

Fabricación Digital: Impactos y estrategias para la sociedad y el ambiente

Eduardo José Ovalle Hernández^(*)

Resumen: Este artículo presenta un resumen de una investigación cualitativa que examina en profundidad los desafíos y oportunidades que presenta la fabricación digital. El objetivo principal es analizar los impactos de esta tecnología en la sociedad y el medio ambiente, identificando estrategias para promover un desarrollo tecnológico responsable, sostenible y equitativo. La metodología se basa en el análisis y la síntesis de información proveniente de artículos de revistas digitales, blogs de expertos e informes relevantes, abordando los temas desde una perspectiva holística que considera tanto los aspectos positivos como los negativos. En el centro del análisis se encuentran cuatro estrategias clave: el aceleracionismo, la desmaterialización, la digitalización y la inteligencia artificial. Los resultados plantean desafíos ambientales y sociales que deben ser abordados con responsabilidad e implementar estrategias que integren el diseño sostenible, la economía circular y políticas públicas que fomenten prácticas éticas y equitativas, la investigación continua, la colaboración interdisciplinaria y el compromiso con la innovación responsable son elementos clave para maximizar los beneficios y minimizar los riesgos de esta transformación tecnológica.

Palabras Clave: Biomateriales - Digitalización - Sostenibilidad - Inteligencia Artificial - Desmaterialización.

[Resúmenes en inglés y portugués en la página 130]

^(*) Licenciado en diseño industrial, investigador académico en el Departamento de Tecnología del Instituto de investigación en Ciencias Naturales y Tecnología (Iarna), de la Universidad Rafael Landívar.

Introducción

La industria de Fabricación Digital ha transformado los procesos productivos, generando impactos profundos en la sociedad y el medio ambiente. Esta revolución tecnológica, aunque ha traído consigo desafíos ambientales, como el aumento en el consumo de recursos naturales y la generación de residuos electrónicos, también ha impulsado estrategias innovadoras para mitigar estos efectos negativos (Pacto Mundial Red Española., 31 de enero 2025). La adopción de biomateriales, derivados de fuentes sostenibles, como hongos o residuos agrícolas, está abriendo nuevas posibilidades para la construcción y fabricación respetuosas con el entorno. Paralelamente, las tendencias de diseño sostenible están ganando terreno, incorporando el uso de energías renovables en la infraestructura digital y desarrollando software verde para optimizar el consumo energético. La desmaterialización, que busca reducir la intensidad material y energética de bienes y servicios, manteniendo o aumentando su valor, está contribuyendo significativamente a la conservación de recursos naturales (FasterCapital, s.f.).

De manera paralela, la convergencia entre la fabricación digital y los biomateriales está dando lugar a nuevos diálogos acerca del uso de tecnologías avanzadas. Esto es especialmente evidente en regiones de Hispanoamérica, donde se busca integrar estas innovaciones sin desplazar las tradiciones de fabricación manual. La inteligencia artificial juega un papel crucial en este panorama al optimizar la morfología de los productos y mejora la eficiencia en el uso de materiales mediante software de simulación y tecnologías de la cuarta revolución industrial. Esto permite aprovechar al máximo el potencial de los nuevos materiales, trabajando la forma y su materialidad de maneras que antes eran inimaginables. La digitalización de los procesos de fabricación no solo mejora la eficiencia productiva; también redefine las habilidades necesarias en la fuerza laboral, impulsando la necesidad de programas de capacitación y adaptación. En este contexto de rápida evolución tecnológica, la industria se encuentra en un punto crítico donde debe equilibrar la innovación con la responsabilidad ambiental (Martínez Schulte, D. 2024, 25 de enero). En base a esto, el objetivo de este artículo es analizar los desafíos que persisten y explorar las estrategias enfocadas en un desarrollo de tecnologías responsables, sostenibles y equitativas destinadas a minimizar los impactos adversos entorno a los procesos vinculados a la fabricación digital. Así, este artículo responde a la siguiente pregunta investigación: ¿Cómo podemos integrar estrategias como el aceleracionismo, la desmaterialización, la digitalización y la inteligencia artificial en la fabricación digital para equilibrar la innovación tecnológica con la responsabilidad ambiental y social, abordando al mismo tiempo los desafíos persistentes para lograr un desarrollo sostenible y equitativo?. Esta pregunta de investigación está diseñada para abordar directamente el objetivo planteado, enfocándose en la sostenibilidad, la innovación tecnológica y la responsabilidad social en el contexto de la fabricación digital.

Antecedentes

La Agenda Universitaria de Investigación de la Universidad Rafael Landívar conceptualiza la tecnología como un conjunto integral de conocimientos y herramientas desarrollados por la humanidad para abordar la incertidumbre inherente al mundo natural y modificarlo con el propósito de elevar la calidad de vida (AUI, 2023).

