

Vínculo entre la universidad y el sector de la salud en el marco de la Industria 4.0.

Teresa Pérez Sosa

0000-0002-5587-4624

M

Ramón Quiza Sardiñas

0000-0003-1293-6044

Marcelino Rivas Santana

0000-0002-0305-515X

Dirma Yanes Quintero

0000-0002-4989-8785

Yanely Gil Martínez

0000-0003-4001-8777

Resumen

Tanto la ciencia y la tecnología justifican su existencia en la búsqueda de desarrollo que satisfagan las necesidades de la sociedad en general, trayendo como resultado que el mundo empresarial abogue por una transformación digital que les permita seguir el ritmo de las demandas emergentes de los clientes, y permita a las empresas mantenerse en un entorno económico que cambia a medida que la tecnología evoluciona. Cuba está insertada en un proceso de cambios sociales y económicos muy importantes, impulsando para ello la creación de entidades productivas, las cuales son esenciales en el impulso del desarrollo y la economía. Sin embargo, la digitalización de las entidades productivas es una cuestión de supervivencia, de ahí que la presente investigación se enmarque en el estudio sobre las bases que sustentan la Industria 4.0. En el trabajo se exponen los resultados y experiencias derivados del vínculo entre la universidad y el sector de la salud en el marco de la Industria 4.0. En el mismo se explican los principales resultados de este, enfocados a la industria 4.0, dando lugar a la formalización de las tecnologías digitales tridimensionales (las cuales incluyeron la modelación 3D, el escaneado 3D y la impresión 3D). Lo cual permitió 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 clave: Fabricación aditiva, Industria 4.0, sector biomédico.

Abstract

Both science and technology justify their existence in the search for development that meets human needs and life in general, resulting in the business world advocating a digital transformation that allows them to keep up with the emerging demands of customers, and allow to the companies to stay in an economic environment that changes as the technology evolves. Cuba is undergoing a process of very important social and economic changes, promoting the creation of productive entities, which are essential in promoting development and the economy. However, the digitization of productive entities is a matter of survival, which is why this research is part of the study on the bases that support Industry 4.0. The work presents the results and experiences derived Link between the university and the health sector in the framework of Industry 4.0. It explains the main results of

this, focused on industry 4.0, leading to the formalization of three-dimensional digital technologies (which included 3D modeling, 3D scanning and 3D printing). This allowed the realization of a group of case studies, aimed at the validation of the technical and economic feasibility of the application of these technologies; and the proposal of a system of economic actors that allows its provision in practice. Based on what was obtained, it was possible to consider what was done as a success story in linking the university and the health sector for innovation.

Keywords: Additive manufacturing, Industry 4.0, biomedical sector.

1 Introducción

La Industria 4.0, también conocida como la cuarta revolución industrial, es un término utilizado para describir la transformación de los procesos de fabricación a través de la fusión de un grupo de tecnologías disruptivas que combinan las esferas física, digital y biológica, lo que permite tomar decisiones en tiempo real y, consecuentemente, una mayor eficiencia en los procesos de fabricación (Benitez, Ghezzi, & Frank, 2023). El nombre está inspirado en la iniciativa de Alemania para promover la informatización en la fabricación y se centra en gran medida en la interconectividad, la automatización, el aprendizaje automático y los datos en tiempo real (Kowalikova, Polak, & Rakowski, 2020).

Abarca varias tecnologías de vanguardia que están disponibles comercialmente e interconectadas dentro de la fabricación, lo que permite el acceso en tiempo real a datos y resultados. Dentro de dichas tecnologías se destacan la Internet de las cosas (Internet of things, IoT) (Saravanan et al., 2022), los grandes volúmenes de datos (big data), la fabricación inteligente (smart manufacturing), los sistemas ciberfísicos (cyber physical systems, CPS) (Javaid, Haleem, Singh, & Suman, 2023) y las cadenas de bloques (blockchains) (Nuttah, Roma, Lo Nigro, & Perrone, 2023). Estas tecnologías permiten el análisis de datos en tiempo real, la automatización, el aprendizaje automático y una mayor eficiencia en los procesos de fabricación. Los robots móviles autónomos, las impresoras 3D y otras tecnologías también son componentes críticos de la Industria 4.0, que impulsan a la industria manufacturera con nuevos medios de eficiencia, precisión y confiabilidad.

