

# GESTIÓN DE OPERACIONES

---

# INDUSTRIALES

---



Esta obra está publicada bajo una [Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)



UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE  
TRUJILLO

FACULTAD DE INGENIERIA  
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL  
TRUJILLO, PERÚ  
Marzo, 2022

## The use of 3D graphic systems in research, development and prototyping in industries 4.0

Cristian Axel Mendoza Cabrera<sup>1, \*</sup>; Paulo Cesar Tello Plingo<sup>1</sup>; Giuliana Cecilia Villena Chávez<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Escuela de Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Trujillo. Av. Juan Pablo II s/n – Ciudad Universitaria, Trujillo, Perú.

\*Autor correspondiente: [cmendozac@unitru.edu.pe](mailto:cmendozac@unitru.edu.pe) (C. Mendoza).

Fecha de recepción: 31 08 2022. Fecha de aceptación: 20 11 2022

---

### ABSTRACT

**Purpose** - Establish a viable relationship between the use of 3D graphics systems and Industry 4.0. For this, and as the objective of this article, it will be to develop and explore its benefits in different aspects.

**Methodology** - This research article was prepared taking into account a systematic review of our publications focused on our research topic, using the Technological Surveillance Service of the National University of Trujillo.

**Findings** - This review article shows how the use of 3D graphics systems influences Industry 4.0 in research, development and prototyping in different industrial sectors.

**Value** - Additive manufacturing (AM) and 3D graphics systems have an important effect on the design process as well as the production of prototypes, saving in terms of cost and time. Another important effect is the ability to produce geometrically more complex products and a better use of resources.

**Keywords:** Industry 4.0; graphics systems; 3D; additive manufacturing.

---

---

## El uso de los sistemas gráficos en 3D en la investigación, desarrollo y prototipado en industrias 4.0

---

### RESUMEN

**Propósito** - Establecer una relación viable entre el uso de los sistemas gráficos en 3D y la industria 4.0. Para ello, y como objetivo de este artículo, será desarrollar y explorar sus beneficios en distintos aspectos.

**Metodología** - Este artículo de investigación fue elaborado tomando en cuenta una revisión sistemática de numerosas publicaciones centradas en nuestro tema de investigación, usando el Servicio de Vigilancia Tecnológica de la Universidad Nacional de Trujillo.

**Hallazgos** - Este artículo de revisión muestra cómo el uso de los sistemas gráficos en 3D influye en la industria 4.0 en la investigación, el desarrollo y el prototipado en diferentes sectores industriales.

**Valor** - La fabricación aditiva (FA) y los sistemas gráficos en 3D tienen un efecto importante en el proceso de diseño como en la producción de prototipos, ahorrando en términos de costo y tiempo. Otro efecto importante es la capacidad de producir productos geoméricamente más complejos y un mejor aprovechamiento de recursos.

**Palabras clave:** Industria 4.0; sistemas gráficos; 3D; fabricación aditiva.

---

## 1. Introducción

El avance de la tecnología significa un cambio continuo en el sector industrial y por consiguiente en la sociedad misma, es por eso que en la actualidad se habla de Industria 4.0 y Sociedad 5.0. La Industria 4.0 se refiere a la interconexión inteligente de máquinas y procesos con la ayuda de la tecnología de la información y la comunicación [11].

En este contexto, las iniciativas de la Industria 4.0 están ganando terreno, ya que aumentan su competitividad aprovechando los avances tecnológicos [3], y el uso de sistemas gráficos en 3D es uno de ellos. Se desarrollan sobre la base de sistemas informáticos como son: Computer Aided Design o CAD, Computer Aided Manufacturing o CAM, Computer Aided Engineering o CAE y tecnologías aditivas [6,7]. La flexibilidad en el diseño, rediseño y reutilización de modelos 3D, es decir, la posibilidad de utilizarlos en otros contextos y aplicaciones [3,4], les otorga una gran importancia.

La industria 4.0 representa la transformación digital haciendo referencia a nueve tecnologías clave, dentro de las cuales se encuentra la fabricación aditiva [1] y cuyo tema trataremos en este artículo.

