	Aumento de productos inútiles
Aumento de oportunidades de empleo	Tamaño limitado de los productos
Mejora de la calidad de vida	Costos elevados de las impresoras

Aplicaciones de la impresión 3D

Las aplicaciones de la impresión 3D generan un progreso tecnológico en diferentes campos, a continuación, se presentan algunas de las áreas de aplicación donde la impresión 3D ha tenido un impacto significativo.

Transporte

La impresión 3D se ha usado ampliamente en la fabricación de piezas o vehículos enteros. Las compañías Bentley y 3TRPD2 han demostrado que la utilización de la impresión 3D para la manufactura de sus unidades es evidentemente una opción viable en piezas de geometría compleja. Hoy en día, los fabricantes de automóviles utilizan principalmente la impresión 3D para la creación de prototipos en lugar de la fabricación de piezas, debido a que los volúmenes de producción automotriz son demasiado altos para que esta tecnología sea un método de fabricación viable para la mayoría de las piezas terminadas. Cada nuevo diseño en la industria automotriz es primero prototipado en miniatura usando impresión 3D de piezas metálicas, permitiendo a los diseñadores hacer ajustes y modificaciones funcionales a muy bajo costo. Para algunas empresas como Porsche constituye una mejor opción fabricar piezas de reemplazo por pedido, usando impresión 3D, que fabricarlas de forma convencional y usar recursos de espacio de almacenamiento que generan gastos adicionales. Por otra parte, el trabajo con aluminio y el avance del uso de este material en la impresión 3D ha permitido a la industria automotriz generar modelos en la dirección favorable de los requerimientos de vehículos más livianos y eficientes [18]. Una empresa mediana de control de motores automotrices (Local Motors) utilizó núcleos de arena impresos en 3D para la realización de prototipos y obtuvo una disminución de 16 semanas a una semana o menos en los tiempos de creación de prototipos. Un gran proveedor (3D Systems) de automoción utilizó la manufactura 3D para prototipos conceptuales, preproducción y modelos de espectáculos. Las empresas automotrices también experimentaron mejores tiempos de ciclo de producto al experimentar con la impresión 3D para accesorios de montaje, dispositivos de prueba y herramientas de brazos robóticos [19]. Actualmente el objetivo de empresas como XEV es construir automóviles totalmente impresos en 3D, han logrado tiempos de fabricación que están alrededor de 3 días por vehículo, constituyendo un avance importante en la industria. Existen procesos que aún requieren repensarse y son susceptibles de mejora, por ejemplo, los aditamentos menores del vehículo aún deben instalarse manualmente; y aún el proceso de manufactura de ensamblaje completo no se compara en velocidad con las líneas de ensamblado convencionales [18].

Alimentación

La empresa catalana “Natural Machines” creó “Foodini” la primera impresora 3D capaz de imprimir alimentos frescos (no sólidos), salados y dulces. La empresa especializada Nanotek Instruments Inc. recientemente creó un método de prototipos rápidos para la producción de alimentos usando esta tecnología. Sin embargo, ningún prototipo físico fue construido. En 2009 Nico Klaber presenta un diseño “molecular” en el concurso Electrolux Design, proponiendo un brazo robótico capaz de personalizar platos de comida e imprimir algunos comestibles. Philips Design propuso un método de impresión en 3D con alimentos, utilizando cartuchos de comida y una interfaz de usuario en la cual el usuario podría seleccionar los alimentos [20]. Se han estudiado diferentes propiedades en los materiales comestibles como: elasticidad, viscoelasticidad, esfuerzo cortante; y se han encontrado que, combinaciones de materiales en proporciones adecuadas pueden ser impresas con características mecánicas aceptables. En [21] se usa una mezcla de jugo de limón y almidón de papa; [22] usa huevos de gallina y arroz como material de impresión; [23] usa una mezcla de harina de trigo, aceite de oliva y agua como material de extrusión; [24] usa gel de pescado y NaCl como material de impresión. Aunque los avances en esta área han sido significativos, según [25] existen muchos alimentos de consumo común que no presentan propiedades mecánicas adecuadas para su impresión. En el futuro se deberían encontrar métodos para imprimir una variedad mayor de materiales comestibles, orientando el trabajo en las técnicas para disminuir los costos de impresión.