Fundamentalmente, la tecnología se concibe como la materialización práctica del conocimiento científico, el cual actúa como un instrumento para el logro de metas tanto personales como sociales en el trascender cotidiano. Sin embargo, es importante mencionar que la producción y el uso de la tecnología no siempre se alinean con este objetivo del bien común. Dada su naturaleza instrumental la tecnología ha sido empleada en algunas ocasiones con propósitos dañinos para la sociedad y el ambiente, lo cual ha generado repercusiones considerables en las interacciones entre los seres humanos, otras formas de vida y el ambiente. En base a esta problemática, el Centro de Tecnologías Alternativas del tecnólogo Landívar, Investigadores y estudiantes de distintas disciplinas han desarrollado proyectos, investigaciones y actividades de formación enfocadas en tecnología para el bien común, sin embargo, es importante promover de manera más amplia la investigación científica, para lo cual el departamento de tecnología del Iarna ha elaborado una revisión sistemática exploratoria de literatura sobre la interacción entre la ecología integral y la tecnología lo cual ha resultado beneficiosa para fomentar la generación de oportunidades de investigación al respecto. Con la dirección a continuar en esta línea de investigación, este artículo fomenta las bases de la ecología integral en sinergia con los procesos de fabricación digital.

Metodología

Este artículo fue una indagación cualitativa que analizó distintas fuentes como artículos de publicaciones digitales, blogs de especialistas e informes. El fin fue entender en detalle los efectos de la fabricación digital en la sociedad y el ambiente con enfoque en el análisis en el aceleracionismo, la desmaterialización, la digitalización y la inteligencia artificial.

Se seleccionaron estos enfoques ya que el aceleracionismo como teoría, propone intensificar el progreso tecnológico; el aceleracionismo fue examinado en relación con su capacidad de transformar los procesos productivos mediante la intensificación tecnológica y por su factible incremento de desigualdades y perjuicios al ambiente. Se tomó la desmaterialización como estrategia ya que busca reducir el consumo de materiales y energía y es una alternativa fundamental para fomentar la sostenibilidad, junto al diseño ecológico y a la economía circular.

Además, se discutió cómo la digitalización puede implementarse en la fabricación digital responsable mediante modelos de economía circular. También se analizaron la responsabilidad ambiental de la tecnología, el diseño de materiales y la equidad tecnológica. Se abordó la digitalización apoyada en la inteligencia artificial y el Internet de las cosas por la efectividad a largo plazo que propone y la innovación que lleva consigo, junto con los

problemas existentes en términos de uso de la energía y los desechos electrónicos. De esta manera se proponen resultados que responden a la pregunta de investigación relacionada al objetivo de este artículo.

Impactos Ambientales y Sociales de la Fabricación Digital

La fabricación digital, incluyendo la impresión en 3D, tiene un impacto significativo tanto en el medio ambiente como en la sociedad. Estas tecnologías ofrecen beneficios como sostenibilidad, eficiencia y reducción de emisiones, pero también presentan desafíos relacionados con la generación de residuos electrónicos y desigualdad social. Abordar estos impactos requiere un enfoque estratégico para maximizar los beneficios y mitigar los efectos negativos. En términos ambientales, la fabricación digital contribuye positivamente a la sostenibilidad al reducir el consumo de materiales y energía. La impresión 3D, por ejemplo, utiliza únicamente los materiales necesarios para crear piezas específicas, disminuyendo significativamente los residuos en comparación con métodos tradicionales. Además, permite la producción local bajo demanda, lo que reduce las emisiones asociadas al transporte y almacenamiento masivo (Markforged, 2024). Estas ventajas hacen que la fabricación digital sea una herramienta clave para alcanzar objetivos de sostenibilidad global.

Sin embargo, también existen efectos negativos. La fabricación de dispositivos digitales y componentes electrónicos necesarios para estas tecnologías genera una considerable cantidad de residuos electrónicos. Estos residuos, conocidos como e-waste, incluyen materiales tóxicos que pueden contaminar el suelo y el agua si no se gestionan adecuadamente. Además, el proceso de extracción de minerales para fabricar chips y otros componentes genera erosión del suelo y emisiones significativas de carbono (Marí Torres, J. M., 2024). Este problema se agrava por la falta de infraestructuras adecuadas para el reciclaje en muchas regiones del mundo.