El inicio del concepto de fabricación aditiva nos lleva a la década de los 80, cuando el Dr. Kodama, del Instituto Municipal de Investigación Industrial de Nagoya, desarrolló una técnica de prototipado rápido utilizando la fabricación de un objeto capa a capa. Años más tarde, en 1984, un equipo de investigación francés presentó la primera patente. Sin embargo, esta primera patente fue abandonada años más tarde.

Posteriormente en 1986, el ingeniero Chuck Hull retoma la idea y presenta la primera patente comercial por una técnica llamada "Estereolitografía", que empleaba como material de impresión una resina líquida solidificada bajo el efecto de la luz ultravioleta. Chuck Hull se convirtió, después, en el fundador del gigante 3D Systems y la Estereolitografía supuso el comienzo de lo que hoy conocemos como la cuarta revolución industrial.

A día de hoy, según las necesidades de cada sector o de cada pieza, los centros de producción aditiva optarán por una u otras tecnologías. La elección vendrá determinada por diversos factores como la funcionalidad de la pieza producida o de su material (a partir de polímeros o aleaciones metálicas). El potencial de esta técnica radica en la necesidad del desarrollo de nuevos productos en un mundo industrial especializado en la salud. Este nuevo mundo, cada vez más

tecnológico, competitivo y globalizado, donde la diversidad de productos, unido a los ciclos de vida cada vez más cortos y al aumento de las exigencias de calidad, hacen necesaria la optimización de los tiempos y los costos asociados a los procesos de investigación, desarrollo e innovación en las empresas productivas.

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).

La importancia de las micro, pequeñas y medianas empresas dentro del tejido socioeconómico de cualquier país es indiscutible, en variables como número de establecimientos, empleo, producción, distribución del ingreso, entre otros indicadores. Las MiPyMES aportan mayor flexibilidad en la producción de bienes y servicios a la economía en términos agregados, mejoran la competitividad en el mercado y moderan las posiciones monopólicas de las grandes corporaciones.

La cuarta revolución industrial es especialmente importante para las cadenas de valor industriales toda vez que sus modelos de producción se verán impactados por fuertes transformaciones sociales, tecnológicas y económicas. En ese sentido, las MiPyMES enfrentarán un escenario global de gran complejidad y competitividad donde las nuevas oportunidades de negocios estarán ligadas a una alta capacidad en el uso de tecnologías. Es decir, el mercado demandará micro, pequeñas y medianas empresas con base tecnológica que desarrollen productos en, biotecnología, tecnologías de la información y comunicaciones, nanotecnología, inteligencia artificial, drones, o impresoras 3D, por mencionar tan sólo algunos ejemplos.

Además, en las economías emergentes, el rol de las micro, pequeñas y medianas empresas es fundamental para la promoción de la actividad emprendedora, el fomento de la innovación y la capacidad de diversificación, sustentado en su nuevo estilo de desarrollo más justo y sostenible.

Las micro, pequeñas y medianas empresas pueden actuar como un semillero en el campo científico técnico y no sólo generan empleos, sino que además contribuyen al crecimiento económico de América Latina.

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).

2 Objetivo

Como objetivo del presente trabajo, se propone describir los resultados y experiencias del vínculo entre la universidad y el sector de la salud en el marco de

la Industria 4.0, enfocado a la creación de un sistema de actores productivos para la prestación de servicios digitales tridimensionales al sector biomédico matancero.