Medicina

La impresión 3D ha permitido la creación de órganos de tejido blando, implantes metálicos, implantes de cadera, plantillas ortopédicas, dispositivos ortopédicos corporales, incluso trasplantes de mandíbula. Son numerosas las personas que necesitan sustituir partes del cuerpo que han sido amputadas: bebés nacidos sin extremidades o víctimas de accidentes de tránsito. Anteriormente el costo para acceder a una prótesis era extremadamente elevado, pero gracias a la impresión 3D, los precios han disminuido sustancialmente. La utilización de prótesis ha logrado efectos positivos en personas discapacitadas, tal es el caso del campeón de los juegos Paralímpicos “Oscar Pistorius” quien

perdió las piernas cuando aún era un niño, ha sido un icono y ejemplo a nivel mundial [26]. Recientemente, varios estudios han mostrado el uso de la técnica de impresión 3D en la fabricación de huesos artificiales, impresión con células madre, vasos sanguíneos, tejidos y órganos. Aunque el estudio de materiales como hidrogeles ha constituido un avance significativo en la impresión 3D para aplicaciones médicas, por sus características físicas, químicas y biológicas [6], aún existe un amplio camino de desarrollo en la búsqueda de nuevos materiales biocompatibles y con características mecánicas adecuadas que permitan ampliar el horizonte de aplicaciones de la impresión 3D en la medicina [27].

Defensa

La industria militar crea mediante impresión 3D, piezas de geometría compleja para sus aplicaciones armamentísticas, dado que necesitan recambios constantes. Defense Distributed creó la primera arma de fuego impresa en 3D. Rusia crea en 2015 el tanque T-14 a través del contratista de defensa Uralvagonzavod, uno de los primeros fabricantes de vehículos blindados del mundo en crear sus unidades utilizando la impresión 3D. Actualmente se encuentran trabajando en la fabricación de piezas de titanio mediante técnicas de fabricación aditiva, se espera que cumplan con las exigentes pruebas de calidad impuestas por el gobierno ruso y puedan ser utilizadas en la fabricación de vehículos militares operativos. [28]. En la industria militar, se considera que la mayor ventaja de la impresión 3D está en relación a la reducción de la dependencia de las cadenas de suministros de equipos y partes [29].

Industria aeroespacial

La impresión 3D es empleada para fabricar componentes de difícil manufactura de aeronaves, drones, motores, incluso en transbordadores espaciales. La empresa fabricante de motores Pratt & Whitney utiliza en sus unidades alrededor de doce partes diseñadas y manufacturadas utilizando tecnologías de fabricación aditiva. Estas piezas son: colectores de combustible, boquillas de inyección y piezas de sujeción, que han sido impresas en 3D utilizando níquel y titanio. La utilización de esta tecnología representó una reducción del peso en las piezas de 50%. Los procesos utilizados son principalmente fusión de haz de electrones y sinterización laser directa de metal [28]. En este sector de la industria, la manufactura aditiva de

metales y no metales ha impactado los procesos de producción. En general, en la manufactura aditiva de no metales, la impresión 3D ha sido protagonista. Las técnicas más utilizadas son Modelado por Descomposición Fundida y Estereolitografía [30].

Educación

La empresa MakerBot, lanza una campaña de crowdfunding para lograr tener una impresora 3D en cada escuela de Estados Unidos. Las aplicaciones en la educación son numerosas, se pueden implementar para el aprendizaje de nuevos conocimientos en programación, modelado 3D, obtención de nuevos materiales e innovación en procesos de manufactura. El Gobierno de las Canarias plantea algunas ventajas al implementar la impresión 3D en el aula: 1. Fomento de la creatividad y la capacidad para resolver problemas: una de las principales ventajas es la capacidad para materializar las ideas en objetos reales. Esta funcionalidad provoca un cambio de mentalidad en el alumnado, ya que tiene que superar los obstáculos que surjan en el mundo físico aplicando la creatividad y la innovación hasta obtener el resultado deseado. La adquisición de estas aptitudes prepara mejor al estudiante para el futuro mundo laboral. 2. Generar una mayor participación: las impresoras 3D convierten las experiencias de aprendizaje en un proceso mucho más lúdico y participativo. Existen centros escolares que crean espacios comunes para que el alumnado pueda explorarlos de manera conjunta, donde el papel dinamizador del docente es muy importante. 3. Promover la motivación hacia el aprendizaje: la posibilidad de aprender a través de la práctica y poder palpar sus diseños, hace que el alumnado muestre un mayor interés y dispare su motivación por el aprendizaje. En definitiva, pasar de las clases teóricas a la creación propia puede ser un gran incentivo en el proceso de aprendizaje. 4. Hacer de la abstracción algo sencillo de entender: al poder manipular los ejemplos facilitamos la adquisición del conocimiento, ya que como indican algunas teorías psicológicas, a mayor implicación de los sentidos mayor será la adquisición del aprendizaje, por lo que a escuchar y observar se le une el tocar [31]. En un estudio de revisión del estado del arte en [32] se encontró que las aplicaciones de la impresión 3D en entornos educativos pueden sintetizarse en 6 categorías: (1) para enseñar sobre impresión 3D a los estudiantes, (2) para enseñar sobre impresión 3D a los profesores, (3) como apoyo tecnológico en las actividades de enseñanza,