En la fabricación aditiva o impresión 3D, se crea un objeto físico a partir de una representación geométrica bajo un control computarizado. A diferencia de la complicada fabricación sustractiva, la fabricación aditiva tiene capacidades únicas tales como: producción de geometrías complejas, ensamblaje integrado y eliminación de restricciones de fabricación, lo que promueve la creación de prototipado rápido [6, 7].

Además, la impresión 3D es superior en la producción única o de lotes pequeños, es una solución potencial y rentable para las industrias manufactureras actuales en función de sus economías de escala. Hoy en día, se utiliza en aplicaciones industriales como: armas de fuego, equipos médicos, construcción, aeronaves y robótica [10].

En el ámbito de la Salud Dental, contribuye a un adecuado control en la etapa de diseño, lo que determina el rendimiento de los productos finales [12]. En la industria aeroespacial, tenemos la fabricación a gran escala como método para producir prototipos de herramientas aptas y no muy costosas [14]. Por otro lado, en la industria artesanal, los sistemas en 3D benefician la obtención de productos híbridos (artesano-industrial) gracias a las posibilidades de diseño y la viabilidad de los resultados que llegan al mercado [2].

Dentro de la ingeniería de diseño y producción, son los facilitadores tecnológicos los que permiten la realización de figuras complejas que requieren un mayor tiempo de elaboración, reduciendo la frontera en la innovación de productos [2]. Al mismo tiempo, gracias al rápido crecimiento y las significativas reducciones de costos de las impresoras 3D en la actualidad, han brindado soluciones de fabricación a nivel industrial y están llenando cada vez más el mercado con soluciones a nivel del consumidor [6, 13], por eso se dice que la impresión 3D es la industria del futuro.

Asimismo, la impresión 3D no representa una amenaza importante para el medio ambiente, debido a la situación climática actual es preferible contar con procesos de fabricación sostenibles, con un menor consumo de recursos, y una disminución en la generación de residuos. En nuestro país, existe un desconocimiento sobre los temas de la industria 4.0 y los beneficios de los sistemas gráficos a consecuencia de los avances tecnológicos limitados, las dificultades en el financiamiento, la visión en la gerencia y/o por trabajadores no calificados para manipular dichas tecnologías [5].

Debido a todo lo expuesto anteriormente podemos establecer una relación viable entre el uso de los sistemas gráficos en 3D y la industria 4.0. Para ello, y como objetivo de este artículo, será desarrollar y explorar los beneficios del uso de los sistemas gráficos en 3D en la investigación, desarrollo y prototipado en la industria 4.0

## 2. Metodología

En el presente artículo, para recopilar información acerca del uso de los sistemas gráficos en 3D en la investigación, desarrollo y prototipado en industrias 4.0, se realizó una búsqueda sistemática de la literatura en distintas revistas que cuentan con motores de búsqueda tales como Scopus, Scielo, LatinIndex, etc., teniendo en consideración la eliminación de los archivos duplicados con el fin de obtener estudios que involucren una síntesis cuantitativa y cualitativa.

Después se procedió a filtrar la información obtenida de acuerdo a la relevancia de su contenido para nuestro estudio. Para iniciar el proceso de búsqueda se utilizarán descriptores como términos a partir de la pregunta de investigación: “impresión 3d”, “industrias 4.0”, “prototipado”, “industria”, “sistemas gráficos”, “desarrollo”. Los artículos consultados en este artículo fueron seleccionados con la condición de que estos tengan una fecha de publicación no menor a 5 años de antigüedad.

## 3. Resultados y discusión

El aumento de la complejidad y la necesidad de acortar el tiempo del desarrollo de productos ha causado que las empresas cambien sus procesos clásicos por paradigmas de ingeniería concurrente [1]. Este tipo de ingeniería es más ágil y eficiente, pero es más difícil de administrar, ya que existe mayor interdependencia entre tareas multidisciplinarias.

La producción tradicional de prototipos es demasiado cara; el uso de un proceso FA [2] tiene un efecto significativo en términos de costo y tiempo. Así mismo, tiene la capacidad de producir productos geoméricamente más complejos. El factor clave para su ejecución exitosa es la adecuada parametrización del diseño de los algoritmos.

