

LAS TECNOLOGÍAS DIGITALES 3D COMO UN CASO DE ÉXITO DEL VÍNCULO PARA LA INNOVACIÓN ENTRE LA UNIVERSIDAD Y EL SECTOR DE LA SALUD

3D DIGITAL TECHNOLOGIES AS A SUCCESS STORY OF THE INNOVATION LINK BETWEEN THE UNIVERSITY AND THE HEALTHCARE SECTOR

Teresa Pérez Sosa¹, Ramón Quiza Sardiñas², Marcelino Rivas Santana³

1. *Doctora en Ciencias Pedagógicas. Profesora Titular del Centro de Estudio en Fabricación Avanzada y Sostenible. Universidad de Matanzas. Email: teresa.perez@umcc.cu*
2. *Doctor en Ciencias Técnicas. Profesor Titular y Director del Centro de Estudio en Fabricación Avanzada y Sostenible. Universidad de Matanzas. Email: ramon.quiza@umcc.cu*
3. *Doctor en Ciencias Técnicas. Profesor Titular del Centro de Estudio en Fabricación Avanzada y Sostenible. Universidad de Matanzas. Email: marcelino.rivas@umcc.cu*

Resumen: En el trabajo se exponen los resultados y experiencias derivados de la ejecución del proyecto territorial de innovación “Encadenamiento de soluciones basadas en tecnologías digitales tridimensionales para la enseñanza y la práctica de las ciencias biomédicas”. En el mismo se explican los principales resultados del mismo, enfocados a la formalización de las tecnologías digitales tridimensionales (las cuales incluyeron la modelación 3D, el escaneado 3D y la impresión 3D); a la realización de un grupo de caso de estudios, dirigidos a la validación de la factibilidad técnica y económica de la aplicación de dichas tecnologías; y a la propuesta de un sistema de actores económicos que permita su prestación en la práctica. En base a lo obtenido, se pudo considerar lo realizado como un caso de éxito en la vinculación de la universidad y el sector de la salud para la innovación.

Palabras claves: Innovación, Sector de salud, Tecnologías 3D

Abstract: The work exposes the results and experiences derived from the execution of the territorial innovation project "Chaining of solutions based on three-dimensional digital technologies for the teaching and practice of biomedical sciences". It explains its main results, focused on the formalization of three-dimensional digital technologies (which included 3D modelling, 3D scanning and 3D printing); on the realization of a group of case studies, directed to the validation of the technical and economic feasibility of the application of said technologies; and on the proposal of a system of economic actors that allows its practical application. Based on the obtained outcomes, it could be considered as a success story in linking the university and the health sector for innovation.

Keywords: Innovation, Healthcare, 3D Technologies

Simposio: 7 - Vinculación universidad–sector productivo y de los servicios: Una visión estratégica para el desarrollo sostenible / II Taller Internacional “Universidad–sector productivo y de los servicios.

1. INTRODUCCIÓN

La introducción de las cada vez más complejas y potentes tecnologías de la información, están causando una transformación digital en toda la actividad humana, pero especialmente, en los procesos productivos y de los servicios (Danuso et al. 2022, Kraus et al. 2021).

Las tecnologías digitales tridimensionales, incluyen la modelación y procesamiento de modelos geométricos tridimensionales digitales, el escaneo digital tridimensional y la impresión tridimensional (o manufactura aditiva). Dentro del sector de las ciencias biomédicas, según la literatura consultada, las tecnologías digitales tridimensionales tienen aplicaciones potenciales en campos como la fabricación de prótesis (tanto externas como internas), la creación de maquetas y modelos docentes, la elaboración de piezas de repuesto, entre otros (Tsoulfas et al. 2020). La aplicación de dichas técnicas, según la literatura internacional más reciente, está fuertemente ligada al emprendimiento y a las micro, pequeñas y medianas empresas (Kantaros et al. 2022; Onu & Mbohwa, 2021; Rayna & Striukova, 2021).