(4) para producir elementos que apoyen el aprendizaje, (5) para crear tecnologías que asistan los procesos, (6) para apoyar actividades de divulgación. Aunque las evidencias del impacto de la impresión 3D en la educación son cada vez mayores, aún es necesario realizar más estudios en una población más significativa, con el fin de determinar la verdadera naturaleza y magnitud de los beneficios en el aprendizaje, estos estudios deben responder a preguntas como ¿Cómo debería integrarse la impresión 3D en la enseñanza?, y ¿Qué políticas institucionales y nacionales son necesarias para que los beneficios sean mayores?

Industria del Arte

Se han replicado obras de arte hasta el momento imposibles de reproducir, de artistas como Van Gogh. Gracias a los sistemas informáticos Open Source, los artistas plásticos, pintores y escultores pueden experimentar nuevas formas de expresar las emociones generadas por el mundo que los rodea, implementando nuevas técnicas gracias a la impresión 3D. entre los años 2000 y 2010 empezaron las primeras exposiciones artísticas donde se mostraban obras impresas en 3D. En un comienzo no se consideraban obras de arte sino como una posibilidad de innovación gracias a la tecnología. En 2015 se presentan las primeras obras de arte, formalmente aceptadas como tal, en ciudades con importantes exposiciones artísticas, tales como: el centro de Pompidou en Francia o la exposición organizada por la Fundación Telefónica donde se expone al mundo una nueva perspectiva artística a través de la tecnología. El artista francés Gilles Azzaro llamado el "Escultor de Voz" se especializa en imprimir en 3D sonidos, frases o discursos. Azzaro logró gran reconocimiento en 2013 al crear una escultura con un discurso en audio de Barack Obama [28].

Arquitectura

El desarrollo de maquetas ha sido una de las actividades más beneficiadas por la impresión 3D. En Holanda se crea la primera casa con esta tecnología, utilizando una impresora 3D de gran proporción (KamerMaker). En china se construyeron 10 casas de una planta en 24 horas, procedimiento que normalmente toma semanas o meses. Es así como la impresión 3D proporciona una forma más económica, segura y rápida para construir edificaciones. WinSun Decoration utilizó 4 impresoras 3D de gran tamaño para construir casas en los suburbios de Shangai, utilizando como materia

prima una mezcla de cemento y residuos pre procesados de construcción [26]. Los beneficios más importantes de la impresión 3D en la arquitectura están relacionados con: reducción de costo y tiempo de construcción, disminución en la contaminación del ambiente, y reducción de los riesgos de lesiones y muertes en los sitios de construcción; se consiguen también mejoras en cuanto al detalle de los diseños, la precisión y repetibilidad de los modelos. Aunque el desarrollo en este sector está aún en una etapa temprana, el futuro de la impresión 3D en la construcción es promisorio. Se espera que primero se consiga una integración con los métodos convencionales de construcción, como un modelo mixto, y finalmente pueda considerarse la impresión 3D como la principal tecnología del desarrollo urbanístico [33]. Existen retos que se deben afrontar paulatinamente en cuanto a la síntesis de materiales con las características estructurales adecuadas, y la construcción de grandes impresoras que cubran espacios de trabajo a la medida para esta industria [34], [35], [36], [37].

2. Metodología

Metodología para la revisión de literatura

Este trabajo se elaboró siguiendo la metodología denominada “Revisión sistemática de literatura en ingeniería” la cual se trata de una metodología de revisión de literatura compuesta por cuatro procesos (identificar, describir, profundizar, divulgar), que permite deducir las condiciones actuales y los desafíos futuros de temas propios de ingeniería, posibilitando reproducibilidad de los resultados, garantizando eficacia en la identificación de la literatura más posicionada y propiciando eficiencia a los investigadores o estudiantes en formación [38]

Esta metodología de revisión de literatura se aplicó teniendo en cuenta los pasos que se describen a continuación.