En el ámbito social, la fabricación digital puede exacerbar las desigualdades existentes. Mientras que en algunos países estas tecnologías están impulsando la innovación y el desarrollo económico, en otros se enfrentan barreras como el acceso limitado a recursos tecnológicos y capacitación. Esto crea una brecha tecnológica que dificulta una adopción equitativa a nivel global (UNCTAD, 2018). Para mitigar estos impactos negativos, es esencial implementar estrategias sostenibles. La adopción de modelos de economía circular puede reducir significativamente los residuos mediante el reciclaje y la reutilización de materiales. Además, invertir en energías renovables para alimentar las operaciones digitales puede disminuir la huella ambiental (ONU Comercio y Desarrollo, 2024). También es crucial fomentar la cooperación internacional para garantizar un acceso equitativo a estas tecnologías y promover regulaciones estrictas que impulsen prácticas responsables. En conclusión, la fabricación digital tiene un impacto dual: ofrece oportunidades para avanzar hacia una economía más sostenible y eficiente, pero también plantea desafíos ambientales y sociales significativos. Un enfoque equilibrado que combine innovación tecnológica con estrategias sostenibles es clave para maximizar sus beneficios mientras se minimizan sus riesgos.

Estrategias Sostenibles para una Innovación Responsable

La innovación responsable se ha convertido en un pilar esencial para avanzar hacia un desarrollo sostenible. Esto implica la adopción de estrategias que integren diseño sostenible, economía circular y políticas públicas que fomenten prácticas responsables; estas acciones no solo buscan minimizar los impactos ambientales, sino también promover beneficios sociales y económicos.

El diseño sostenible, apoyado por tecnologías como la fabricación digital, permite crear productos con menor impacto ambiental. Una de las tendencias más prometedoras es la integración de biomateriales, como bioplásticos y compuestos biodegradables, en procesos productivos. Estos materiales además de reducir el uso de recursos no renovables también son aptos para utilizarlos con tecnologías como la impresión 3D optimizando su uso mediante modelos digitales y cumplir con requisitos técnicos específicos. Además, el diseño computacional permite aprovechar al máximo las propiedades técnicas y estéticas de los biomateriales, generando soluciones innovadoras y sostenibles (ArchDaily, 2024).

Por otro lado, la economía circular aplicada a la fabricación digital redefine los modelos tradicionales de producción y consumo. Este enfoque se basa en reducir, reutilizar y reciclar materiales para minimizar desperdicios y extender la vida útil de los productos.

Tecnologías como la impresión 3D facilitan este proceso al permitir la fabricación local bajo demanda y el uso de materiales reciclados en nuevas aplicaciones (Inproeco, 2023). La digitalización también juega un papel clave al optimizar cadenas de suministro mediante herramientas como el Internet de las Cosas (IoT), que mejora la trazabilidad y facilita la recuperación de materiales al final de su ciclo de vida (CIEC Madrid, 2024).

Finalmente, las políticas públicas son fundamentales para fomentar prácticas responsables. Iniciativas como el Plan Nacional para la Innovación en México destacan la importancia de articular esfuerzos entre gobierno, academia e industria para promover soluciones tecnológicas sostenibles, de esta manera prioriza el desarrollo de proyectos que combinan innovación social con cuidado ambiental, incentivando modelos como la economía circular y el uso de energías renovables (SECIHTI, 2023). Asimismo, normativas internacionales como el Pacto Verde Europeo buscan integrar sostenibilidad en todas las etapas del ciclo económico (OECD, 2024).

El Aceleracionismo de la tecnología

El aceleracionismo, en cuanto perspectiva filosófica y política, defiende la idea de que la intensificación del desarrollo tecnológico servirá para desencadenar un cambio social radical. Desde esta perspectiva, la fabricación digital presenta oportunidades, pero también desafíos para la sociedad y el medio ambiente (Pujol, G., 2024). Es muy probable que la automatización y la inteligencia artificial optimicen toda la producción posible, reduciendo la necesidad de trabajo humano y permitiendo a todos centrarse en pasatiempos creativos y personales, sin embargo, esto produce una inequidad tecnológica y una falta

de empleo digno. Al mismo tiempo, las tecnologías avanzadas también podrían abordar problemas globales, como el cambio climático o la gestión de recursos naturales, desenterrando las fuerzas productivas de la humanidad para su beneficio (Prado, R. 2024).

Esta perspectiva tiene sus críticos. Algunos sugieren que el aceleracionismo empeora las desigualdades sociales y ambientales al precipitar las dinámicas capitalistas. A medida que la fabricación progresa, el trabajo es eliminado por la automatización o lo que es peor, explotado sin piedad en las condiciones más duras (Jimena O., 2015). En cuanto a la perspectiva ambiental, el aceleracionismo sobrecarga el crecimiento si no se implementan controles que atenúen sus impactos (Beck, H., 2024).

