

IDENTIFICACIÓN DE NECESIDADES Y POTENCIALIDADES PARA LA APLICACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DIGITALES D AL SECTOR BIOMÉDICO EN EL TERRITORIO MATANCERO

Resumen (ES):

El trabajo se dirige a la identificación de las necesidades y potencialidades para la aplicación de tecnologías digitales tridimensionales en el sector de la salud en Matanzas. Tres tecnologías principales fueron revisadas como parte del trabajo: el modelado 3d, el escaneo 3d y la impresión 3d. El reconocimiento de patrones basado en técnicas de inteligencia artificial, para diagnóstico, también fue incluido. Las técnicas propuestas fueron formalizadas y se propuso, además, un mecanismo permanente para la identificación de demandas.

Palabras Claves (ES):

Tecnologías digitales tridimensionales; Sector de la salud; modelación 3d; escaneo 3d; impresión 3d.

Resumen (ING):

This work is aimed to the identification of needs and potentials for applying of three-dimensional digital technologies to healthcare sector in Matanzas. Three main technologies are reviewed: 3d modelling, 3d scanning and 3d printing. Artificial intelligence-based pattern recognition from 3d for diagnosis is also included. The proposed techniques were formalized and a permanent mechanism for identifying demands was also proposed.

Palabras Claves (ING):

Three-dimensional digital technologies; Healthcare sector; 3d modelling; 3d scanning; 3d printing.

Autores:

- 1- Ramón Quiza Sardiñas, ramon.quiza@umcc.cu, Univ. de Matanzas, Cuba.
- 2- Marcelino Rivas Santana, marcelino.rivas@umcc.cu, Univ. de Matanzas, Cuba.
- 3- Joaquín García Dihigo, joaquin.garcia@umcc.cu, Univ. de Matanzas, Cuba.

II Taller Universidad-Sector Productivo

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. 2021, 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).

El presente trabajo se dirige a la identificación de necesidades y potencialidades para la aplicación de las tecnologías al sector biomédico del territorio matancero.

DESARROLLO

Consideraciones generales

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).

Este proceso innovativo se 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.

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.

Identificación de las necesidades

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 escaneo, el procesamiento digital de modelos e imágenes tridimensionales y la fabricación aditiva (impresión 3d) (ver Fig. 2). 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 Fig. 3a), como partes y piezas de repuesto, fabricadas mediante técnicas de ingeniería inversa (ver Fig. 3b). En ambos casos, se utilizan herramientas como la modelación, el escaneo y la impresión tridimensionales.

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 escaneo tridimensional o por procesamiento de imágenes médicas, tales como las obtenidas mediante tomografías axiales computarizadas.

La tercera demanda identificada, es el uso de técnicas de análisis de imágenes y modelos tridimensionales, para realizar diagnósticos médicos (ver Fig. 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.

A partir de las necesidades anteriores, se hace necesario diseñar, como parte del proyecto, un sistema continuo de determinación de demandas, basada en la interacción entre los diversos actores del proceso de innovación.

Revisión de las técnicas y herramientas

Modelación tridimensional

La modelación tridimensional es el núcleo de las tecnologías digitales tridimensionales. Estas consisten, básicamente, en considerar los volúmenes y superficies espaciales a través de alguna representación matemática que permita su tratamiento computacional. Aunque todos los modelos tridimensionales comparten características comunes, como el uso de sistemas de coordenadas y de elementos geométricos como puntos y curvas, se pueden agrupar en dos grandes categorías (Horvath y Cameron 2020):

- Modelos sólidos: Consideran todo el volumen del cuerpo considerado. Son más versátiles, pero también más costosos computacionalmente. Son muy utilizados en aplicaciones donde las propiedades volumétricas (como la masa o los momentos de inercia) son necesarias.
- Modelos de carcaza: También conocidos como modelos de contorno o frontera, consideran solo las superficies que delimitan los volúmenes considerados. Son computacionalmente más económicos, pero tienen funcionalidades limitadas. Son ampliamente utilizados en simulaciones visuales.

A partir de los modelos tridimensionales se pueden realizar un grupo de tareas de gran importancia práctica como son la obtención de cortes y secciones, la combinación entre sólidos mediante operaciones booleanas (adición, intersección y substracción) y las simulaciones visuales o renderizados (Goodman et al. 2018).