1. Selección de tema: impresión 3D.
2. Palabras clave: impresión 3D, tecnología, control, revolución, industria.
3. Bases de datos: Google académico, Scopus, IEEE, Scielo, Science Direct.
4. Criterios de inclusión y exclusión de resultados de literatura.

a. Criterios de inclusión: artículos indexados, libros con ISBN, tesis de maestría, material en idioma español e inglés, páginas web oficiales de empresas pioneras.

b. Criterios de exclusión: documentos en idiomas diferentes al español o inglés, literatura gris (documentos no revisados o indexados).

5. Cadena de búsqueda:

a. (Impresión 3d) AND (Manufactura) AND (Diseño) AND (Objetos).

b. (3D printing) AND (Automotive OR Food OR Medical Applications OR Military OR Education OR Aerospace)

6. Organización del material consultado: software Mendeley.

Metodología para la elaboración del recurso educativo

La metodología utilizada para elaborar el recurso educativo “Trivia de conceptos de impresión 3D” utilizando la herramienta “EXEARNING”, se denomina ADDIE, la cual tiene las siguientes etapas [39]

Análisis: De acuerdo al tema “impresión 3D” se eligen conceptos significativos de la temática y se plantean 10 Actividades.

Diseño: se elige el entorno para creación de recursos educativos “EXEARNING” y se cargan 10 actividades divididas de la siguiente forma: 3 preguntas de elección múltiple acerca de un video cargado; 3 preguntas de selección múltiple, acerca de la información contenida en el presente trabajo; 1 actividad de rellenar espacios con palabras clave en un párrafo; 1 actividad de lista desordenada; 2 preguntas de FALSO y VERDADERO; Actividad de reflexión: video informativo.

Desarrollo: Las actividades se organizan en 4 secciones principales y se cargan las preguntas, únicamente las respuestas correctas tienen realimentación positiva (despliegue de video o imagen) reforzando la información contenida en la pregunta.

Implementación: una vez terminadas las fases anteriores se corre una prueba para corroborar el funcionamiento fluido del recurso.

Evaluación: se evalúa el desempeño del recurso y su estabilidad.

3. Marco Conceptual - conceptos de Interés

Este trabajo se realizó teniendo en cuenta algunos conceptos técnicos básicos relacionados con la elaboración del recurso y acerca de las diferentes tecnologías de impresión y manufactura 3D. Estos se presentan a continuación.

Exelearning: Es un programa de edición de sitios web educativos de código abierto único por la sencillez de su manejo y por las herramientas que incorpora. Permite editar páginas con contenido multimedia (imágenes, vídeo, audio, animaciones, expresiones matemáticas); un repertorio de hojas de estilo y, además, exportar el proyecto como sitio web y en paquetes estándar (SCORM, IMS, CP). [40].

Modelo ADDIE: Es un proceso de diseño Instruccional interactivo, en donde los resultados de la evaluación formativa de cada fase pueden conducir al diseñador instruccional de regreso a cualquiera de las fases previas. El producto final de una fase es el producto de inicio de la siguiente fase. [39]

Base o bandeja de impresión: Superficie plana donde los modelos 3D se superponen durante el proceso de impresión. La base puede estar a temperatura ambiente o sometida a un proceso de calefacción dependiendo del tipo de material utilizado en la impresora. Se utilizan bases con calefacción para mantener caliente la sección impresa para evitar deformaciones indeseadas del material. [41]

Extrusor: Dispositivo que empuja hacia afuera y alimenta el filamento de plástico (o cualquier otro filamento). Los extrusores se incorporan típicamente en el extremo caliente, sin embargo, en algunos tipos pueden ser remotos, empujando el filamento a través de un tubo, llamado cable Bowden, hacia el extremo caliente. En algunos tipos se usa un extrusor dual, que permite imprimir dos materiales diferentes al mismo tiempo. Esta característica adicional da como resultado un aumento en el precio, ya que requiere una extrusora adicional [41].

Extremo Caliente o Hot End: Se compone de una fuente de calor, un sensor de temperatura y una punta de extrusión donde se alimenta el filamento de plástico para depositar material fundido, que a menudo se confunde con la extrusora. El orificio en la ranura puede variar en tamaño, generalmente entre 0.2 mm y 0.8 mm. Cuanto más pequeña sea la boquilla, más

detallada será la impresión, pero más tardará en apilarse las capas más delgadas [41].