En este contexto, es fundamental investigar la aplicabilidad del aceleracionismo al campo de la fabricación digital de manera responsable. Esto implica aprovechar las innovaciones en la fabricación aditiva para hacer que los procesos de fabricación sean lo más eficientes y críticamente sostenibles posible, pero sin dañar a nadie en exceso. Alternativamente, estos desarrollos también deben democratizarse en el futuro, ya que, de lo contrario, solo unos pocos propietarios de patentes controlarán la totalidad de los pasos de fabricación accesibles (Williams, A., & Srnicek, N., 2013). En resumen, el aceleracionismo en la fabricación digital crea un conflicto entre las posibilidades emocionantes que presentan y el creciente miedo a nuestras propias creaciones. La solución, de manera lógica, yace en el camino medio y prudente.

A continuación, se analizan las estrategias enfocadas en el aceleracionismo, la desmaterialización, la digitalización y la inteligencia artificial como tendencias latentes en el contexto actual.

Desmaterialización: hacia una producción más sostenible

La desmaterialización se refiere a la reducción de la intensidad de materiales y energía utilizables para lograr los mismos o mejores resultados económicos y sociales. Se logra a través de la optimización de los productos y la reingeniería de los procesos y servicios para aumentar su eficiencia y disminuir los residuos que producen. En este sentido, el ecodiseño y la economía circular ejercen una importancia sustancial, pues implican la consecución de reutilización, reciclaje y uso oportuno de los recursos en los flujos materiales y energéticos (Federación de Polígonos Industriales Asturias, 2015).

En ámbito industrial, esta estrategia implica un giro de varias ventajas que revolucionan no solo la producción sino también la manera en cómo se relaciona con el ambiente. La ventaja respecto a la desmaterialización durante la producción reduce el impacto ambiental considerablemente porque trata de gestionar la generación de desechos y las emisiones de contaminantes a la atmósfera, asimismo, ahorra en costos de producción ya que optimiza materias primas y energía, lo cual beneficia a los productores y consumidores. En conjunto, todas estas ventajas hacen de la desmaterialización una herramienta ineludible para convertir la fabricación digital en un proceso eficiente y respetuoso del medio ambiente (Federación de Polígonos Industriales Asturias, 2015).

La desmaterialización es una oportunidad crítica para reconciliar los objetivos económicos con los ambientales. Esta no solo es capaz de mitigar parcialmente la huella ecológica de las industrias, sino que también las haría más competitivas y creativas. Sin embargo, esto solo será posible si la humanidad se compromete a un modelo diferente que valore la eficiencia y la regeneración natural (Nuri Barón, G., 2019).

Digitalización como motor de cambio

La digitalización ha sido imprescindible para cambiar la forma de fabricar los productos ya que es capaz de revolucionar la producción y la experiencia del consumidor. Para ello propone incorporar tecnologías como la inteligencia artificial (IA), el internet de las cosas (IoT) y los servicios en la nube en las distintas etapas del ciclo productivo. De esta manera posibilita una mejora en la eficiencia operativa y fomenta la innovación (Editorial Airtm. (2023).

Entre las tecnologías emergentes, el IoT y su sinergia con productos impresos en 3D están transformando significativamente el diseño, la fabricación y las compras. Estas herramientas permiten un nivel superior de personalización, conectividad y eficiencia. Por ejemplo, con la impresión 3D, los diseñadores pueden explorar formas y materiales que serían inviables o costosos con métodos tradicionales. Además, esta tecnología facilita la personalización masiva, permitiendo a los usuarios ajustar los productos a sus necesidades antes de ser fabricados.

El IoT aporta inteligencia y capacidad de interacción con los productos. Los dispositivos conectados no solo se comunican entre sí, sino también con los usuarios, mejorando su experiencia. Así, la combinación del IoT y la impresión 3D está revolucionando el comercio electrónico, permitiendo una mayor personalización de los productos y una mayor optimización de los procesos como la logística y los inventarios. La impresión en 3D bajo demanda reduce el exceso de producción, y el uso de datos de Internet de las cosas proporciona a las empresas datos útiles para mejorar los diseños y a escalar su estrategia comercialización (Pimentel, P., 2024).

De esta manera, la impresión 3D ha demostrado ser una herramienta clave para reducir el impacto ambiental durante la elaboración de productos. Durante los procesos de fabricación digital, ya que esta tecnología utiliza únicamente los materiales necesarios para producir, así disminuye los residuos generados en comparación con otros métodos.

La Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL] plantea mediante un diagrama, las ventajas latentes de la digitalización como estrategia en sinergia con la fabricación digital entre otras tecnologías relacionadas:



Diagrama 1. Uso de tecnologías digitales en la cadena manufacturera. Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (n.d.). [Diagrama Uso de tecnologías digitales en la cadena manufacturera]. Redibujado por Marianne Porras (Estudiante auxiliar de investigación/IARNA) de Las tecnologías digitales para un nuevo desarrollo industrial (Diagrama III.5). <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/879779be-c0a0-4e11-8e08-cf80b41a4fd9/content>

Sin embargo, es importante reconocer los desafíos ambientales asociados con estas tecnologías, por ejemplo, puede implicar un alto consumo energético dependiendo del tipo de impresora utilizada y los materiales empleados. Para abordar estos problemas, se están desarrollando modelos más eficientes en el uso de energía y recursos, así como alternativas basadas en materiales más sostenibles.