3 Referencial Teórico

El paradigma de Industria 4.0 es, en realidad, una suma de conceptos de diversa naturaleza. Su integración, en una arquitectura, es crucial para su introducción en los procesos fabriles. Varias arquitecturas han sido propuestas, a nivel mundial, para la implementación práctica de la Industria 4.0, dentro de las que cabe destacar, la Reference Architecture Model for Industry 4.0 (RAMI 4.0) y la Industrial Internet Reference Architecture (IIRA), aunque éstas son sólo guías (Burns et al. 2019). Independientemente de la variedad de enfoques y conceptos, dos aspectos juegan un papel clave en cualquier implementación de la Industria 4.0: la comunicación (no sólo dentro de la empresa sino más allá de sus fronteras) y el uso de la inteligencia artificial para crear capacidades cognitivas y de autoaprendizaje (Oztemel & Gursev 2020).

Uno de los pilares de la industria 4.0 lo constituye la fabricación aditiva, que no es más que el término industrial con el que se describe la Impresión 3D. Es un sistema de fabricación de objetos digitales que consiste en la superposición de capas de material (polímeros, resinas y metal) para la creación de los objetos. Estas capas se adhieren entre sí, mediante una deposición, foto curado o fusión del material. La fabricación aditiva posee grandes ventajas de sostenibilidad y económicas, con respecto a las sustractivas y mecanizado, ya que solo emplea el material exacto para la creación de la pieza y no genera residuos. Sin dudas, es una de las tecnologías más prometedoras y cada vez son más las industrias que deciden integrarla en sus líneas de producción (Sharma et al. 2021).

Tecnología 3D digital.

La tecnología 3D recrea un objeto o imagen como si fuese reales, como si pudieras tocarlo. De hecho, a día de hoy, y gracias a las impresoras 3D se pueden elaborar objetos físicos, algo que ha abierto muchas puertas en distintos sectores. Estas impresoras han supuesto un antes y un después ya que, gracias a ellas, en un breve espacio de tiempo, se pueden reproducir objetos a medida con una precisión absoluta. La impresión 3D, también denominada fabricación aditiva, es una familia de procesos que genera objetos añadiendo material a las capas que corresponden a secciones transversales sucesivas de un modelo 3D (Rayna & Striukova, 2021).

Las aleaciones de plástico y metal son los materiales más utilizados para la impresión 3D, pero este proceso puede funcionar prácticamente con cualquier elemento, desde hormigón hasta tejidos vivos. La fabricación aditiva es una tecnología en constante evolución. Las principales técnicas de fabricación aditiva en la actualidad son:

- Estereolitografía (SLA): Es la primera técnica de fabricación aditiva que surgió. Este método emplea como material de fabricación una resina líquida solidificada bajo el efecto de la luz ultravioleta.
- Sinterización selectiva por láser (SLS): Inventada a finales de la década de los 80 en la Universidad de Texas, este tipo de fabricación aditiva combina un láser con polvo de plástico para crear nuevos objetos.
- Modelado por deposición fundida (FDM): Popularizado por su fácil y económico manejo, este sistema patentado como FDM permite modelar prototipos y producir a pequeña escala.

- Inyección de aglutinantes (Binder Jetting): Consiste en pulverizar un aglutinante líquido sobre un lecho de polvo que luego se solidifica.
- PolyJet o Material Jetting: Se trata de una máquina constituida por un láser dirigido a un lecho de polvo metálico. Sirve para fabricar prototipos y piezas finales de metal totalmente funcionales en cuestión de días.

La fabricación por adición pasa por cinco procesos básicos:

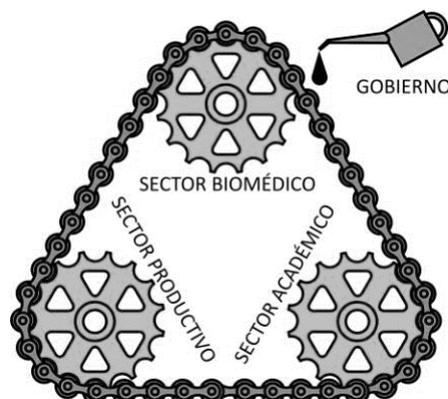
- La creación de un modelo 3D del objeto que se desea reproducir. La estación de trabajo ha de estar dotada de un ordenador y un software de diseño CAD.
- El fichero creado en el software se convierte a un formato que diferencia las capas en las que se divide digitalmente el objeto. Generalmente se convierte a un formato STL (Standard Triangle Language).
- Este archivo ha de ser transferido a la impresora 3D o a la máquina encargada de reproducir el producto final.
- Posteriormente, la máquina imprime en serie y capa por capa la cantidad de artículos configurados en la estación de trabajo.
- Tras un periodo de seguridad y enfriamiento, el operario retira el modelo de la línea de producción, que ya estará listo para ser transportado hacia la zona de almacenamiento o expediciones.