Como parte del contexto socio-económico, cabe destacar la aprobación, en Cuba, de nuevos actores económicos, tales como los parques científico-tecnológicos (GO, 2019) y las micro, pequeñas y medianas empresas (GO, 2021), lo cual debe tenerse en cuenta a la hora de conformar una propuesta para satisfacer la demanda identificada.

Por su naturaleza, la introducción de las herramientas digitales tridimensionales, en el sector biomédico, requieren de un proceso innovativo continuo, que sea capaz de generar nuevos productos y servicios, con eficacia y dinamismo. Aquí, la innovación es entendida como resolución práctica de problemas apoyados en el conocimiento, pero no sólo limitada a los resultados de la investigación científica, sino también a la transferencia de tecnologías asociadas a procesos de capacitación (Díaz-Canel Bermúdez 2021).

Como objetivo del presente trabajo, se propone describir los resultados y experiencias de un proyecto de investigación y desarrollo, enfocado a la creación de un sistema de actores productivos para la prestación de servicios digitales tridimensionales al sector biomédico matancero.

2. DESARROLLO

2.1. Consideraciones generales

El proceso innovativo destinado a la prestación de servicios digitales tridimensionales al sector biomédico, se investigó como parte del proyecto de innovación “Encadenamiento de soluciones basadas en tecnologías digitales tridimensionales para la enseñanza y la práctica de las ciencias biomédicas”, asociado al Programa Territorial de Encadenamientos Productivos y Circuitos Cortos de Producción-Comercialización de Bienes y Servicios, con el código PT211MT003-004.

Este proceso innovativo, de carácter continuo, debe llevar a cabo a través de la sinergia de tres grupos de actores fundamentales (ver. Fig. 1).

En primer, están las entidades del sector de la salud, que, como clientes proactivos, no sólo realizan las demandas, según sus necesidades identificadas, sino que, además,

participan en la innovación de productos y servicios a través del establecimiento y la verificación de los requisitos de los mismos, llevada a cabo de forma iterativa, durante todo el proceso. En el territorio matancero, este sector está integrado por las instituciones de servicios médicos, encabezadas por los hospitales, pero incluyendo, también, entidades de atención primaria y especializada.

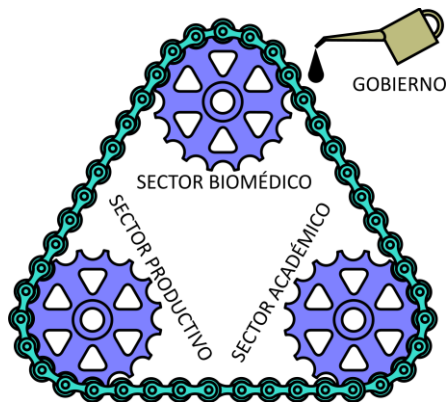


Figura 1: Encadenamiento de actores para la innovación de tecnologías digitales tridimensionales en el sector biomédico

En segundo lugar, están las entidades del sector académico, las cuales, aprovechando sus conocimientos y habilidades tecnológicas, lideran las innovaciones, sirviendo, además, de facilitadores y acompañantes de la transferencia tecnológica y la capacitación. En la provincia, la Universidad de Matanzas (y, dentro de ella, el Centro de Fabricación Avanzada y Sostenible) cuenta con la experiencia necesaria para contribuir de forma decisiva a la innovación de productos y servicios que apliquen las tecnologías digitales tridimensionales al sector biomédico. Esta experiencia se ve naturalmente complementada por los saberes de la Universidad de Ciencias Médicas de Matanzas, y su capacidad para servir de engrace con los diversos actores del sector de la salud.

Finalmente, está el sector productivo, con sus diferentes entidades, que van desde empresas con capacidades de producción en grandes lotes, mediante métodos de fabricación convencionales (complementados con las tecnologías tridimensionales en función del prototipado rápido), hasta pequeñas y medianas empresas (incluyendo cuentapropistas), con capacidad para, a través de la aplicación intensiva de las tecnologías tridimensionales, desarrollar productos personalizados, especializados y de alto valor agregado. Un papel importante, por su capacidad para la incubación de empresas de alta tecnología, lo debe jugar el Parque Científico-Tecnológico de Matanzas.