Escaneo tridimensional

El escaneo tridimensional tiene como objetivo obtener información geométrica de un cuerpo o escena y transformarlo en un modelo tridimensional. Existen técnicas de escaneo por contacto, que se basan en examinar el objeto analizado mediante un palpador. Aunque son muy precisas, tienen varios inconvenientes dados por su lentitud, limitaciones dimensionales y propensión a dañar las superficies escaneadas, por lo cual su uso se limita, fundamentalmente, al control de calidad en los procesos de manufactura y algunas aplicaciones de ingeniería inversa (Helle y Lemu 2021).

Por el contrario, las técnicas más comunes de escaneado no realizan contacto mecánico con las superficies analizadas, sino que utilizan algún tipo de señal para ello. Dentro de este grupo se encuentran (Kuric et al. 2022):

- Escaneo activo: Emite alguna clase de señal y analizan su retorno para capturar la geometría de un objeto o una escena. Se utilizan radiaciones electromagnéticas (desde ondas de radio hasta rayos X) o ultrasonidos. Incluye, entre otras técnicas, el escaneo por tiempo de vuelo, el escaneo por triangulación, el escaneo por diferencia de fase y el escaneo por luz estructurada.
- Escaneo pasivo: Se basa en utilizar la radiación reflejada por los objetos del ambiente. Generalmente se utiliza, por comodidad, el espectro de luz visible. Las principales técnicas utilizadas en este grupo son el escaneo estereoscópico y el escaneo por silueta.

Es importante señalar que los métodos de escaneo rara vez son capaces de producir un modelo tridimensional, directamente. En su lugar, obtienen una nube de puntos, a partir de los cuales, posteriormente, se genera el modelo, utilizando alguna técnica complementaria de postprocesamiento (Kedzierski y Fryskowska, 2015).

Impresión tridimensional

La impresión tridimensional o manufactura es uno de los métodos de fabricación contemporáneos de carácter más revolucionario, al punto de ser considerado uno de los componentes de la llamada cuarta revolución industrial o Industria 4.0 (Cevikcan y Alp 2018). La fabricación aditiva o impresión 3D reduce costes, ahorra tiempo y trasciende los límites de los procesos de fabricación en el desarrollo de productos. Desde modelos conceptuales y prototipos funcionales en la creación rápida de prototipos hasta guías, fijaciones o incluso piezas de uso final en la fabricación, las tecnologías de impresión 3D ofrecen soluciones versátiles en una gran variedad de aplicaciones.

En los últimos años, las impresoras 3D de alta resolución han pasado a ser más asequibles, fáciles de usar y fiables. Por consiguiente, la tecnología de impresión 3D es ahora más

accesible para más empresas, pero a veces resulta difícil elegir entre las distintas soluciones de impresión 3D disponibles (Sharma et al. 2021).

Dentro de la manufactura aditiva, se destacan tres métodos fundamentales: el modelado por deposición fundida (*fused deposition modeling*, FDM), la estereolitografía (*stereolithography apparatus*, SLA) y el sinterizado selectivo por láser (*selective laser sintering*, SLS).

El FDM es la forma más extendida de impresión tridimensional y se basan en la construcción del modelo a partir de derretir y extrudir un filamento termoplástico que un extrusor deposita capa por capa en el área de impresión. La impresión por FDM funciona con varios termoplásticos estándares, como el acrilonitrilo butadieno estireno (ABS) y el poli ácido láctico (PLA) entre otros. Es una técnica adecuada para modelos básicos de prueba de concepto, así como para la creación de prototipos rápidos y de bajo costo. La impresión por FDM es la técnica que menor resolución y precisión ofrece. No es la mejor opción para imprimir diseños complejos o piezas con relieves complicados. Se puede obtener un acabado de mayor calidad mediante procesos de pulido químicos y mecánicos. Las impresoras 3D FDM industriales usan soportes solubles para mitigar algunos de estos inconvenientes y ofrecen una mayor variedad de termoplásticos para ingeniería, pero estos tienen un precio elevado (Penumakala et al. 2020).