Filamento: Es el material de entrada, generalmente se trata de un material polimérico. Al igual que una inyección de tinta, una impresora 3D emite un filamento fundido [41]

Material Termoplástico: Los termoplásticos son polímeros formados por cadenas lineales con ramificaciones. Esta propiedad les otorga la característica de ser reciclables. Los termoestables, por el contrario, son materiales cuya estructura molecular forma una red que no puede desligarse por medio de temperatura (característica que es posible con los termoplásticos) y que después de ser formados no pueden modificarse ni reciclarse [42].

Polímero: Los plásticos son materiales poliméricos que se componen de moléculas químicas de gran tamaño en las que se repiten unidades de un compuesto denominado monómero. Dependiendo del método de polimerización y del monómero, los plásticos tienen estructuras químicas variadas que hacen que, en general, se clasifiquen en dos grandes grupos: los termoplásticos y los termoestables [42].

CAD: El CAD es una técnica de análisis, una manera de crear un modelo del comportamiento de un producto aun antes de que se haya construido. Los dibujos en papel pueden no ser necesarios en la fase del diseño [43].

4. Caso de estudio

Recurso educativo

El recurso educativo propuesto se creó utilizando la metodología ADDIE para la creación de juegos educativos en la herramienta de desarrollo de recursos educativos "EXELEARNING". Se dirige a estudiantes de primeros semestres de ingenierías y a docentes de materias relacionadas. El propósito de "Trivia de conceptos de impresión 3D" es que el usuario se apropie de algunos conocimientos históricos: hechos que marcaron la pauta en el desarrollo de tecnologías que hicieron posible los avances en esta materia; así mismo, el recurso ofrece información acerca de aspectos técnicos importantes sobre la tecnología de impresión 3D.

El recurso virtual permite al usuario realizar

una actividad que lo lleva a reflexionar sobre el adecuado uso de la tecnología. Uno de los principales objetivos del recurso es no intimidar al usuario con un examen en el cual se cuantifica su nivel de conocimiento para luego ser evaluado con un puntaje o nota, el recurso "Trivia de conceptos de impresión 3D" pretende ir suministrando información durante el transcurso de cada pregunta que permita una familiarización de los conceptos que puedan ser apropiados por el usuario y potencialmente usados en su vida académica y profesional. El recurso se exportó en formato HTML para su posterior publicación en un servidor y acceso online para el público en general.

5. Discusión

De acuerdo a lo expuesto en [44] donde aborda el impacto en la salud de la tecnología 3D en impresión, se expone que en un futuro no muy lejano se tendrán diferentes órganos funcionales impresos en 3D además de riñones. Esto plantea un dilema ético a medida que los órganos aumentan su nivel de complejidad y nacen algunas inquietudes: ¿Hasta qué punto la funcionalidad de un órgano lo hace objeto de comercialización?, ¿este tipo de impresión 3D estará al alcance de cualquier persona? Una tecnología constituye un medio para mejorar la calidad de vida de las personas, por lo tanto, una democratización tecnológica verdadera también debe estar presente, sin distinciones ni brechas económicas o sociales.

Según [28] las aplicaciones militares de la impresión 3D disminuyen tiempos y costos para la manufactura de máquinas de guerra, que luego serán utilizadas en el campo de batalla. Un mayor número de unidades, como por ejemplo el tanque T-14, significaría una mayor cantidad de bajas en las zonas donde tienen presencia los combates. De esta manera se podría afirmar que existe una relación inversa entre tiempos/costos y cantidad de personas dadas de baja; ¿es esto lo que en realidad se quería cuando se concibió desde un principio la tecnología en 3D? es importante reflexionar acerca de los nuevos usos de las tecnologías y determinar límites. Las herramientas deben ser creadas para mejorar la calidad de vida de las personas y evitar que lleguen a aplicaciones que produzcan efectos contrarios a este fin.

Es aquí donde la impresión en 3D puede hacer

una diferencia real. La impresión 3D, quizás más que ningún otro elemento, es una herramienta que ofrece un ciclo más rápido entre diseño y producción para la industria. La impresión 3D procura mejorar la relación precio-calidad del producto final. Y hasta ahora, la elaboración de prototipos era la mayor interrupción en la cadena: la única parte del proceso productivo que aún no se incorporaba a la era de la automatización. Los programas CAD se hicieron cargo de la fase de diseño y el software CAM, de la fase productiva. La elaboración rápida de prototipos fue la última etapa en actualizarse.