Las tecnologías de CAD, CAM y CAE son aplicadas cada vez más en la industria actual, ya que se pueden simular una serie de procesos de diseño y fabricación utilizando metodologías como el trabajo experimental combinado con herramientas estadísticas, análisis de elementos finitos aplicados con suficiente antelación en el ciclo de diseño, herramientas basadas en CAD para optimizaciones de diseño y herramientas basadas en CAM para optimizaciones de mecanizado [8]. Podemos ver algunas aplicaciones en sectores como:

### Sector médico:

La Salud Dental se caracteriza por su parte técnica, donde nuevos materiales y métodos dependen del desarrollo de sistemas informáticos. Un problema importante, son las reacciones alérgicas de los pacientes hacia el material con el que se elaboran las estructuras dentales.

Los sistemas de diseño de código abierto como CAD y el uso de CAM son esenciales para la producción 3D en la industria dental, estos son sistemas relacionados con centros de mecanizado de control numérico, máquinas CNC.

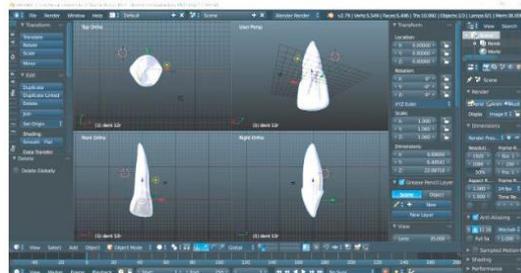
Una ventaja esencial para el software 3D son sus modelos tridimensionales, ya sea sólido o malla poligonal, compuesta por caras/aristas y vértices.

**Tabla 1**

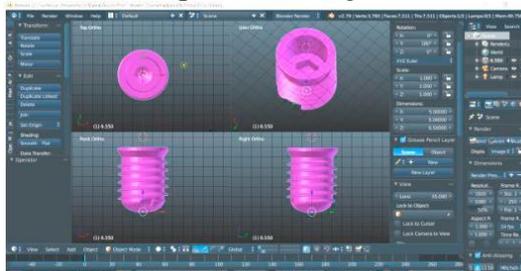
Diferencia entre diseños de computadora 2D Y 3D.

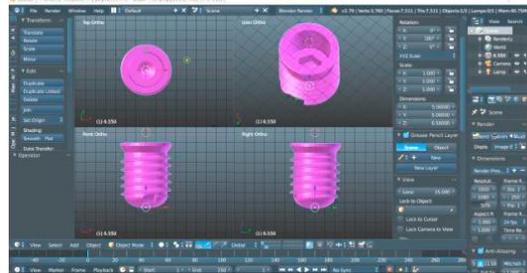
2D/3D SOFTWARE	
Base	Subdivisión
Diseño de computadora 2D	Dibujo técnico Gráficos vectoriales Gráficos de trama
Diseño de computadora 3D	Modelos sólidos 3D Modelos de malla poligonal 3D

En [12] podemos evidenciar un ejemplo de lo mencionado anteriormente, el software 3D Open Source Blender permite el modelado de dientes de malla poligonal, implantes, coronas, entre otros. Asimismo, el uso de una base de datos con modelos de dientes en 3D. Las figuras 1 y 2 muestran modelos digitales 3D de dientes.

**Figura 1.** Modelo de diente digitalizado en 3D (12r) en Blender (Vista 3D: Sólido)**Figura 2.** Modelo de diente digitalizado en 3D (16r) en Blender.

Uno de los complementos especializados para hacer implantes dentales es Open Dental CAD, las figuras 3 y 4 muestran un modelo digital 3D de implantes dentales utilizándolo.

**Figura 3.** Modelo 3D digitalizado de implante dental (5/5/6.5) en Blender entorno de software.



**Figura 4.** Modelo 3D digitalizado de implante dental (4.1/4.1/14) en Blender entorno de software (Vista 3D: estructura alámbrica)

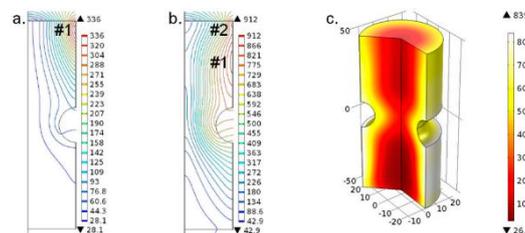
Los modelos tridimensionales en Open Source Blender son malla poligonal. Para la producción real, se necesita darles una estructura sólida y transferir los datos a máquinas de impresión 3D o CNC.