Por su parte, la SLA fue la primera tecnología de impresión 3D del mundo, inventada en los años 80, y sigue siendo una de las tecnologías más populares en el ámbito profesional. La impresión por SLA usa un láser para curar resina líquida y convertirla en plástico endurecido en un proceso llamado fotopolimerización. Las piezas realizadas mediante SLA ofrecen el mayor grado de resolución y precisión, los detalles más nítidos y el acabado de la superficie más liso de todas las tecnologías de impresión 3D, pero el principal beneficio de la SLA se encuentra en su versatilidad. Los fabricantes de materiales han creado innovadoras fórmulas de resina fotopolimerizable para SLA con una gran variedad de propiedades ópticas, materiales y térmicas capaces de igualar las de los termoplásticos estándar, industriales y para ingeniería. La impresión por SLA es una excelente opción para prototipos con un alto nivel de detalle que requieren una escasa tolerancia y superficies lisas, como moldes, patrones y piezas funcionales. Es una técnica que se utiliza en diversas industrias, desde la ingeniería y el diseño de productos a la fabricación, la odontología, la joyería, la elaboración de maquetas y la educación (Zakeri et al. 2020).

El SLS es la tecnología de fabricación aditiva más común para aplicaciones industriales. Las impresoras por SLS usan un láser de alta potencia para fundir pequeñas partículas de polvo

de polímero. El polvo sin fundir sirve como soporte para la pieza durante la impresión y elimina la necesidad de agregar expresamente estructuras de soporte. Esto hace que la impresión por SLS sea ideal para geometrías complejas, como relieves interiores, socavados, paredes delgadas y negativos de piezas. Las piezas producidas mediante SLS tienen excelentes características mecánicas, con una resistencia similar a la de las piezas moldeadas por inyección. Las piezas realizadas mediante SLS tienen un acabado de la superficie ligeramente rugoso, pero casi no tienen líneas de capa visibles (Ahmed 2019).

Formalización de los mecanismos de trabajo

Formalización de las técnicas de modelación y fabricación tridimensionales para elementos de la salud

Para la modelación y fabricación mediante tecnologías digitales tridimensionales de elementos para el sector biomédico, se ha formalizado, como resultado de este proyecto, un esquema de trabajo (ver. Fig. 5). El mismo, se basa en tres posibles entradas: a partir de un elemento físico, de información digital o de una idea conceptual.

Los modelos concebidos a partir de elementos físicos, como piezas o componentes de equipos o partes del cuerpo humano. Para estos elementos, se procede a la obtención del modelo tridimensional mediante escaneado, con un posible posprocesamiento. Una segunda variante es partir de información digital, tales como imágenes radiográficas o tomografías axiales computarizadas. En estos casos, el modelo se genera a partir de dicha información, utilizando técnicas computacionales. En el tercer caso, se parte de una idea conceptual y el modelo se construye, desde cero, utilizando un sistema de dibujo asistido por computadora.

Una vez obtenido el modelo tridimensional del objeto a fabricar, se genera el código del control numérico computarizado (CNC) para la impresora 3d, lo cual se lleva a cabo a través del software especializado y, finalmente, se procede a la impresión.

Formalización de las técnicas de diagnóstico a partir del procesamiento digital de imágenes

Para el diagnóstico a partir del procesamiento de datos a partir de técnicas de inteligencia artificial, se propone un sistema interactivo y actualizable (ver. Fig. 6). El mismo parte de la imagen del paciente, que puede ser tanto una imagen plana (bidimensional) o una imagen tridimensional. La misma, se suministra al modelador de inteligencia artificial, el cual toma de la base de datos local el modelo correspondiente y, al aplicarlo a la imagen, obtiene un prediagnóstico.

Dicho prediagnóstico es validado por los especialistas médicos. De ser positiva la validación, se acepta y convierte en diagnóstico. En caso contrario, se guarda la información en la base de datos local.

Los modelos son generados y almacenados en un servidor en la nube. Los mismos son actualizados periódicamente, a partir de los datos retroalimentados de los nodos locales.

Formalización del mecanismo permanente de identificación y satisfacción de necesidades de aplicación de las tecnologías digitales tridimensionales en el sector biomédico

El proceso de diseño y fabricación de elementos biomédicos, mediante tecnologías digitales tridimensionales, se ha concebido en concordancia de los principios de colaboración y sinergia, establecidos anteriormente. El mismo (ver Fig. 7) integra los tres sectores que intervienen en el proceso: el biomédico, el académico y el productivo.