La Inteligencia Artificial y su Aplicación en Disciplinas Materiales

La IA también está transformando la fabricación digital en relación con las innovaciones en la colorimetría, la morfología y el diseño de materiales que se optimizan a través de ésta, lo que permite una mayor precisión y personalización, de esta forma genera nuevas oportunidades para la sostenibilidad en la cadena de producción. Junto con la morfología, la colorimetría y el diseño de materiales los algoritmos de diseño generativo, puede examinar miles de configuraciones potenciales para un modelo 3D, tomando en cuenta la función relacionada con la estabilidad, carga estructural, peso y uso eficiente de materiales. (Sungplastic, 2024).

En el campo de la colorimetría, la tecnología ha avanzado para integrar sistemas que aseguran una correcta reproducción del color en un diseño impreso dependiendo de las proporciones que tenga el color en la aplicación, por ejemplo, existen impresoras que aprovechan las tintas CMYK y tecnologías para imprimir con colores fuertes y efectos especiales como texturas transparentes. Esto permite una paleta y una gama de posibilidades muy amplias; de la misma forma asegura que el diseño impreso sea idéntico al que fue diseñado digitalmente, por lo que es menos propenso a errores. (Mimaki Europe, 2019). Estas capacidades son especialmente relevantes en industrias como la automotriz o el diseño de productos personalizados.

Por otro lado, en el diseño de materiales, la IA está facilitando el desarrollo de nuevos compuestos con propiedades específicas. Algoritmos avanzados pueden analizar datos sobre el comportamiento de diferentes materiales bajo diversas condiciones y sugerir opciones óptimas para cada proyecto. Esto no solo acelera el desarrollo de materiales innovadores, sino que también reduce desperdicios al calcular con precisión las cantidades necesarias para cada impresión (TeamVOX, 2024).

Dentro de la esfera de la investigación y el desarrollo de materiales, la inteligencia artificial ha supuesto un cambio de paradigma al respecto, convirtiéndose en una especie de catalizador que ha afectado radicalmente los procesos tradicionales, reduciendo los plazos de ejecución.

Gracias a la capacidad de los algoritmos de procesar enormes volúmenes de datos, crear modelos predictivos y optimizar los procesos más complejos, el tiempo dedicado a la identificación y el desarrollo de nuevos materiales disminuyó de décadas a solo algunos años. Este hecho, en combinación con un abaratamiento significativo de los costes asociados, creó un entorno altamente eficiente para la creación de tecnologías innovadoras. Además, la IA no solo aceleró los plazos de investigación, sino que también permitió pensar en nuevas posibilidades y soluciones que anteriormente simplemente no eran realistas, lo que creó un campo de posibilidades para el desarrollo de materiales más efectivos, sostenibles y adecuados a la situación moderna (AECOC Innovation Hub, s.f.).

Sin embargo, a pesar de sus beneficios, la aplicación de la IA en disciplinas materiales enfrenta desafíos. La disponibilidad limitada de datos completos y precisos puede dificultar el desarrollo de modelos predictivos confiables.

Resultados

El panorama de la fabricación digital presenta una dualidad muy interesante, sobre todo impulsada por el llamado de aceleración en torno a una transformación tecnológica radical. Por un lado, surge la promesa de una producción optimizada y soluciones revolucionarias para los problemas globales. Por otro lado, existe la amenaza del surgimiento de múltiples desigualdades sociales y el avance de los problemas ambientales.

La estrategia de desmaterialización surge como parte esencial, empoderando la eficiencia de los recursos y la minimización de los desechos que promueve a su vez la economía circular y el ecodiseño.

Sin duda, la digitalización, de la cual emerge la inteligencia artificial (IA), el Internet de las cosas (IoT) y los servicios en la nube, proporciona uno de los motores de cambio fundamentales para la fabricación digital. Por un lado, esta herramienta promueve la innovación y personalización; por otro lado, requiere una gestión ambiental.

La IA, entre otras, puede optimizar cualquier cantidad de procesos, incluyendo el diseño de materiales y esto acelera la velocidad de la innovación. No obstante, debido a los esfuerzos que la fabricación digital ha hecho por cambiar hacia una economía más sostenible han surgido riesgos ambientales y sociales que con urgencia requieren una gestión proteccionista. En esta línea, la innovación responsable, que implementa el diseño sostenible y la economía circular, puede describirse como un faro que ilumina el camino hacia la maximización de los beneficios y la minimización de los costos. La tarea no consiste exclusivamente en conservar lo sostenible, sino en transformar nuestra perspectiva sobre la cadena de suministro y la creación de políticas gubernamentales para hacer que ambas sean responsables y equitativas. En esta vía, la fabricación digital puede garantizar que contribuya plenamente a un futuro más rico y viable para todos.