El uso de modernas máquinas de impresión CNC y 3D es recomendado por las clínicas dentales para la materialización del modelo, ya que aumenta la calidad de los modelos tridimensionales finales.

#### Sector metalúrgico-mecánico:

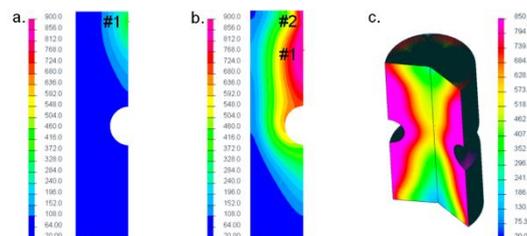
En [9] se presentan simulaciones del material base acero, gracias al uso de CAE, como son: endurecimiento por inducción, granallado superpuesto y evaluación de la fatiga considerando las propiedades del material.

El endurecimiento del acero por inducción consta de dos partes, calentamiento inductivo y enfriamiento posterior. El calentamiento inductivo se realizó gracias a la utilización del software Comsol®, esta es una herramienta de modelado y análisis para prototipado virtual de fenómenos físicos, COMSOL Multiphysics puede modelar cualquier fenómeno físico que se pueda describir con ecuaciones diferenciales parciales.



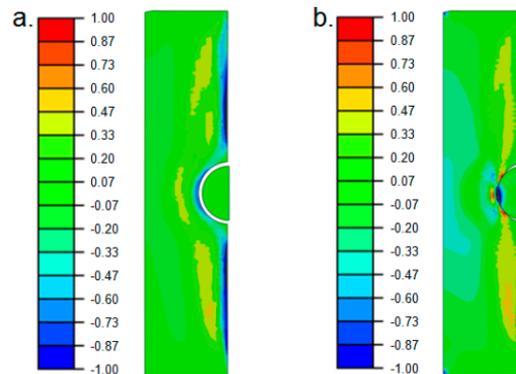
**Figura 5.** Resultados numéricos de simulación de calentamiento inductivo en Comsol®.

La posición calculada numéricamente y el campo de temperatura dependiente del tiempo se transfirieron luego a Sysweld®, software de simulaciones para tratamientos térmicos, soldaduras y ensambles por soldadura; con lo cual se examinó la simulación del proceso de tratamiento térmico. Esta interfaz convirtió la distribución temperatura-tiempo para cada nodo del modelo numérico.



**Figura 6.** Resultados numéricos de simulación de calentamiento inductivo en Sysweld®.

La tercera parte de la simulación del proceso de fabricación fue el proceso mecánico StrP superpuesto. Por lo tanto, los datos de material local resultantes se transfirieron de Sysweld ® a Abaqus®, programa de cálculo por elementos finitos, para realizar la simulación mecánica.



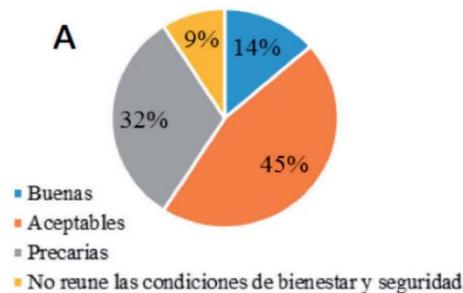
**Figura 7.** Estado de tensión residual axial antes (a) y durante la carga de compresión máxima (b) del proceso mecánico StrP.

### Sector Artesanal:

En [2] se desarrolló una metodología que fue aplicada al proyecto denominado “ManBio”, esta metodología estuvo basada en estudio de casos, cuyo objetivo fue plantear pautas que faciliten explorar la intervención de la ingeniería de diseño y la producción con facilitadores tecnológicos, de la I4.0, en el sector artesanal. La metodología mostrada se basó en un conjunto de cinco fases.