El proceso parte de una necesidad identificada en el sector biomédico. Para la identificación de dichas necesidades, se establecen reuniones o contactos periódicos entre el sector académico y los diversos actores del sector biomédico. A partir de la necesidad, se elabora la tarea técnica que es consensuada con los clientes, y de ella, se obtienen la idea conceptual y, posteriormente, el diseño preliminar.

Este diseño preliminar es evaluado tanto por el cliente (sector biomédico) como por las entidades del sector productivo que intervendrán en su fabricación, para determinar, respectivamente, su factibilidad desde el punto de vista técnico y productivo. En caso de encontrarse problemas, se modifica la idea conceptual y se repite el proceso. Si se considera factible en ambos sentidos, se procede a la elaboración del prototipo, el cual es evaluado por el cliente. De requerirse, se pueden realizar cambios iterativos hasta que el prototipo sea totalmente satisfactorio.

Una vez aprobado el prototipo, se procede al diseño definitivo del producto y a su aprobación por las autoridades regulatorias. Finalmente, se pasa al proceso productivo (lo cual requiere la elaboración de la correspondiente documentación tecnológica) y el producto final, pasa al cliente.

CONCLUSIONES

Como resultado del presente informe, se ha podido arribar a las siguientes conclusiones. En primer lugar, la aplicación de las técnicas digitales tridimensionales al sector biomédico debe ser parte de un sistema de gestión de la innovación que encadene a los actores de los sectores de la salud, académico y productivo. De igual modo, se han identificado 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. Finalmente, hay que señalar que las principales técnicas digitales tridimensionales aplicables al sector biomédico son la modelación geométrica, el escaneado y la impresión.

Referencias

- Ahmed, N., 2019. "Direct metal fabrication in rapid prototyping: A review", *Journal of Manufacturing Processes* 42 pp. 167-191, doi: 10.1016/j.jmapro.2019.05.001
- Cevikcan, E.; Ustundag, A., 2018. *Industry 4.0 : Managing the digital transformation*. Berlín: Springer, ISBN 978-3-319-57870-5.
- Cruz, Y.J.; Rivas, M.; Valls, L.; Ferreira, V., 2021. "Aplicación de las redes neuronales convolucionales a la detección del cáncer de pulmón". X Convención Científica Internacional de la Universidad de Matanzas (CIUM 2021), Matanzas (Cuba).
- Danuso, A.; Giones, F.; Ribeiro da Silva, E., 2021. "The digital transformation of industrial players: A guide", *Business Horizons* [in press], doi: 10.1016/j.bushor.2021.04.001
- 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).
- González, A.; Rivas, M.; Riveiro, R.B.; Quza, R., 2021. "Tendencias contemporáneas en la fabricación de andamios porosos para regeneración de tejido óseo". X Convención Científica Internacional de la Universidad de Matanzas (CIUM 2021), Matanzas (Cuba).
- Goodman, J.E.; O'Rourke, J.; Tóth, C.D. (eds.), 2018. *Handbook of discrete and computational geometry*, Boca Raton, FL (USA): CRC Press, ISBN 978-1-3151-1960-1
- Helle, R. H., Lemu, H. G., 2021. "A case study on use of 3D scanning for reverse engineering and quality control", *Materials Today: Proceedings* 45 pp. 5255-5262, doi: 10.1016/j.matpr.2021.01.828
- Horvath, J.; Cameron, R., 2020. *Mastering 3D printing: A guide to modeling, printing, and prototyping*, 2nd. Ed., New York: APress, ISBN 978-1-4842-5842-2.
- Kedzierski, M.; Fryskowska, A., 2015. "Methods of laser scanning point clouds integration in precise 3D building modelling", *Measurement* 74 pp. 221-232, doi: 10.1016/j.measurement.2015.07.015