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. Figura 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 estos, 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.



Fuente: Elaboración propia.

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 engarce 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.

Formalización de las Tecnologías Digitales Tridimensionales

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 objetivos 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).

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: Sondan 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 estereoscopía, 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.

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.

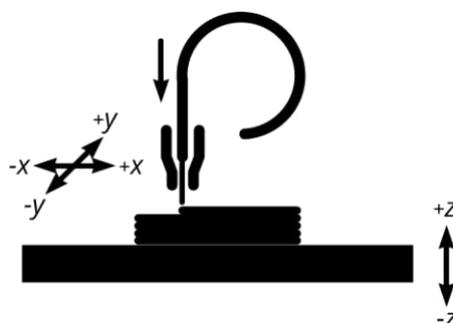
La fabricación por deposición fundida (o por filamento fundido), es el método más popular de impresión 3D (considerando la cantidad de impresoras basadas en él), debido a la sencillez y bajo costo del proceso y el equipamiento necesario. Se basa en una bobina de filamento que se funde a través de una boquilla y se deposita sobre una mesa capa a capa, mientras la mesa baja en una magnitud igual a la altura de capa (ver Figura 2) (Dave y Davim 2021).

Tabla 1: Clasificación de los procesos de impresión 3D

Clase de proceso	Procesos
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)

Fuente: Elaboración propia.

Figura 2: Fabricación por deposición fundida



Fuente: Elaboración propia.

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).

Tecnologías 3D para la salud.

Con el uso de esta tecnología no sólo se reducen costos, sino también se puede aumentar la velocidad de producción de suplementos médicos, la eficiencia y la personalización de un sin número de tratamientos.

Además de beneficiarse los pacientes por el uso de las nuevas tecnologías, los hospitales también tienen acceso a mayores y mejores oportunidades de equipos que anteriormente rebasaban cifras enormes en sus costos y que ahora son más accesibles (Rossi, 2022).

Según estudios realizados por DICTUC Chile una empresa de tecnología, la impresión 3D ha permitido alcanzar los siguientes beneficios:

- Reducción del 25 % del tiempo de operación en cirugías generales
- Aumento de la eficacia en procedimientos
- Disminución de periodos postoperatorio
- Reducción del tiempo de cirugía: 25 a 62%
- Reducción de días en el hospital: 50%

- Reducción de tiempo de recuperación de anestesia: 4.7%
- Reducción de centro de costos de cirugía: 50.9%
- Reducción de utilización de material desechable para cirugía y uso de anestesia: 10%
- Reducción de costos totales: 24.4%
- Reducción de riesgos de infección y muerte: 50%

Fabricación de Prótesis.

Un implante es un dispositivo destinado a reemplazar una parte del cuerpo durante un largo período de tiempo o a complementar una o varias funciones. Por lo tanto, por definición, está totalmente adaptado al paciente y su anatomía. La personalización conlleva mucho tiempo y es costosa cuando se usan métodos de fabricación tradicionales. Aquí es donde la impresión 3D médica es útil y ayuda a desarrollar implantes personalizados. Varias empresas también han comenzado en este sector y usan tecnologías 3D para fabricar dispositivos médicos personalizados (Gómez, 2019).