La primera fase fue la caracterización de los factores comunes entre lo artesanal y lo industrial, la segunda fase fue identificar zonas de oportunidad incorporando la innovación mediante facilitadores tecnológicos y digitales de la I4.0, como la digitalización de soluciones, prototipado, animación y representación para el cliente, control en tiempo real, interconexión continua, conexión humano máquina y datos inteligentes. La tercera fase consistió en evaluar el posible impacto de los facilitadores tecnológicos seleccionados. La cuarta fase propone identificar nuevos facilitadores y también el momento adecuado para su implementación. Por último, la quinta fase consistió en un plan estratégico de innovación abierta dentro de la actividad artesanal a mejorar.

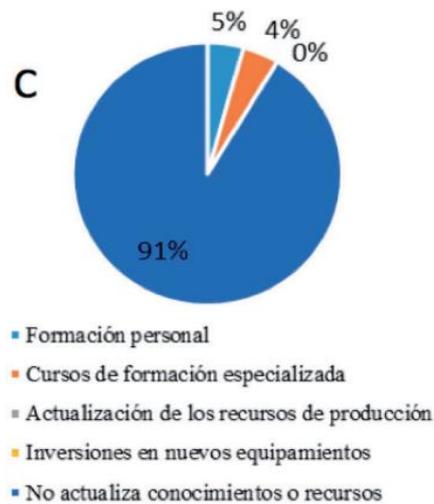
La metodología del proyecto “ManBio” tuvo como público objetivo diversas actividades del sector artesanal de mimbre tejido (fibra natural de un arbusto de la familia de los sauces); el proyecto se desarrolló en la región autónoma de Madeira y se consideró a 3 asociaciones de artesanos, 4 empresas artesanales y 37 artesanos. Dando los resultados mostrados en la siguiente figura:



**Figura 8.** Seguridad y salud ocupacional.



**Figura 9.** Equipamiento de fabricación.



**Figura 10.** Actualización de conocimientos y recursos.



**Figura 11.** Uso de tecnologías innovadoras.

Observamos que un porcentaje muy pequeño de este sector utiliza herramientas de prototipado rápido, aquí se recomendó usar Rhinoceros 5.



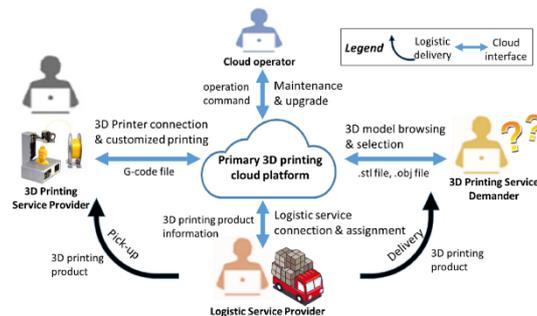
**Figura 12.** Integración de herramientas digitales para el desarrollo del producto artesanal en Rhinoceros 5, software que permite la creación de modelos de alta calidad, que pueden ser complementados con procesos CAE para realizar ajustes y mejoras, para luego emplear técnicas de prototipado rápido y fabricación aditiva.

### Sector ciber-físico:

En [6] nos hablan sobre propuestas de modelos de nube de impresión 3D, es decir una plataforma donde se promocionen servicios de impresión 3D.

El modelo de nube de impresión 3D principal incluye cuatro tipos de roles: operador de nube, proveedor de servicios de impresión 3D, demandante de servicios de impresión 3D y proveedor de servicios logísticos. Las interacciones se realizan en la plataforma de la nube.

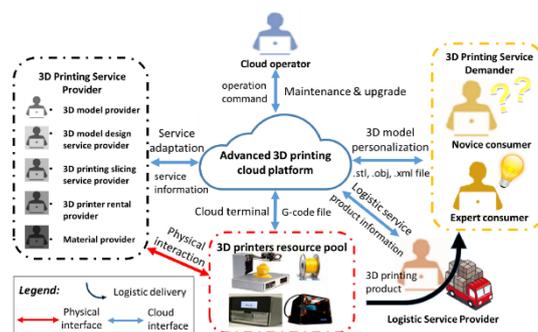
El operador se encarga del mantenimiento de la plataforma en la nube y es intermediario entre los proveedores y consumidores. Los proveedores tienen sus propias impresoras 3D y publican la información del servicio disponible en la nube. Los consumidores pueden acceder a la plataforma y explorar los modelos 3D publicados y la información del servicio en línea. Después de contratar un servicio la plataforma registrará la información de la transacción. Una vez realizado todo, el proveedor de servicios logísticos de terceros entregará el producto final al consumidor.