Una vez analizadas algunas de las aplicaciones de la impresora 3D en el ámbito de la arquitectura, entre las que se encuentran el desarrollo de paneles para fachadas con formas libres que pudieran dotar de mayor flexibilidad, mejor economía y altas prestaciones a las envolventes de los nuevos edificios, se procede a discutir cuales son las ventajas que podrían hacer de las técnicas de manufactura aditiva el nuevo modelo de fabricación a escala mundial para posteriormente discutir también los problemas e inconvenientes que podrían frenar este desarrollo en la población actual.

Los avances de la impresión 3D han sido importantes en diferentes industrias, y para cada una de ellas existen retos y limitaciones importantes. En la arquitectura la síntesis de concretos que pueden usarse en la impresión ha constituido un reto [35], [37]; la construcción de impresoras con áreas de trabajo lo suficientemente grandes para las aplicaciones de obras civiles son otro punto crítico [34]. En aplicaciones médicas, encontrar biomateriales compatibles con los sistemas biológicos, y que a su vez tengan las características mecánicas adecuadas es el principal foco de desarrollo, en ese sentido los hidrogeles han marcado una pauta importante [6]. En la industria automotriz, aeroespacial y militar el trabajo con materiales metálicos es relevante, los sistemas de impresión 3D de materiales metálicos requieren, en general, tecnología más robusta que aquellos sistemas de impresión 3D de materiales no metálicos [29]. En este sentido, el uso de aluminio en la manufactura aditiva ha mostrado resultados favorables, consiguiendo piezas de excelentes propiedades mecánicas y poco peso [18]. En la industria alimenticia se han logrado obtener materiales con buenas características para la impresión, mezclando alimentos en diferentes proporciones, buscando la consistencia que

permita propiedades mecánicas adecuadas [25]. Sin embargo, existe un reto grande en la integración de alimentos que conforman la base nutricional de las personas según sus regiones de origen y cultura. Finalmente, la masificación de la tecnología y la democratización del know how promete que el desarrollo de la impresión 3D en estas industrias seguirá en aumento, integrándose cada día más en la cotidianidad de las personas en todo el mundo.

6. Conclusiones

La revisión sistemática de literatura permitió establecer un estado actual y una prospectiva general a futuro en relación a la tecnología de la impresión 3D en las industrias que mayor impacto ha generado. Se encontró que los mayores retos se encuentran en la síntesis de nuevos materiales con características mecánicas adecuadas para cada aplicación. La perspectiva a futuro de la tecnología es promisoría en la medida en que se consigan avances en materiales y equipos de fabricación 3D, desde pequeñas impresoras para la fabricación a medida de alimentos hasta los grandes equipos para la impresión de concreto en la industria de la construcción; o desde la impresión de materiales blandos biocompatibles en aplicaciones médicas hasta la impresión de materiales robustos como los utilizados en la industria militar, aeroespacial o automotriz.

Después de haber llevado a cabo el presente análisis es posible mencionar que el uso de la impresión 3D ha ido dándose poco a poco, pero de manera significativa en algunos de los sectores de la sociedad, y aunque su uso todavía no es generalizado, si significativo. Con el transcurso del tiempo han aumentado sus beneficios de uso, por ejemplo, ha evolucionado desde un simple diseño hasta un desarrollo médico, como la impresión de algún órgano del cuerpo.

Aplicaciones como la creación de comida en 3D o el modelado de órganos del cuerpo funcionales, implican un compromiso ético mucho más serio por parte de los actuales y futuros profesionales. La manufactura ya no se trata solamente de convertir materias primas en productos, sino que se encuentra involucrada en una mayor parte del desarrollo humano, involucrando actividades que se relacionan con la cotidianidad y la cultura de las personas.

La masificación y democratización de la tecnología está acompañada de la apropiación de la misma en la sociedad, en diferentes esferas. Los recursos educativos virtuales pueden constituirse en un medio de apropiación de conocimiento que apalanquen el desarrollo de tecnologías disruptivas como la impresión 3D.

