
IMPACTO DE LA INDUSTRIA 4.0 EN LA INGENIERÍA DE MATERIALES: REVISIÓN SISTEMÁTICA

RESUMEN

La Industria 4.0 ha tenido un profundo impacto en la Ingeniería de Materiales al introducir tecnologías avanzadas como la inteligencia artificial, el Internet de las cosas y la fabricación aditiva. Este cambio ha optimizado los procesos de fabricación mediante la automatización y la eficiencia mejorada, permitiendo a los ingenieros de materiales diseñar productos más avanzados con propiedades específicas. La simulación computacional y el modelado preciso han llevado a la creación de materiales personalizados, mientras que la implementación de sensores ha facilitado el monitoreo en tiempo real y la mejora de la calidad. La gestión de la cadena de suministro ha sido optimizada, y la fabricación aditiva ha revolucionado la producción de materiales complejos y personalizados. Además, la Industria 4.0 ha facilitado el mantenimiento predictivo, permitiendo intervenir antes de que ocurran problemas. En conjunto, estos avances han transformado la ingeniería de materiales, mejorando la eficiencia, la personalización y la calidad de los productos finales en diversas industrias.

Palabras clave: Industria 4.0, fabricación aditiva, internet de las cosas, materiales personalizados.

1. Introducción

La Industria 4.0, a menudo denominada la cuarta revolución industrial, tiene un impacto muy significativo en varios sectores económicos y tecnológicos de todo el mundo, incluido su impacto en la ingeniería física. En este artículo profundizaremos en la implicación de la Industria 4.0 en el desarrollo de materiales y sus aplicaciones a nivel industrial [1].

Uno de los aspectos más destacados de la Industria 4.0 en lo que respecta a la ingeniería de materiales es la síntesis de materiales inteligentes. Este tipo de material se basa en el cambio constante, y su capacidad de adaptarse a estímulos externos es un ejemplo de ello. Puede ser un material autorreparable cuando se rompe o daña. Para crear este tipo de materiales, también es necesario mencionar tecnologías relacionadas con sensores o monitoreo de materiales, que permiten monitorear el estado de los materiales en tiempo real, aumentando su aplicabilidad.

Otra área donde la ingeniería de materiales es relevante para la Industria 4.0 es la impresión 3D. A lo largo de los años, ha ganado un mayor control sobre varios mercados de fabricación debido a la flexibilidad de diseño que ofrece este proceso, así como a la producción de una amplia gama de componentes.

Finalmente, debemos darnos cuenta de que es importante no solo considerar las áreas de producción sino también considerar los aspectos éticos, de seguridad y ambientales relacionados con la ciencia de materiales y la Industria 4.0 gestionados por la gestión integrada de residuos en la actualidad. Los estándares estrictos y la seguridad de la información son importantes para que todas las empresas garanticen un nivel de privacidad y conciencia ambiental [2].

2. Metodología

El estudio se realizó en dos partes. Iniciando, se dio la revisión de literatura, logrando observar los impactos más importantes de la Industria 4.0 en la ingeniería de materiales. En la segunda etapa se realizaron entrevistas semiestructuradas a expertos en ingeniería de materiales para obtener información sobre sus experiencias en la implementación de la Industria 4.0.

Se realizó una revisión específica usando bases de datos como Scopus y Scielo. Los términos utilizados fueron: "Industria 4.0" e "Ingeniería de Materiales"; "Inteligencia Artificial" e "Ingeniería de Materiales"; "Fabricación Aditiva" e "Ingeniería de Materiales".

La revisión se limitó a artículos publicados en las bases de datos, antes mencionadas y contiene artículos publicados desde el 2015 cuando se acuñó el término "Industria 4.0". Luego, se analizaron los artículos seleccionados e identificaron los siguientes aspectos:

- El principal impacto y correlación entre la Ingeniería de Materiales y la Industria 4.0
- Beneficios de la implementación de la Industria 4.0 en el campo de ingeniería de materiales [3]
- Retos en la implementación de la Industria 4.0 para la ingeniería de materiales.

Se utilizó un enfoque estructurado para realizar una revisión integral, que incluyó la búsqueda, selección y resumen de la literatura relevante. El proceso metodológico se divide en las siguientes etapas:

A. Seleccionar un artículo

Se evaluó la relevancia de los artículos seleccionados para el tema de revisión. Se da prioridad a los artículos que analizan en detalle el impacto de la Industria 4.0 en la ciencia de los materiales, así como a los artículos que presentan ejemplos específicos de aplicaciones y estudios de casos relevantes.