- Kraus, S.; Schiavone, F.; Pluzhnikova, A.; Invernizzi, A.C., 2021. "Digital transformation in healthcare: Analyzing the current state-of-research", Journal of Business Research 123 pp. 557-567, doi: 10.1016/j.jbusres.2020.10.030
- Kuric, I.; Kandra, M.; Klarák, J.; Císar, M.; Zajačko, I., 2022. "Design of laser scanners data processing and their use in visual inspection system". En: Machado, J.; Soares, F.; Trojanowska, J.; Yildirim, S. (eds.) Innovations in Mechatronics Engineering. Cham (Switzerland): Springer, ISBN 978-3-030-79168-1.
- Penumakala, P.K.; Santo, J.; Thomas, A., 2020. "A critical review on the fused deposition modeling of thermoplastic polymer composites", Composites Part B: Engineering 201 id. 108336, doi: 10.1016/j.compositesb.2020.108336
- 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.
- Tsoufias, G.; Bangeas, P.I.; Suri, J.S. (eds.), 2020. 3D Printing: Applications in medicine and surgery, Amsterdam (Netherlands): Elsevier. ISBN 978-0-323-66164-5.
- Zakeri, S.; Vippola, M.; Levänen, E., 2020. "A comprehensive review of the photopolymerization of ceramic resins used in stereolithography", Additive Manufacturing 35 id. 101177, doi: 10.1016/j.addma.2020.101177

Tablas y figuras

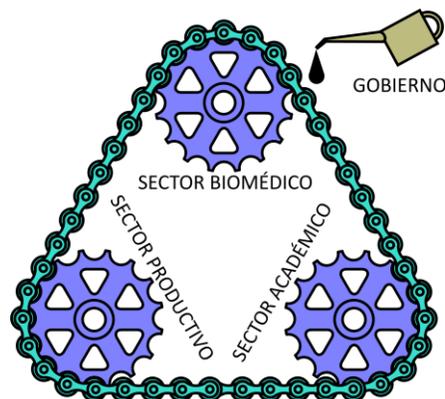


Figura 1: Encadenamiento de actores para la innovación de tecnologías digitales tridimensionales en el sector biomédico



Figura 2: Ejemplo de fabricación e implante de una prótesis personalizada



Figura 3: Ejemplos de dispositivos, partes y componentes biomédicos fabricados con tecnologías digitales tridimensionales

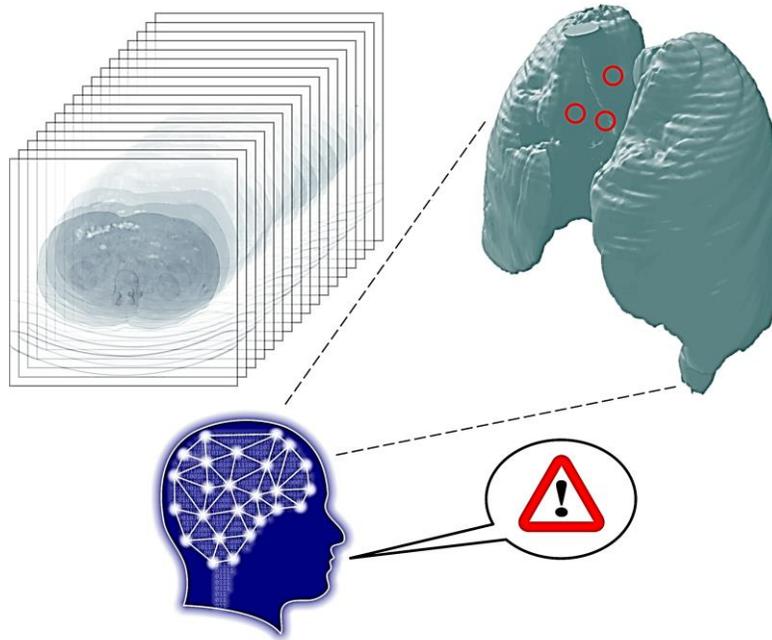


Figure 4: Representación gráfica de un diagnóstico realizado por procesamiento de imágenes tridimensional