Discusión

La fabricación digital asociada a la inteligencia artificial (IA), presenta un campo de estudio complejo y de distintas caras. Desde una perspectiva aceleracionista, el potencial para la transformación de la sociedad es muy grande, sin embargo, plantea interrogantes sobre la equidad tecnológica y la sostenibilidad ambiental. De esta manera se genera la pregunta, ¿Cómo podemos garantizar que el avance tecnológico beneficie a todos y no solo a unos pocos, y cómo podemos mitigar los posibles impactos negativos en el medio ambiente?

La desmaterialización surge como un concepto clave en este debate. La idea de reducir el volumen en el uso de materiales y recursos energéticos para lograr resultados iguales o superiores se alinea con los principios de la economía circular y el diseño sostenible. Sin embargo, la implementación efectiva de estrategias de desmaterialización requiere un cambio de mentalidad y un compromiso colectivo. Para esto debe responderse la pregunta ¿Qué incentivos se pueden implementar para promover la adopción de prácticas de desmaterialización en la industria y entre los consumidores, o que políticas públicas deben surgir al respecto?

La digitalización se presenta como un motor de cambio que impulsa la eficiencia operativa y la innovación. La sinergia entre el Internet de las Cosas y la impresión 3D ofrece oportunidades de personalización y optimización de la cadena de suministro. Sin embargo, es crucial abordar los desafíos ambientales que esto conlleva, como el consumo energético y la generación de residuos electrónicos. Esto genera la discusión sobre desarrollar modelos más eficientes en el uso de energía y recursos y realizar una gestión responsable de los residuos electrónicos.

Asimismo, la inteligencia artificial juega un papel cada vez más importante en la fabricación digital, ya que optimiza procesos y acelera el desarrollo de nuevos materiales. Sin

embargo, es importante generar los datos precisos y la combinación del conocimiento tradicional con algoritmos de IA para obtener resultados óptimos. Para esto se deben superar las limitaciones en la disponibilidad de datos y fomentar la colaboración entre expertos en IA y especialistas en materiales.

Los impactos ambientales y sociales de la fabricación digital son complejos ya que, si bien estas tecnologías ofrecen beneficios en términos de sostenibilidad y eficiencia, también plantean desafíos relacionados con impactos negativos en el ambiente y la desigualdad social. Por esto, es determinante implementar estrategias sostenibles que aborden estos desafíos y promuevan la innovación responsable como políticas públicas que incentiven la adopción de prácticas responsables y garanticen un acceso equitativo a estas.

La innovación responsable, que integra el diseño sostenible, la economía circular y políticas públicas, se presenta como un camino prometedor para aprovechar el potencial de la fabricación digital y minimizar sus riesgos. Sin embargo, es necesario tomar en cuenta en la investigación, la efectividad de las estrategias al definir indicadores que midan el impacto de la innovación responsable posiblemente por medio de la colaboración entre los diferentes actores involucrados.

Conclusiones

En conclusión, la industria de Fabricación Digital está en un punto de inflexión, donde la innovación tecnológica debe equilibrarse con la responsabilidad ambiental. La adopción de biomateriales, la implementación de estrategias de diseño sostenible, y la integración de la inteligencia artificial en los procesos de fabricación son pasos cruciales hacia un futuro más sostenible. El desafío radica en continuar impulsando la innovación mientras se mitigan los impactos negativos, creando así un paradigma de producción que sea tanto eficiente como respetuoso con el medio ambiente. Esto implica no solo la adopción de nuevas tecnologías y materiales, sino también un cambio fundamental en la forma de concebir y ejecutar los procesos de diseño y fabricación.

Sobre esta base, la transición a una fabricación digital más sostenible solo puede lograrse mediante un enfoque holístico de todo el ciclo de vida del producto, desde la concepción hasta la eliminación.

El objetivo final aquí es establecer un patrón de producción que sea tanto sostenible como eficiente. No obstante, esto no debe lograrse a la sombra de las necesidades de las generaciones futuras para salvaguardar sus propias. El reto reside en seguir favoreciendo el progreso tecnológico, mientras se ponen en marcha estrategias eficaces para disminuir los efectos perjudiciales en el ambiente. Esto supone no solo la aceptación de tecnologías materiales, sino, además, una modificación esencial en la forma de concebir y ejecutar los procesos de diseño y fabricación. En resumen, el objetivo es construir un modelo de producción que sea eficiente y considerado con medio ambiente. No obstante, esto se debe conseguir sin perjudicar a las siguientes generaciones para satisfacer las necesidades de la actual.