Un ejemplo de ello es el startup francés, Anatomik Modeling, que diseñó la primera prótesis traqueobronquial utilizando tecnologías 3D. Su director general, Benjamín Moreno, explicó: El uso de la impresión 3D tiene varias ventajas: se puede pasar directamente del modelo digital en 3D al modelo anatómico físico en 3D, manteniendo una muy buena precisión. Ahorrar tiempo es importante sobre todo si es con costos reducidos.

Esto permite entrar completamente en la era de la personalización de dispositivos médicos. También es posible hacer modelos anatómicos en 3D con formas geométricas muy complejas que serían muy difíciles de obtener a través de las técnicas de fabricación tradicionales.

Mediante el uso de la impresión 3D en la medicina, los fabricantes de prótesis e implantes pueden crear soluciones con las dimensiones correctas, con un diseño complejo y a un costo menor. En cuanto a la durabilidad de los dispositivos médicos creados, incluso si el número de ejemplos es aún bajo en comparación con los métodos tradicionales, se puede citar el ejemplo de copas de titanio en 3D que siguen siendo tan efectivas después de ser colocadas en el paciente. Esto evita que el paciente cambie el implante cada década, lo que facilita su vida diaria y la ahorra las incómodas cirugías.

Fabricación de partes y componentes.

La bioimpresión para crear órganos y tejidos es una tecnología en rápido desarrollo que ha estado creciendo significativamente en los últimos años. Este es un método que permite crear estructuras celulares impresas en 3D con una máquina que brinda la capacidad de desarrollar órganos y tejidos vivos, aunque no son funcionales a largo plazo.

Medicamentos impresos en 3D.

Otra prometedora aplicación en la medicina es la posibilidad en algunos años de ver los medicamentos impresos en 3D. La tecnología está ahí pero el problema es más regulatorio.

La industria farmacéutica está altamente regulada y se deben cumplir muchos requisitos para colocarla en el mercado. Si la impresión 3D del medicamento se considera un paso de fabricación, se someterá a un control y una regulación mucho más alta. La impresión 3D permite ajustar la dosis de cada medicamento de acuerdo con el paciente, de forma más fácil y rápida (García 2017).

Formación médica y entrenamiento: cirugía con modelos impresos en 3D.

Cualquier operación quirúrgica ha de ser preparada antes de llevarse a cabo. Sin embargo, la formación y el equipamiento estándar no son capaces de enseñar al cirujano las particularidades del cuerpo del paciente.

Normalmente, este conocimiento general se adquiere estudiando cadáveres humanos en estudios preclínicos dentro de las facultades de medicina y gana en precisión en cirugías reales. En la actualidad, los médicos utilizan imágenes en 2D y 3D para entender los detalles anatómicos de sus pacientes. La posibilidad de crear archivos 3D basados en resonancia magnética o tomografía computarizada permitiendo a los cirujanos crear órganos de apariencia real para practicar sus operaciones (Cano, 2021).

Por ejemplo, para preparar la implantación de un stent dentro de un vaso sanguíneo simulando condiciones en vivo, sin riesgo de complicaciones, se puede imprimir un corazón en material flexible con apariencia real.

Esta posibilidad de planificar la cirugía es especialmente importante en cirugías que relacionadas con órganos delicados, como el cerebro.