**Figura 13.** Modelo principal de nube de impresión 3D.

El modelo de nube de impresión 3D avanzada, en comparación con el modelo principal, incluye mayor cantidad de roles, servicios de impresión 3D especializados, diversos tipos de impresoras 3D para cumplir requisitos personalizados y los consumidores se clasifican en dos tipos, novatos y expertos.

Los consumidores novatos son aquellos que no tienen un conocimiento profundo del proceso de impresión 3D y seleccionan modelos predefinidos e impresoras recomendadas, pero también pueden pedir una solicitud de diseño a los proveedores de servicios. Un consumidor experto tiene habilidades sobre cómo utilizar software un CAD para crear modelos 3D y administrar parámetros de impresión 3D.



**Figura 14.** Modelo de nube de impresión 3D avanzada.

El proveedor tiene diferentes clasificaciones como el proveedor de modelos de impresión 3D que publica los existentes, ofrece servicios de diseño CAD personalizado o proporciona las herramientas para la creación de estos; el de servicios de corte de impresión 3D; el de alquiler de impresoras 3D y el proveedor de materiales.

El modelo avanzado reduce el umbral de conocimiento profesional del usuario potencial y reduce también el costo de beneficiarse de la tecnología de impresión 3D, promueve el desarrollo colaborativo de las industrias relacionadas con la impresión 3D.

En las aplicaciones por sector presentadas anteriormente podemos observar criterios con los que podemos agruparlas como, por ejemplo:

**a. Diseño de productos con tecnologías CAD y/o CAE:**

El proceso para seleccionar la herramienta de CAD y/o CAE más apropiada es muy importante. Los criterios de selección incluyen la calidad, limitaciones, aplicaciones, defectos, utilidades, tiempo de construcción y el costo.

En el estudio de Mrugalska, B. et al. en 2021, concluyó que el sistema más apropiado para una mejor precisión en el sector dental es Open Source Blender, acompañado del complemento especializado Open Dental CAD para el diseño requerido.

Mientras que en el estudio de Leitner, M.; Aigner, R.; Grün, F. de 2019, el sistema apropiado para la simulación de calentamiento inductivo se optó por el software Comsol®. Así mismo, la simulación del proceso de tratamiento térmico se realizó con el software Sysweld® y por último para la simulación del proceso de fabricación se seleccionó el software Abaqus®.

Con respecto al estudio de Alexandre, B. et al. en 2017 nos muestra que en el sector artesanal español no se encuentra adaptado a las tecnologías de la industria 4.0. ya que sólo un 5% usa tecnologías de prototipado rápido, aquí se recomendó usar el software Rhinoceros 5.

Por otro lado, Cui, J. et al. en 2022 nos hablaron sobre la posibilidad de implementar un modelo de nube de impresión 3D, donde se brinden servicios como el diseño asistido por computadora (CAD), en una plataforma totalmente digital donde los productos, fabricación aditiva, puedan llegar a las personas de una manera menos complicada.

**b. Fabricación aditiva y modelos de costos de producción.**

La fabricación aditiva incluye los estudios revisados donde se investigan las capacidades que FA proporciona a los diseñadores de productos, como por ejemplo en [9] con las máquinas de control numérico por computadora - CNC, que recomiendan son las adecuadas para llevar a la realidad las prótesis, implantes, coronas, entre otros. diseñadas, ya que aumenta la calidad de los modelos tridimensionales finales.

En [6] donde nos mencionan el modelo de nube de impresión 3D, el proceso de contratación del servicio termina en la fabricación aditiva del producto diseño o seleccionado por el comprador, así mismo en la plataforma se presenta la idea de seleccionar entre las diferentes opciones de impresoras 3D.

La reducción de costos y tiempos de producción son mencionados como las ventajas principales de la fabricación aditiva en el diseño de productos, ya que se necesitan

herramientas, moldes y grupos de personas, como podemos ver en el sector artesanal en [2], ya que se pueden realizar prototipos virtuales sin necesidad incurrir en costos convencionales.