No debe dejar de mencionarse la incidencia que deben tener las entidades gubernamentales en el proceso de innovación de tecnologías tridimensionales para el sector biomédico, integradas y engranadas en el frente biomédico del Polo Científico-Productivo de Matanzas.

2.2. Formalización de las Tecnologías Digitales Tridimensionales

2.2.1. Modelación tridimensional

La modelación tridimensional consiste en la representación computacional de las características topológicas y geométricas tridimensionales de un objeto o un conjunto de objetos. Tiene como objetivos fundamentales tanto obtener representaciones bidimensionales de dichos objetos (en un proceso llamado, renderizado), como realizar simulaciones computarizadas de procesos físicos que los involucren (Chandramouli 2022).

Las propiedades topológicas, describen la estructura fundamental de un objeto, que es invariable bajo transformaciones continuas. Por el contrario, las propiedades geométricas contienen la parametrización de la forma y la posición del objeto.

En la modelación tridimensional, se recurre a tres niveles fundamentales de abstracción. En primer lugar, se tiene una capa de formalización, donde se obtiene una descripción formal del objeto a partir ya sea de los objetos reales o de las ideas constructivas. En segundo lugar, la capa de especificación permite transformar la descripción formal del objeto en una estructura de datos, computacionalmente manipulable, que lo represente. Finalmente, la capa de procesamiento permite utilizar la representación computacional del objeto para obtener una representación bidimensional del mismo (salida gráfica) o cualquier propiedad o comportamiento simulado.

A su vez, los modelos 3D pueden constituirse con tres enfoques diferentes (Fig. 4): modelos de malla de alambre, modelos de superficies y modelos volumétricos. En los modelos de malla de alambre, los objetos se representan por sus contornos (aristas reales o convencionales), pero entre ellas no hay correlación (no existen superficies). Son simples y económicos, pero no permiten lograr buenas representaciones gráficas ni tampoco determinar sus propiedades geométricas. Por su parte, en los modelos de superficie, los objetos se representan por las superficies que lo componen (polígonos, segmentos de superficies curvas, etc.), pero entre las mismas no existe correlación de adyacencia. Permiten obtener buenas representaciones gráficas de los cuerpos, pero no determinar sus propiedades geométricas. Por último, los modelos volumétricos describen los cuerpos como sólidos completos. Aunque son mucho más complejos computacionalmente, permiten obtener representaciones gráficas más realistas, que incluyen propiedades ópticas, así como determinar las propiedades geométricas y físico-geométricas de los cuerpos.

Los modelos volumétricos, se pueden clasificar según diferentes criterios:

- Por el carácter directo de la representación, en representación directa (los sólidos son modelados por sus volúmenes) y representación indirecta (los sólidos son modelados por las superficies que los determinan).
- Por el carácter implícito de la representación, en representación explícita (las propiedades geométricas son modeladas de forma tal que pueden obtenerse directamente de la estructura de datos) y representación implícita (es necesario un grupo de operaciones o transformaciones para obtener las propiedades geométricas a partir de la estructura de datos).

- Por la forma de la representación, en representación objetiva (se representa el objeto en sí mismo) y representación espacial (se representa el objeto a través de la subdivisión del espacio sobre el que se construye el objeto).

Existen diferentes archivos de intercambio de información geométrica de modelos tridimensionales, dentro de los cuales se incluyen STL (estereolitografía), PLY (archivo de formato poligonal), OBJ (formato de objeto), AMF (archivo de fabricación aditiva) y X3D (gráfico 3D extensibles).

2.2.2. Escaneado tridimensional

El escaneo 3D es el proceso de analizar un objeto o entorno del mundo real para recopilar datos sobre su forma y posiblemente su apariencia (por ejemplo, el color). Los datos recopilados se pueden usar para construir modelos digitales en 3D. Estos dispositivos son ampliamente utilizados en un grupo de tecnologías incluyen realidad aumentada, captura de movimiento, reconocimiento de gestos, mapeo robótico, diseño industrial, fabricación de prótesis, ingeniería inversa y creación de prototipos, calidad control/inspección y digitalización de bienes culturales (Kantaros et al. 2021).