4 Método

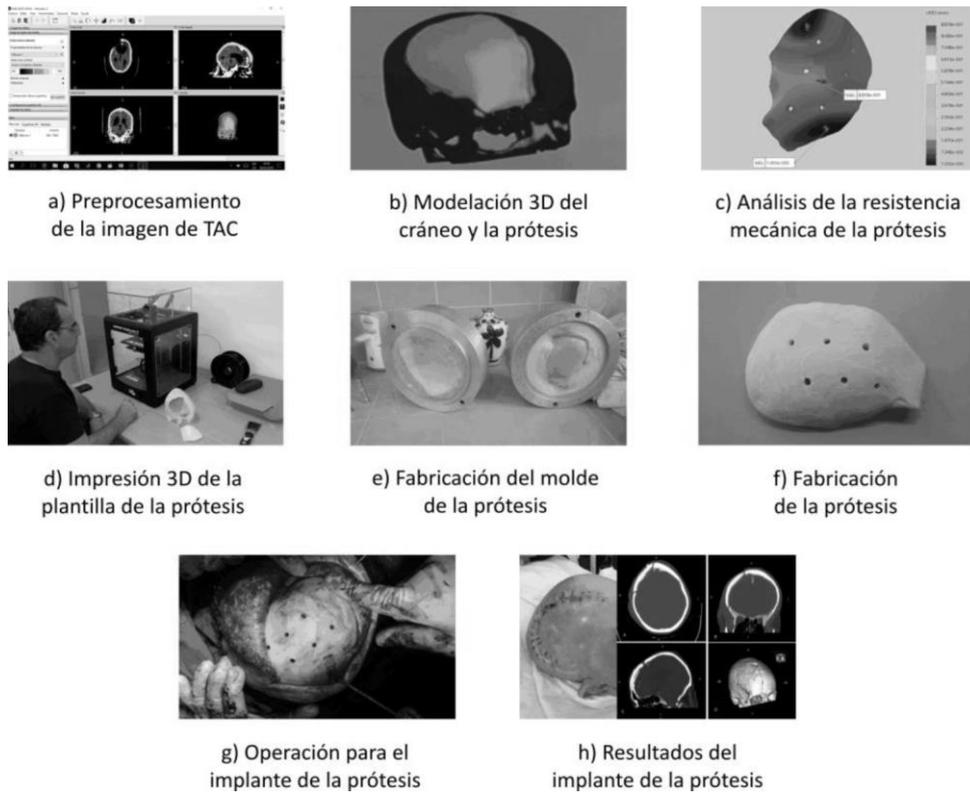
Con el propósito de realizar una identificación preliminar de las necesidades de aplicación de las tecnologías digitales tridimensionales en el sector biomédico, se llevaron a cabo un grupo de entrevistas a personal médico de diversas especialidades, que incluyó, entre otros, a ortopedicos, neurólogos, oncólogos y cirujanos, así como a personal técnico de electromedicina. A través de las mismas, se identificaron tres áreas fundamentales con demanda potencial para la aplicación de las tecnologías digitales.

En primer lugar, se tiene la fabricación de prótesis (tanto externas como internas) y aditamentos personalizados. En la misma, se combinan un grupo de técnicas que incluyen el escaneado, el procesamiento digital de modelos e imágenes tridimensionales y la fabricación aditiva (impresión 3d) (ver Figura. 3). La fabricación de este tipo de elementos tiene múltiples ventajas tanto para el paciente, en términos de estética, comodidad y reducción de riesgos, como para la institución médica, al reducir notablemente los tiempos de intervención quirúrgica, con el consecuente impacto económico.

Una segunda demanda identificada, está en el diseño y fabricación de dispositivos partes y componentes, lo cual incluye tanto dispositivos concebidos completamente con un propósito específico (ver Figura. 3a), como partes y piezas de repuesto, fabricadas mediante técnicas de ingeniería inversa (ver Figura 3b). En ambos casos, se utilizan herramientas como la modelación, el escaneado y la impresión tridimensional.

Dentro de este grupo, también se encuentran reproducciones de órganos y partes del cuerpo humano que pueden ser utilizados tanto con fines docentes como en la concepción y planificación de operaciones quirúrgicas. Estas reproducciones se fabrican, mediante impresión tridimensional, a partir de modelos obtenidos por escaneado tridimensional o por procesamiento de imágenes médicas, tales como las obtenidas mediante tomografías axiales computarizadas.

Figura 3: Ejemplo de fabricación e implante de una prótesis personalizada.



Fuente: Elaboración propia.

La tercera demanda identificada, es el uso de técnicas de análisis de imágenes y modelos tridimensionales, para realizar diagnósticos médicos (ver Figura 4). Las mismas, a través del uso de herramientas de inteligencia artificial, tales como las redes neuronales artificiales, pueden identificar rasgos presentes en las imágenes obtenidas por diversos equipos médicos, o los modelos tridimensionales generados a partir de ellas.