Referencia Bibliográfica

- AECOC Innovation Hub. (s.f.). Uso de la Inteligencia Artificial para fabricar nuevos materiales. AECOC. Recuperado de <https://www.aecoc.es/innovation-hub-noticias/uso-de-la-inteligencia-artificial-para-fabricar-nuevos-materiales/>
- Universidad Rafael Landívar (URL), (Julio 2023), Agenda Universitaria de investigación (AUI).
- ArchDaily. (2024). *Fabricación digital y biomateriales en la arquitectura: fusionando identidad y tecnología*. Recuperado de <https://www.archdaily.cl/cl/1005150/fabricacion-digital-y-biomateriales-en-la-arquitectura-fusionando-identidad-y-tecnologia>
- Beck, H. (2024, 1 de enero). ¿Decrecimiento o aceleración? *Otros Diálogos*. Recuperado de <https://otrosdialogos.colmex.mx/decrecimiento-o-aceleracion>
- CIEC Madrid. (2024). *Open Lab #06 / Economía circular digital: Fabricación digital para modelos de negocio basados en la circularización*. Recuperado de <https://ciecmadrid.es/open-lab-06-economia-circular-digital-fabricacion-digital-para-modelos-de-negocio-basados-en-la-circularizacion/>
- Editorial Airtm. (2023, 21 de diciembre). Digitalización y cómo afecta a los sectores económicos globales. *Airtm Blog*. Recuperado de <https://www.airtm.com/es/blog/enterprise/digitalizacion/>
- FasterCapital. (2024, 21 de junio). Sustainability: Dematerialization for a Sustainable Future. Recuperado el 7 de febrero de 2025, de <https://fastercapital.com/content/Sustainability-Dematerialization-for-a-Sustainable-Future.html>
- Federación de Polígonos Industriales Asturias. (2015, 16 de noviembre). Desmaterialización y ecoeficiencia: Concepto y aplicaciones en la empresa. *Polígonos Industriales Asturias*. Recuperado de <https://www.poligonosindustrialesasturias.com/poligono/54/industria/579/desmaterializacion-y-ecoeficiencia>
- Impresoras3d.com. (2021, 10 de enero). Impacto ambiental: la impresión 3D. *Impresoras3d.com*. Recuperado de <https://www.impresoras3d.com/impacto-ambiental-la-impresion-3d/>
- Inproeco. (2023). *Economía Circular y Sinfonía Digital: Optimizando Resultados*. Recuperado de <https://inproeco.com/2023/11/28/la-economia-circular-y-su-sinfonia-digital-optimizando-resultados-para-un-futuro-sostenible/>
- Jimena O. (2015, 14 de noviembre). ¿Qué es el aceleracionismo y por qué se considera la crítica más radical contra el capitalismo? *Pijama Surf*. Recuperado de <https://pijamasurf.com/2015/11/que-es-el-aceleracionismo-y-por-que-se-considera-la-critica-mas-radical-contra-el-capitalismo/>
- Marí Torres, J. M. (2024, 4 de abril). Conciencia en el impacto ambiental que genera la fabricación de dispositivos electrónicos. *Contexto UDLAP*. Recuperado de <https://contexto.udlap.mx/conciencia-en-el-impacto-ambiental-por-fabricacion-de-dispositivos-electronicos/>
- Markforged. (s.f.). *La impresión 3D y el impacto medioambiental de la fabricación*. Recuperado de <https://markforged.com/es/resources/blog/3d-printing-and-the-environmental-impact-of-manufacturing>