Un escáner 3D puede basarse en muchas tecnologías diferentes, cada una con sus propias limitaciones, ventajas y costos. Dentro de ellos, cabe destacar las siguientes:

- Escáneres 3D de contacto: Sondean al sujeto a través del tacto físico, mientras el objeto está en contacto o descansa sobre una placa de superficie plana de precisión. Cuando el objeto que se va a escanear no es plano o no puede descansar de forma estable sobre una superficie plana, se sujeta y se mantiene firmemente en su lugar mediante un accesorio. Un ejemplo común de este tipo de escáneres son las máquinas de medición de coordenadas. La principal desventaja de este método es que está limitado por las dimensiones y la accesibilidad de las zonas a escanear.
- Escáneres 3D activos sin contacto: Se basan en la emisión de algún tipo de radiación sobre el objeto a escanear, para detectar la radiación reflejada. Como radiación suele usarse la luz visible (estructurada o no), los rayos X o el ultrasonido. Dentro de estas tecnologías están las basadas en la medición del tiempo de vuelo, la triangulación, las de iluminación con láser, las tomografías y las resonancias magnéticas, cada una de ellas con sus propias ventajas y desventajas.
- Escáneres 3D pasivos sin contacto: No utilizan una fuente propia de emisión de radiación, sino que se basan en la radiación emitida como reflexión de la luz ambiente. Emplean, fundamentalmente, la luz visible, aunque hay tecnologías basadas en la radiación infrarroja. Algunas de las técnicas más empleadas en esta categoría son la estereoscopia, la fotometría y la detección de siluetas. La principal ventaja de estas tecnologías es el bajo costo del equipamiento necesario, mientras que su principal desventaja es la dependencia de las condiciones de iluminación y de las características ópticas de las superficies a escanear.

2.2.3. Impresión tridimensional

La ASTM International definió la fabricación aditiva como: “Proceso de unión de unión de materiales capa a capa para hacer objetos modelados en 3D, en oposición a las metodologías de fabricación sustractivas, tales como el mecanizado tradicional”. Con el tiempo, los términos utilizados han ido evolucionando surgiendo el término de prototipado rápido (rapid prototyping), utilizado para describir la creación de forma rápida de objetos 3D e impresión 3D muy utilizado en el ámbito doméstico para máquinas de bajo costo. Otros términos utilizados son la fabricación aditiva, la fabricación de forma libre, e-fabricación y fabricación generativa (IEEE 2015).

La fabricación aditiva como todo proceso de fabricación, tiene sus ventajas y desventajas. Desde el punto de vista de fabricación de componentes industriales podemos plantear diversas ventajas, tales como la reducción del tiempo de nuevos diseños; la conveniencia para series cortas de producción; la reducción de errores de montaje y costes asociados; la reducción de costes en utillajes; la posibilidad de combinar diferentes procesos de fabricación; la optimización en la utilización de material, provocando un aligeramiento de las piezas (optimización topológica) lográndose una fabricación sostenible; y la posibilidad de fabricación modelos 3D con geometría compleja.

Sin embargo, se deben tener en cuenta algunos inconvenientes a la hora de seleccionar la tecnología aditiva (Rayna y Striukova 2021), dentro de los que cabe destacar el mal acabado superficial debido a la fabricación por capas; los elevados tiempos de fabricación; la reducida cantidad de materiales factibles para el proceso; las tolerancias de fabricación mayores que otros métodos de fabricación; y las piezas con propiedades anisotrópicas.

Los procesos de fabricación aditiva pueden ser clasificados, de acuerdo al proceso de obtención del modelo, en tres grandes grupos, tal como se observa en la Tabla 1.