Figura 4: Ejemplos de dispositivos, partes y componentes biomédicos fabricados con tecnologías digitales tridimensionales.



Fuente: Elaboración propia.

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.

5 Resultados y Discusión

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 Ministerio de salud Pública de Cuba (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 (juntamente 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.

6 Consideraciones finales

Como resultado del presente trabajo se logra el vínculo entre la universidad y el sector de la salud en el marco de la Industria 4.0, lo cual ha permitido arribar a un grupo de conclusiones. Se identificaron como principales necesidades de aplicación de las tecnologías digitales tridimensionales en el sector de la salud, la fabricación de prótesis y aditamentos personalizados; el diseño y la fabricación de dispositivos partes y componentes; y el diagnóstico a partir modelos e imágenes utilizando herramientas de inteligencia artificial. Las principales técnicas digitales tridimensionales aplicables al sector biomédico son la modelación geométrica, el escaneado y la impresión.

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 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

- Benitez, G. B., Ghezzi, A., & Frank, A. G. (2023). When technologies become Industry 4.0 platforms: Defining the role of digital technologies through a boundary-spanning perspective. *International Journal of Production Economics*, 260, 108858. doi:10.1016/j.ijpe.2023.108858
- Burns, T., Cosgrove, J., & Doyle, F. (2019). A Review of Interoperability Standards for Industry 4.0. *Procedia Manufacturing*, 38, 646-653. doi: 10.1016/j.promfg.2020.01.083
- 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)
- García, M. (2017). Tratamiento personalizado: medicamentos fabricados con impresora 3D. Paper presented at the Tesis de Grado, Universidad Complutense. Madrid.
- Gómez, G. (2019). Proyecto de diseño de una prótesis a partir de fabricación aditiva (impresión 3D). Paper presented at the Tesis de Maestría, Escuela Superior de Ingenierías Industrial, Aeroespacial y Audiovisual de Terrassa.
- IEEE Computer Society (2015). IEEE Std. 3333.2.1-2015: *IEEE Recommended Practice for Three-Dimensional (3D) Medical Modeling*.
- Javaid, M., Haleem, A., Singh, R. P., & Suman, R. (2023). An integrated outlook of Cyber-Physical Systems for Industry 4.0: Topical practices, architecture, and applications. *Green Technologies and Sustainability*, 1(1), 100001. doi:10.1016/j.grets.2022.100001
- 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>
- Kowalikova, P., Polak, P., & Rakowski, R. (2020). The Challenges of Defining the Term "Industry 4.0". *Society*, 57(6), 631-636. doi:10.1007/s12115-020-00555-7

Nuttah, M. M., Roma, P., Lo Nigro, G., & Perrone, G. (2023). Understanding blockchain applications in Industry 4.0: From information technology to manufacturing and operations management. *Journal of Industrial Information Integration*, 33, 100456. doi:10.1016/j.jii.2023.100456

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>

Oztemel, E., Gursev, S. (2020). Literature review of Industry 4.0 and related technologies. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 31, 127–182 (2020). doi: 10.1007/s10845-018-1433-8

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>

Rossi, M. D. (2022). Investigación para el desarrollo de un protocolo para fabricación aditiva de modelos anatómicos en centros de salud. Paper presented at the Tesis Doctoral, Universitat Politècnica de València. <https://doi.org/10.4995/Thesis/10251/183303>.

Saravanan, G., Parkhe, S. S., Thakar, C. M., Kulkarni, V. V., Mishra, H. G., & Gulothungan, G. (2022). Implementation of IoT in production and manufacturing: An Industry 4.0 approach. *Materials Today: Proceedings*, 51, 2427-2430. doi:10.1016/j.matpr.2021.11.604

Sharma, N.R.; Subburaj, K.; Sandhu, K.; Sharma, V. (eds.), 2021. *Applications of 3D printing in biomedical engineering*, Singapore: Springer, ISBN 978-981-33-6887-3.

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