Otro beneficio importante es la capacidad para crear y llevar a la realidad productos geoméricamente complejos, como vemos en el sector dental en [12] con los implantes dentales personalizados al cliente.

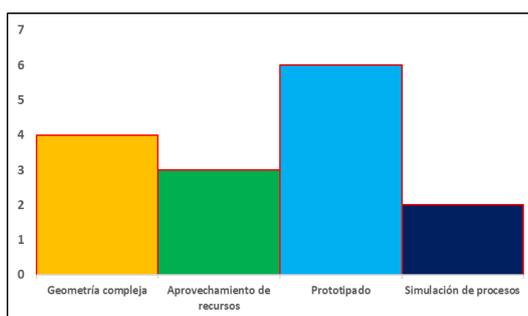
Según nuestra bibliografía, la cual cuenta con 13 artículos científicos que están relacionados con los sistemas gráficos en 3D y la industria 4.0, podemos percibir lo siguiente:

- El 38.46% de los artículos que conforman nuestra bibliografía son investigaciones llevadas a cabo mediante observación y análisis de información ya existente
- El 23.08% de los artículos que conforman nuestra bibliografía son trabajos que analizan y discuten artículos científicos
- El 38.46% de los artículos que conforman nuestra bibliografía son investigaciones basadas en la experimentación y observación



**Figura 15.** Porcentajes de las clasificaciones de los artículos científicos revisados

Además, se realizó un análisis de los principales temas en los que se enfocan los artículos científicos que conforman nuestra bibliografía, esto se debe a la importancia de la clasificación de los artículos científicos según el enfoque principal que los autores pretenden dar a entender.



**Figura 16.** Clasificación de los enfoques principales de los artículos científicos

- De los 14 artículos científicos revisados, solo 4 pretenden un enfoque en la geometría compleja, ya que pretenden dar a entender que programas como CAD y CAM ayudan, en gran medida, a la elaboración de formas complejas de esbozar
- De los 14 artículos científicos revisados, solo 3 pretenden un enfoque en el aprovechamiento de recursos, debido a que el uso software de modelamiento permite una mayor planeación en la fabricación de algún producto, lo cual deriva en un mejor uso de los recursos
- De los 14 artículos científicos revisados, solo 6 pretenden un enfoque en el prototipado, debido a que el prototipo muestra el estado final de lo que vendría a ser nuestro

producto, esto ayuda en gran medida a la planeación del proceso de fabricación del producto

- De los 14 artículos científicos revisados, solo 2 pretenden un enfoque en la simulación de procesos, eso se debe a que el uso de sistemas gráficos permite realizar simulaciones del proceso de fabricación del producto al ya tener una guía.

Se deben recopilar datos de diferentes campos industriales para distinguir varios procesos de fabricación y ayudar a la toma de decisiones sobre las prácticas de fabricación ambientalmente responsables en la industria.

Además, una limitación de nuestro estudio es la siguiente, y al igual que otras tecnologías, en ciertos casos, la industria está mucho más avanzada que la literatura, y algunos de los desafíos considerados en el estudio ya han sido resueltos en gran medida por algunas de las empresas líderes.

#### 4. Conclusiones

El uso de los sistemas gráficos en 3D ha tenido un gran impacto en diferentes industrias a nivel de productos, innovación y creatividad. Por un lado, en comparación con los diseños convencionales donde los prototipos de productos finales eran tradicionalmente demasiado caros para producir, el uso de los sistemas en 3D tiene un efecto positivo en la producción de prototipos en términos de costo y tiempo. Otro efecto importante es la capacidad de producir productos geoméricamente más complejos y un mejor aprovechamiento de recursos.

Por otro lado, recomendamos a la mayoría de las organizaciones adaptarse al uso de los sistemas gráficos en 3D y tener una ventaja competitiva que las diferencie de otras que no los usan.

Como hemos podido analizar, el uso de los sistemas gráficos en 3D presenta amplios beneficios ya que contribuyen a un adecuado control en la etapa de diseño y un mejor rendimiento en los productos finales, ayudando a construir un sistema sostenible compatible con las Industrias 4.0.