Tabla 1: Clasificación de los procesos de impresión 3D

<i>Clase de proceso</i>	<i>Procesos</i>
Extrusión o inyección	Modelado por deposición fundida (FDM)
	Impresión por inyección
Granular	Sinterizado láser directo de metal (LDM)
	Fusión por haz de electrones (EBM)
	Sinterización selectiva por calor (SHS)
	Sinterización selectiva por láser (SLS-DMLS)
	Inyección de tinta sobre lecho en polvo
Foto-polimerizado	Estereolitografía (SLA)
	Procesamiento digital de luz (DLP)

La fabricación por deposición fundida (o por filamento fundido), es el método más popular de impresión 3D (considerando la cantidad de impresoras basadas en él), debido a la sencillez y bajo costo del proceso y el equipamiento necesario. Se basa en una bobina de filamento que se funde a través de una boquilla y se deposita sobre una mesa capa a capa, mientras la mesa baja en una magnitud igual a la altura de capa (Fig. 3) (Dave y Davim 2021).

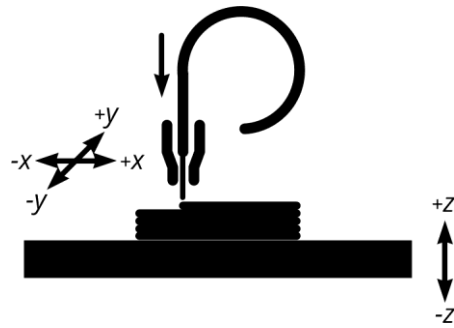


Figura 3: Fabricación por deposición fundida

La fabricación por deposición fundida se utiliza con una variedad de materiales entre ellos el acrilonitrilo butadieno estireno (ABS), el poli-(ácido láctico) (PLA), el policarbonato (PC), el polietileno de alta densidad (HDPE), el tereftalato de polietileno (PETG), la polifenilsulfona (PPSU) y el polietileno de alto impacto (HIPE).

2.3. Estudios de Caso

Para el estudio práctico de los métodos propuestos, se desarrollaron un grupo de estudios de casos dirigidos a la práctica biomédica. Dentro de ellos, se encontraron prótesis de cráneo (Fig. 3a) y de mano (Fig. 3b), dispositivos para la lucha contra la covid-19 (Fig. 3c-d), accesorios para la práctica médica (Fig. 3e-f), plantillas para la realización de intervenciones quirúrgicas (Fig. 3g), modelos para la enseñanza de la medicina (Fig. 3h-i) y componentes para aparatos médicos (Fig. 3j-k).