REFERENCIAS / REFERENCES:

- [1] R. B. GARCÍA, Diseño de una impresora 3D capaz de crear múltiples objetos simultáneamente, Madrid: Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, 2013.
- [2] B. Marquardt, La cuestión ecológica de la revolución industrial y la habilidad para el futuro de la civilización industrial, vol. III, alemania: Departamento de lenguajes y sistemas informaticos, 2009, pp. 50 - 62.
- [3] L. J. E. Conde, «Acontecimientos importantes 3D,» Impresoras 3D, vol. II, nº 3, pp. 5 - 6 - 7, 2016.
- [4] J. X. L. M. E. T. D. Edgar Absalón Torres Barahona, «Sistema de posicionamiento aplicado a la técnica de impresión 3D modelado por deposición fundida,» Revista de Investigacion, Desarrollo e Innovacion, vol. 3, nº 1, pp. 10 - 15, 2012.
- [5] T. B. Ana, F. Daniel y C. U. Victor, «Stereolithography,» Rev. Estomatol Herediana., Lima, Perú, 2016.
- [6] J. Li, C. Wu, P. Chu and M. Gelinsky, "3D printing of hydrogels: Rational design strategies and emerging biomedical applications," Materials Science & Engineering R, vol. 140, 2020.
- [7] A. Mokrane, M. Boutaous and S. Xin, "Process of selective laser sintering of polymer powders: Modeling, simulation, and validation," Comptes Rendus Mecanique, vol. 346, p. 1087-1103, 2018.
- [8] E. Olakanmi, R. Cochrane and K. Dalgarno, "A review on selective laser sintering/melting (SLS/SLM) of aluminium alloy powders: Processing, microstructure, and properties," Progress in Materials Science, vol. 74, p. 401-477, 2015.
- [9] Y. Shi, T. Pan, W. Zhu, C. Yan y Z. Xia, «Artificial bone scaffolds of coral imitation prepared by selective laser sintering,» Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials, vol. 104, p. 103664, 2020.
- [10] M. Nofal, Y. Pan and S. Al-Hallaj, "Selective Laser Sintering of Phase Change Materials for Thermal Energy Storage Applications," Procedia Manufacturing , vol. 10, p. 851 - 865, 2017.
- [11] K. DePalma, M. Walluk, A. Murtaugh, J. Hilton, S. McConky and B. Hilton, "Assessment of 3D printing using fused deposition modeling and selective laser sintering for a circular economy," Journal of Cleaner Production, vol. 264,

p. 121567, 2020.

[12] A. Sudarev, V. Konakov and Y. Chivel, "Selective laser sintering of ceramic turbomachine components," *Procedia CIRP*, vol. 74, p. 264-267, 2018.

[13] K. Liu, J. Xu, X. Gu, C. Liu and H. Sun, "Effects of raw material ratio and post-treatment on properties of soda lime glassceramics fabricated by selective laser sintering," *Ceramics International*, vol. 42, 2020.

[14] C. Lucia, «3D Natives el sitio web de la impresion 3D,» Sinterizado selectivo por láser o SLS, 12 Marzo 2019. [En línea]. Available: <http://cort.as/-Mw42>. [Último acceso: 27 Abril 2019].

[15] V. Kalyani and D. Bansal, "Future Communication Technology: A Comparison Between Claytronics And 3-D Printing," *Journal of Management Engineering and Information Technology (JMEIT)*, vol. 3, no. 4, pp. 8-28, 2015.

[16] G. Suresh, M. Mantralla and L. Kavuluru, "A Review on Development of Medical Implants by Rapid PrototypingTechnology," *International Journal of Pure and Applied Mathematics*, vol. 117, no. 21, pp. 257-276, 2017.

[17] Centro de Análisis y Prospectiva Gabinete Técnico de la Guardia Civil, «Nota de futuro 2-2016. Impresoras 3D,» España, 2016.

[18] M. Nichols, "How does the automotive industry benefit from 3D metal printing?," *Metal Powder Report*, vol. 74, no. 5, pp. 257-258, 2019.

[19] L. J. E. Conde, «Impresoras 3D,» *Notas del futuro 2*, vol. III, pp. 50 - 51, 2016.

[20] V. J. C. Reverte, *Diseño y Prototipado de Extrusor para Impresora 3D de alimentos*, vol. I, Valencia, España: Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño, 2016, pp. 36 - 38.

[21] F. Yang, M. Zhang, B. Bhandari and Y. Liu, "Investigation on lemon juice gel as food material for 3D printing and optimization of printing parameters," *LWT - Food Science and Technology*, vol. 87, pp. 67-76, 2018.

[22] T. Anukiruthika, J. Moses and C. Anandharamkrishnan, "3D printing of egg yolk and white with rice flour blends," *Journal of Food Engineering*, vol. 265, 2020.

[23] Y. Liu, X. Liang, A. Saeed, W. Lan and W. Qin, "Properties of 3D printed dough and optimization of printing parameters optimization of printing parameters," *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, vol. 54, pp. 9-18, 2019.