#### 5. Referencias Bibliográficas

- [1] Alcácer, V. y Cruz-Machado, V. (2019). Scanning the Industry 4.0: A Literature Review on Technologies for Manufacturing Systems. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 22(3), 899-919. <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2019.01.006>
- [2] Alexandre, B., Salguero, J., Peralta, M. E., Aguayo, F., y Ares, E. (2017). Aplicación de las tecnologías de la industria 4.0 al diseño y fabricación de productos artesanales. *DYNA: Ingeniería e Industria*, 92, 435-441. <https://doi.org/10.6036/8169>
- [3] Aranburu, A., Justel, D., Contero, M. y Camba, J. (2022). Geometric Variability in Parametric 3D Models: Implications for Engineering Design. *Procedimiento CIRP*, 109, 383-388. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.05.266>
- [4] Camba, J., Contero, M. y Company, P. (2016). Parametric CAD modeling: An analysis of strategies for design reusability. *Computer-Aided Design*, 74, 18-31. <https://doi.org/10.1016/j.cad.2016.01.003>
- [5] Chung, H., Elisa, T. y Yi, H. (2019). Evaluating the Factors that are Affecting the Implementation of Industry 4.0 Technologies in Manufacturing MSMEs, the Case of Peru. *Processes*, 7(3), 161. <https://doi.org/10.3390/pr7030161>

- [6] Cui, J., Ren, L., Jingeng, M., Zheng, P. y Zhang, L. (2022). 3D Printing in the Context of Cloud Manufacturing. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 74(102256). <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2021.102256>
- [7] Gibson, I., Rosen, D. W. y Stucker, B. (2010). *Additive manufacturing technologies: Rapid Prototyping to Direct Digital Manufacturing*. Springer Science. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4419-1120-9>
- [8] Kyratsis, P., Kakoulis, K. y Markopoulos, A. P. (2020). Advances in CAD/CAM/CAE Technologies. *Machines*, 8(1), 13. <https://doi.org/10.3390/machines8010013>
- [9] Leitner, M.; Aigner, R.; Grün, F. (2019). Numerical Fatigue Analysis of Induction-Hardened and Mechanically Post-Treated Steel Components. *Machines*, 7(1), 9. <https://doi.org/10.3390/machines7010001>
- [10] Lipson, H. y Kurman, M. (2013). *Fabricated: The New World of 3D Printing*. John Wiley & Sons, Hoboken. [https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=MpLXWHp-srIC&oi=fnd&pg=PA1&dq=H.+Lipson+,+M.+Kurman+\(2013\)&ots=Z4eZtUM2ZG&sig=2M5r1i\\_lqko-TbF8FyYy9O3KHvU#v=onepage&q=H.%20Lipson%20%2C%20M.%20Kurman%20\(2013\)&f=false](https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=MpLXWHp-srIC&oi=fnd&pg=PA1&dq=H.+Lipson+,+M.+Kurman+(2013)&ots=Z4eZtUM2ZG&sig=2M5r1i_lqko-TbF8FyYy9O3KHvU#v=onepage&q=H.%20Lipson%20%2C%20M.%20Kurman%20(2013)&f=false)
- [11] Ministerio Federal de Asuntos Económicos y Acción Climática, Ministerio Federal de Educación e Investigación. (2019). What is Industrie 4.0?. *Plattform-i40.de*. <https://www.plattform-i40.de/I40/Navigation/EN/Industrie40/WhatIsIndustrie40/what-is-industrie40.html>.
- [12] Mrugalska, B., Dovramadjiev, T., Pavlova, D., Filchev, R., Stoeva, M., Bozhikova, V. y Dimova, R. (2021). Open source systems and 3D computer design applicable in the dental medical engineering Industry 4.0 – sustainable concept. *Procedia Manufacturing*, 54, 296-231. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2021.09.002>
- [13] Niaki, M. K. y Nonino F. (2017). Additive manufacturing management: a review and future research agenda. *International Journal of Production Research*, 55 (5), 1419-1439. <https://doi.org/10.1080/00207543.2016.1229064>
- [14] Stiles, A., Kobler, W., Yeole, P. y Vaidya, U. (2022). Photopolymer formulation towards large scale additive manufacturing of autoclave capable tooling. *Additive Manufacturing*, 50(102571). <https://doi.org/10.1016/j.addma.2021.102571>