- Martínez Schulte, D. (2024, 25 de enero). Fabricación digital y biomateriales en la arquitectura: Fusionando identidad y tecnología. ArchDaily. Recuperado de <https://www.archdaily.cl/cl/1005150/fabricacion-digital-y-biomateriales-en-la-arquitectura-fusionando-identidad-y-tecnologia>
- Mimaki Europe. (2019). *¿Impresión 3D? Todo tiene que ver con el color*. Recuperado de <https://www.mimaki.es/novedades/blogs-es/3d-printing-its-all-about-colour/>
- Nuri Barón, G. (2019). La des-materialización de productos tangibles en una perspectiva de sustentabilidad. *Cuadernos Del Centro De Estudios De Diseño Y Comunicación*, (70), 45 a 52. <https://doi.org/10.18682/cdc.vi70.1128>
- OECD. (2024). *Las cinco principales tendencias de la innovación pública*. Recuperado de https://www.oecd.org/content/dam/oecd/es/publications/reports/2024/11/public-innovation-for-social-inclusion-in-ibero-america_f77a55fc/b19b46a6-es.pdf
- ONU Comercio y Desarrollo. (2024, 10 de julio). *Estrategias sostenibles y equitativas para mitigar el creciente impacto ambiental*. Recuperado de <https://unctad.org/es/news/onu-comercio-y-desarrollo-estrategias-sostenibles-y-equitativas-para-mitigar-el-creciente>
- Pacto Mundial Red Española. (2025, 31 de enero). Basura digital o e-waste: la “cara b” de la revolución tecnológica. Pacto Mundial. Recuperado de <https://www.pactomundial.org/noticia/basura-digital-o-e-waste-la-cara-b-de-la-revolucion-tecnologica/>
- Pimentel, P. (2024, 10 de mayo). Revolución digital en ecommerce: Impresión 3D e IoT elevando el diseño de productos. Recuperado de <https://manifesto.design/en/revolucion-digital-en-ecommerce-impresion-3d-e-iot-elevando-el-diseno-de-productos/>
- Prado, R. (2024, 27 de marzo). Aceleracionismo: ¿Utopía tecnológica o receta para el desastre? *Yorokobu*. Recuperado de <https://yorokobu.es/aceleracionismo-utopia-tecnologica-o-receta-para-el-desastre/>
- Pujol, G. (2024, 23 de febrero). Qué es el aceleracionismo, la ideología de Silicon Valley. *Catalunya Plural*. Recuperado de <https://catalunyaplural.cat/es/que-es-el-aceleracionismo-la-ideologia-de-silicon-valley/>
- SECIHTI. (2023). *Plan Nacional para la Innovación*. Recuperado de <https://secihti.mx/conahcyt/areas-del-conahcyt/desarrollo-tecnologico-e-innovacion/plan-nacional-para-la-innovacion/>
- Sungplastic. (2024). *IA e impresión 3D: cómo la IA afecta la impresión 3D*. Recuperado de <https://sungplastic.com/es/how-ai-affects-3d-printing/>
- TeamVOX. (2024). *Inteligencia artificial aplicada a impresión 3D*. Recuperado de <https://teamvox.com/inteligencia-artificial-aplicada-a-impresion-3d/>
- United Nations Conference on Trade and Development UNCTAD. (2018). *Adaptar las políticas industriales al mundo digital para favorecer la diversificación económica y la transformación estructural* (TD/B/C.I/MEM.8/5). Naciones Unidas. Recuperado de https://unctad.org/system/files/official-document/cimem8d5_es.pdf
- Williams, A., & Srnicek, N. (2013). *Manifiesto por una política aceleracionista*. Recuperado de <https://syntheticeidifice.files.wordpress.com/2013/08/manifiesto-aceleracionista1.pdf>

Abstract: This article presents a summary of a qualitative investigation that examines in depth the challenges and opportunities presented by digital manufacturing. The main objective is to analyze the impacts of this technology on society and the environment, identifying strategies to promote responsible, sustainable, and equitable technological development. The methodology is based on the analysis and synthesis of information from digital journal articles, expert blogs, and relevant reports, addressing the topics from a holistic perspective that considers both positive and negative aspects. At the center of the analysis are four key strategies: accelerationism, dematerialization, digitalization, and artificial intelligence. The results highlight environmental and social challenges that must be addressed responsibly by implementing strategies that integrate sustainable design, circular economy principles, and public policies that foster ethical and equitable practices. Continuous research, interdisciplinary collaboration, and commitment to responsible innovation are key elements for maximizing the benefits and minimizing the risks of this technological transformation.

Keywords: Biomaterials - Digitalization - Sustainability - Artificial Intelligence - Dematerialization.

Resumo: Este artigo apresenta um resumo de uma pesquisa qualitativa que examina em profundidade os desafios e oportunidades apresentados pela manufatura digital. O objetivo principal é analisar os impactos dessa tecnologia na sociedade e no meio ambiente, identificando estratégias para promover um desenvolvimento tecnológico responsável, sustentável e equitativo. A metodologia baseia-se na análise e síntese de informações de artigos de revistas online, blogs de especialistas e relatórios relevantes, abordando os temas de uma perspectiva holística que considera aspectos positivos e negativos. No centro da análise estão quatro estratégias principais: aceleracionismo, desmaterialização, digitalização e inteligência artificial. Os resultados representam desafios ambientais e sociais que devem ser enfrentados com responsabilidade. Implementar estratégias que integrem design sustentável, economia circular e políticas públicas que promovam práticas éticas e equitativas. Pesquisa contínua, colaboração interdisciplinar e compromisso com inovação responsável são elementos-chave para maximizar os benefícios e minimizar os riscos dessa transformação tecnológica.

Palavras-chave: Biomateriais - Digitalização - Sustentabilidade - Inteligência Artificial - Desmaterialização.

[Las traducciones de los abstracts fueron supervisadas por el autor de cada artículo.]