[24] L. Wang, M. Zhang, B. Bhandari and C. Yang, "Investigation on fish surimi gel as promising food material for 3D printing," *Journal of Food Engineering*, vol. 220, pp. 101-108, 2018.

[25] Piyush, R. Kumar and R. Kumar, "3D printing of food materials: A state of art review and future applications," *Materials Today: Proceedings*, vol. 24, 2020.

[26] C. M. M. M. Thabiso Peter Mpopu, «The Impact and

Application of 3D Printing,» junio 2014. [En línea]. Available: <https://cutt.ly/Bwph3TI>. [Último acceso: 2 septiembre 2018].

[27] M. Quanjin, M. Rajab, M. Idris, N. Kumar, M. Abdullah and G. Reddy, "Recent 3D and 4D intelligent printing technologies: A comparative review and future perspective," *Procedia Computer Science*, vol. 167, pp. 1210-1219, 2020.

[28] P. Lucia, «3D Natives el sitio web de la impresion 3D,» *Actualidad Investigacion Rankings 3D*, 5 octubre 2016. [En línea]. Available: <https://www.3dnatives.com/es/top-10-aplicaciones-militares-3d-05102016/>. [Último acceso: 10 septiembre 2018].

[29] A. Busachi, J. Erkoyunku, P. Colegrove, R. Drake, C. Watts, F. Martina, N. Tapoglou and H. Lockett, "A system approach for modelling additive manufacturing in defence acquisition programs," *Procedia CIRP*, vol. 67, pp. 209-214, 2018.

[30] A. Angrish, "A critical analysis of additive manufacturing technologies for aerospace applications," in *2014 IEEE Aerospace Conference*, Montana, EE.UU., 2014.

[31] G. d. I. C. Consejería De Educacion y Universidades, *Educacion en 3D*, Canarias: Publicaciones para la educacion, 2017.

[32] S. Ford and T. Minshall, "Invited review article: Where and how 3D printing is used in teaching and education," *Additive Manufacturing*, vol. 25, pp. 131-150, 2019.

[33] M. Sakin and Y. Kiroglu, "3D Printing of Buildings: Construction of the Sustainable Houses of the Future by BIM," *Energy Procedia*, vol. 134, pp. 702-711, 2017.

[34] K. Subrin, T. Bressac, S. Garnier, A. Ambiehl, E. Paquet and B. Furet, "Improvement of the mobile robot location dedicated for habitable house construction by 3D printing," *IFAC PapersOnLine*, vol. 51, no. 11, pp. 716-721, 2018.

[35] A. Khalil, X. Wang and K. Celik, "3D printable magnesium oxide concrete: towards sustainable modern architecture," *Additive Manufacturing*, vol. 33, pp. 101-145, 2020.

[36] Y. Tay, M. Li and M. Tan, "Effect of printing parameters in 3D concrete printing: Printing region and support structures," *Journal of Materials Processing Tech*, vol. 271, pp. 261-270, 2019.

[37] M. A. Khan, "Mix suitable for concrete 3D printing: A review," *Materials Today: Proceedings*, vol. 24, 2020.

[38] R. Oscar y R. Gustavo, «Revisión sistemática de literatura,» *El Hombre y la Máquina*, n° 46, pp. 106 - 117, 2015.

[39] S. C. S. I. Son Simon Lisbeth Etelvina, *Implementación del modelo ADDIE en el diseño instruccional del Curso de Inglés Básico de la Universidad Gerardo Barrios de El Salvador*, Veracruz: Researchgate, 2014, pp. 2 - 8.

[40] Ecured, «EcuRed:Enciclopedia cubana,» Ecured, junio 2016. [En línea]. Available: <https://www.ecured.cu/EXeLearning>. [Último acceso: 11 septiembre 2018].

- [41] S. Mkhemer, «Bandeja de impresion para 3D,» Botshape, Diciembre 2015. [En línea]. Available: <https://www.botshape.com/3d-printing-technology/>. [Último acceso: 06 Septiembre 2018].
- [42] M. Juliana, C. C. Maria y M. Valencia, «Síntesis y caracterización de polímero biodegradable a partir del almidón de yuca,» Revista EIA, vol. 1, n° 8, pp. 57 - 67, 2007.
- [43] L. R. Oswaldo y L. Rojas Rojas, «Diseño Asistido por Computador,» Industrial Data, vol. 9, n° 1, pp. 7 - 15, 2006.
- [44] C. Mawere, "The Impact and Application of 3D Printing Technology," International Journal of Science and Research , vol. 3, no. 6, pp. 2148-2151, 2014.