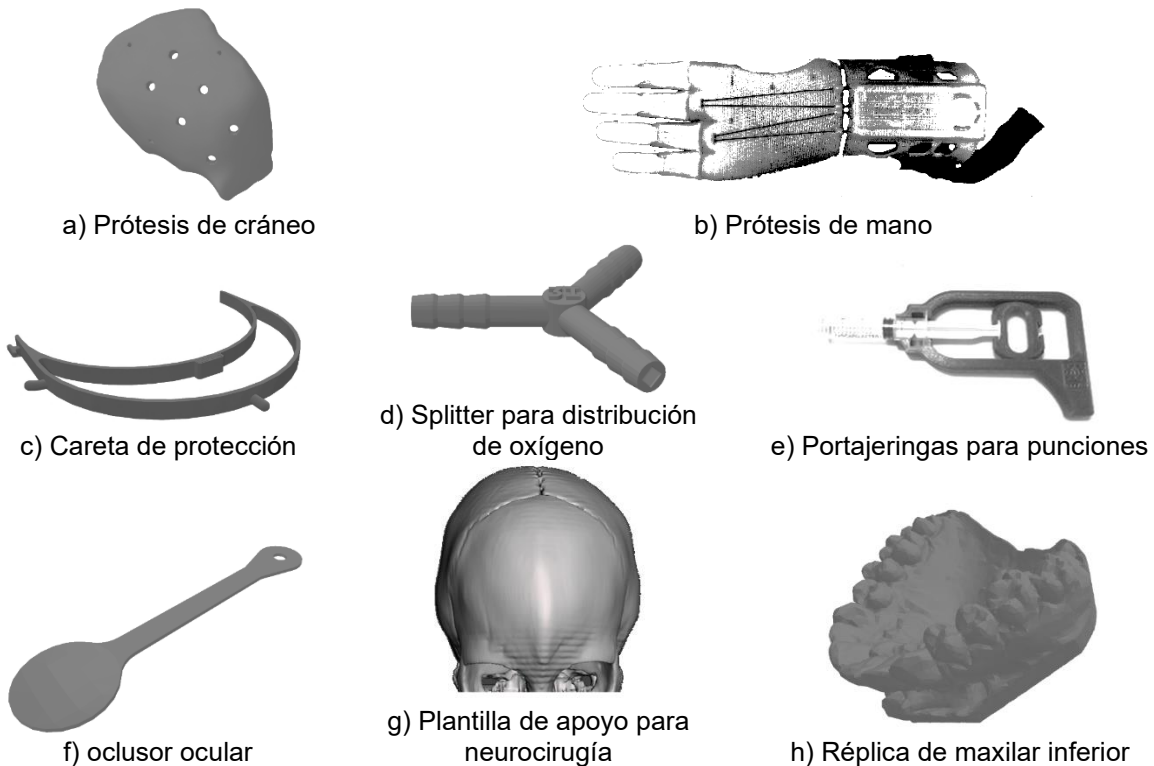




Figura 4: Casos de estudio de aplicación de las tecnologías digitales tridimensionales al sector biomédico

A través de este conjunto de estudios de casos, se validó la factibilidad de la aplicación de las tecnologías digitales tridimensionales, en el sector biomédico del territorio matancero. También se determinaron, a partir de las experiencias aprendidas en la realización de los estudios de caso, los tiempos estimados de aplicación de las tecnologías digitales tridimensionales a modelos de diferente complejidad.

2.4. Propuesta de un sistema de actores económicos para la prestación de los servicios digitales tridimensionales

Como entidad económica capaz de proveer los servicios digitales tridimensionales al sector biomédico matancero, se propone una microempresa denominada, tentativamente, Soluciones Tridimensionales Biomédicas, S.R.L. [3D-MED]. La misma deberá tener una estructura simple, orientada a la agilidad y la flexibilidad de sus servicios.

La microempresa 3D-MED se instalaría en el Parque Científico Tecnológico de Matanzas (PCTM), lo cual le permitirá contar las ventajas fiscales y de operación establecidas. El PCTM servirá, además de interfaz tanto con las entidades económicas extranjeras, para la importación y exportación de bienes y servicios, como con el Centro de Estudio de Fabricación Avanzada y Sostenible (CEFAS), de la Universidad de Matanzas, para la ejecución de tareas de investigación, desarrollo e innovación (I+D+i), que permitan un incremento continuo del valor agregado de los productos y servicios ofertados.

Como cliente, 3D-MED se encadenaría con las entidades del MINSAP, las cuales serán los principales consumidores de sus bienes y servicios. Para esta función, es importante realizar una contratación que establezca los precios de los mismos en niveles que permitan la sostenibilidad económica de la empresa pero que no redunden en un encarecimiento injustificado de los servicios de salud ofertados a la población. En este sentido, es importante que 3D-MED surja como una empresa con una visión clara de su responsabilidad social.

Adicionalmente, 3D-MED se encadenaría con un grupo de actores económicos nacionales que actuarán, por un lado, como proveedores de los bienes y servicios requeridos para el funcionamiento de la empresa, y por el otro, como consumidores de los bienes y servicios de la misma. Estos clientes (conjuntamente con los clientes internacionales), sin sustituir a las entidades del MINSAP, constituyen un complemento a la actividad económica de 3D-MED, especialmente en lo tocante a la captación de moneda libremente convertible.

3. CONCLUSIONES

Como resultado del presente trabajo, se ha presentado la experiencia de un proyecto territorial para la introducción de las tecnologías digitales tridimensionales en el territorio matancero, lo cual ha permitido arribar a un grupo de conclusiones. Como principal logro, está el diseño de un esquema de encadenamientos para un grupo de actores productivos que permitan la prestación de servicios digitales tridimensionales al sector biomédico matancero.