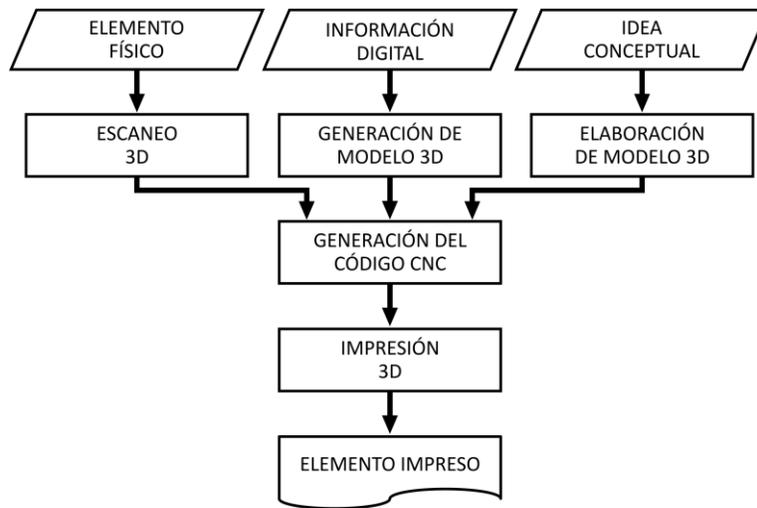


Figura 5: Flujograma de las técnicas de modelación y fabricación de elementos biomédicos mediante tecnologías digitales tridimensionales

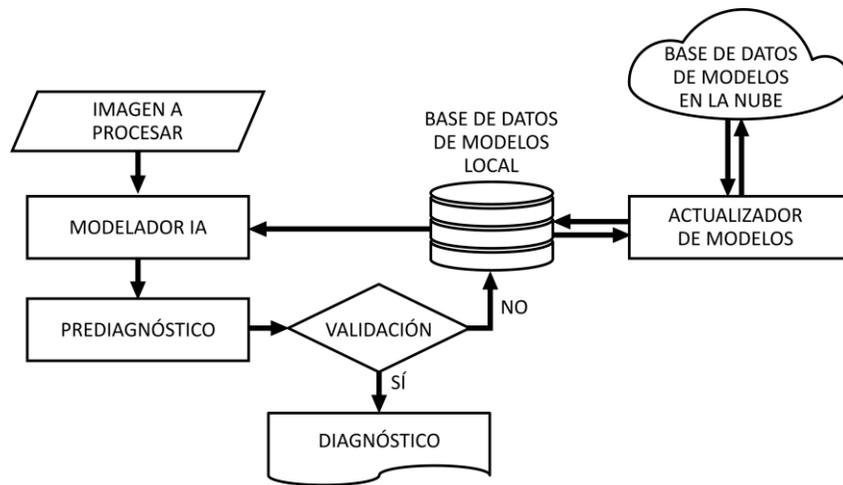


Figura 6: Flujograma del diagnóstico mediante procesamiento de imágenes por inteligencia artificial

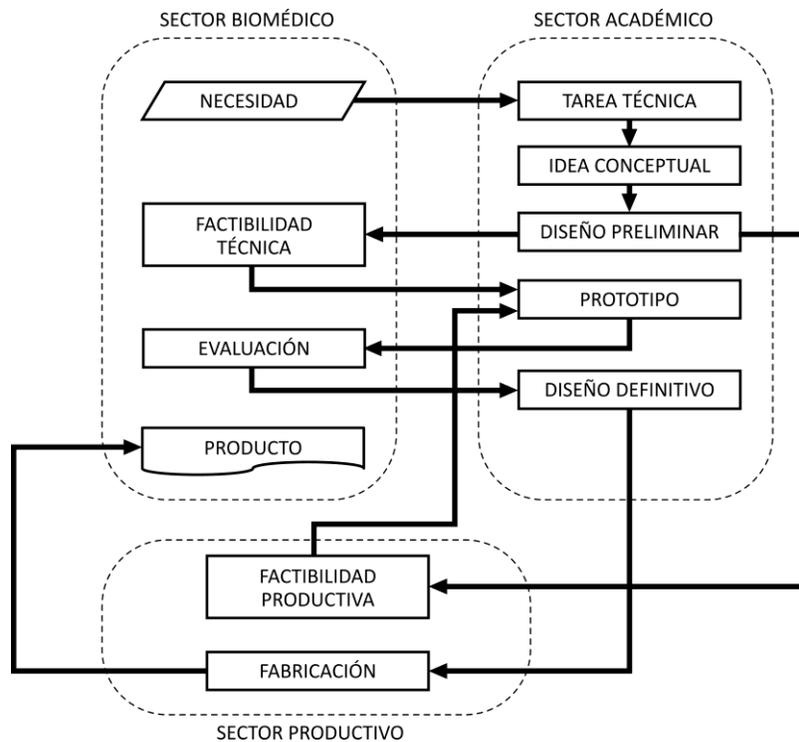


Figura 7: Flujograma del mecanismo permanente de identificación y satisfacción de necesidades de aplicación de las tecnologías digitales tridimensionales en el sector biomédico