En este sentido, se recomienda la creación de una microempresa para la generación de bienes y servicios relacionados con las tecnologías digitales tridimensionales, en el sector biomédico. La misma estaría insertada en el Parque Científico-Tecnológico de Matanzas y se encadenaría productivamente, no sólo a las entidades del MINSAP (que serían sus principales clientes), sino también a otros actores económicos nacionales que serían bien proveedores de bienes y servicios o bien clientes secundarios.

También, como resultado del proyecto, se demostró que el estado del arte en las tecnologías de modelado, escaneado e impresión 3D permiten su aplicación efectiva a la solución de problemas de la enseñanza y la práctica de las ciencias biomédicas. A través de un conjunto de estudios de casos, se validó la factibilidad de la aplicación de las tecnologías digitales tridimensionales, en el sector biomédico del territorio matancero. Igualmente, se determinaron, a partir de las experiencias aprendidas en la realización de los estudios de caso, los tiempos estimados de aplicación de las tecnologías digitales tridimensionales a modelos de diferente complejidad.

También se logró como principal impacto, la socialización de la aplicación de las tecnologías digitales tridimensionales en el sector biomédico matancero, incluyendo un grupo de aplicaciones que significaron una mejora de la calidad de los servicios de salud prestados.

REFERENCIAS

- Danuso, A., Giones, F., & Ribeiro da Silva, E. (2022). The digital transformation of industrial players: A guide, *Business Horizons* 65 (3), 341-349, <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2021.04.001>
- Chandramouli, M. (2022). *3D modelling and animation*. CRC Press.
- Dave, H.K. & Davim, J.P. (eds.) (2021). *Fused deposition modeling based 3D printing*. Springer.
- Díaz-Canel Bermúdez, M. (2021). ¿Por qué necesitamos un sistema de gestión del Gobierno basado en ciencia e innovación?, *Anales de la Academia de Ciencias de Cuba* 11(1).
- GO [Gaceta Oficial de la República de Cuba] (2021). *Decreto-Ley 46/2021: Sobre las micro, pequeñas y medianas empresas*. No. 84, Ordinaria de 2021-08-19.
- GO [Gaceta Oficial de la República de Cuba] (2019). *Decreto No. 363/2019 del Consejo de Ministros: De los parques científicos y tecnológicos y de las empresas de ciencia y tecnología que funcionan como interface entre las universidades y entidades de*

ciencia, tecnología e innovación con las entidades productivas y de servicios. No. 86, Ordinaria de 2019-11-08.

IEEE Computer Society (2015). *IEEE Std. 3333.2.1-2015: IEEE Recommended Practice for Three-Dimensional (3D) Medical Modeling*.

Kantaros, A., Diegel, O., Piromalis, D., Tsaramirsis, G., Khadidos, Alaa O., Khadidos, Adil O., Khan, F.Q., & Jan, S. (2022). 3D printing: Making an innovative technology widely accessible through makerspaces and outsourced services, *Materials Today: Proceedings* 49 (7), 2712-2723, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.09.074>

Kraus, S., Schiavone, F., Pluzhnikova, A., & Invernizzi, A.C. (2021). "igital transformation in healthcare: Analyzing the current state-of-research. *Journal of Business Research* 123, 557-567, <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.10.030>

Onu, P. & Mbohwa, C. (2021). Industry 4.0 opportunities in manufacturing SMEs: Sustainability outlook, *Materials Today: Proceedings* 44 (1), 1925-1930, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.095>

Rayna, T. & Striukova, L. (2021). Assessing the effect of 3D printing technologies on entrepreneurship: An exploratory study, *Technological Forecasting and Social Change* 164 id. 120483, <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120483>

Tsoulfas, G., Bangeas, P.I., & Suri, J.S. (eds.) (2020). *3D Printing: Applications in Medicine and Surgery*, Elsevier.