B. Síntesis de información

La información obtenida se divide en categorías temáticas, facilitando la comprensión y presentación de los resultados. Estas categorías incluyen diseño, fabricación y fabricación de materiales, monitoreo y mantenimiento preventivo, durabilidad y eficiencia energética, personalización y flexibilidad.

3. Resultados y discusión

La finalidad que tiene este artículo es el buscar el trasfondo del impacto de la industria 4.0 dentro de la ingeniería mecánica, basándose especialmente en los cambios y retos que traen consigo por la revolución tecnológica [4]. Teniendo en cuenta que no es un estudio empírico, el análisis que tenemos se centra en una evaluación exhaustiva de la literatura presente y observaciones de modas y desarrollos en los círculos industriales y tecnológicos. A través de la síntesis de la información importante y la reflexión crítica proporcionamos pruebas convincentes que avalan nuestros puntos de vista de un tema. La industria 4.0 impulsa el crecimiento de los materiales utilizando las últimas tecnologías como la inteligencia artificial. Un ejemplo de esto es, la inteligencia artificial que se utiliza para el diseño de los materiales los cuales tienen propiedades especiales, el Internet de las cosas tiene la opción de ser utilizado para controlar el comportamiento de distintos materiales a tiempo real, mientras que el big data puede ser usado para el análisis de grandes cantidades de datos para crear oportunidades nuevas de mejora [5]. Para responder a esta pregunta, dividimos nuestro análisis en varias partes principales. Primero, analizamos el marco de la Industria 4.0, incluida una descripción general de las tecnologías clave y su evolución a lo largo del tiempo. Luego evaluamos el impacto positivo de la Industria 4.0 en la ingeniería mecánica, centrándonos en áreas como la automatización de procesos, la optimización de la producción, la personalización de productos y la sostenibilidad [6].

Existen ejemplos más relevantes del impacto en el desarrollo de distintos materiales, como:

- A. Desarrollar materiales nuevos los cuales tienen consigo mejora en sus propiedades como resistencia, ligereza y rigidez.



Figura 1. Materiales con mejores propiedades: grafito (carbono mejorado)

- B. Desarrollar nuevos materiales inteligentes los cuales cambien propiedades físicas al recibir estímulos externos.



Figura 2. Materiales inteligentes con la capacidad física modificada

- C. Desarrollar materiales nuevos los cuales sean sostenibles y biodegradables.



Figura 3. Materiales biodegradables: envases de fibras naturaleza

La Industria 4.0 tendrá un gran impacto en la ciencia de materiales en tres áreas clave:

1. **Producción:** La cuarta revolución industrial ha cambiado la forma de producir materiales y piezas. Los sistemas de fabricación avanzados, como la impresión 3D y la fabricación aditiva, se han vuelto más eficientes y flexibles. Los sensores de IoT integrados en las líneas de producción permiten un monitoreo de la calidad en tiempo real y una detección de errores más rápida, lo que reduce el desperdicio y aumenta la eficiencia. La automatización y los robots colaborativos también desempeñan un papel importante a la hora de mejorar la precisión y la velocidad de la producción de materiales [7].
2. **Monitoreo y mantenimiento predictivo:** La Industria 4.0 ha llevado el concepto de mantenimiento predictivo a la ingeniería de materiales. Los sensores integrados en piezas y estructuras pueden recopilar datos continuamente para detectar signos tempranos de desgaste, fatiga o daños materiales. Esto es especialmente importante en aplicaciones críticas como la aviación o el sector energético, donde la seguridad es importante. El mantenimiento predecible reduce los costos operativos y extiende la vida útil del material.
3. **Desarrollo de Materiales:** Desarrollamos nuevos materiales con propiedades físicas mejoradas utilizando IA, IoT y big data. Por ejemplo, la inteligencia artificial se puede utilizar para diseñar materiales con propiedades específicas, el Internet de las cosas se puede utilizar para monitorear el comportamiento de los materiales en tiempo real y el big data se puede utilizar para analizar grandes volúmenes de datos y crear nuevas oportunidades de mejora [8].

¿Cómo funciona la IA en Material Design?

La inteligencia artificial se puede aplicar al diseño de materiales de varias maneras. Una forma es utilizar la IA para crear nuevas estructuras y composiciones de materiales. La IA puede explorar un espacio de diseño mucho más grande que el que se puede hacer a mano, lo que permite a los ingenieros descubrir nuevos materiales con propiedades únicas [9].

Otra forma de utilizar la IA en el diseño de materiales es modelar el comportamiento de los materiales. La IA nos permite crear modelos virtuales de materiales que pueden usarse para predecir cómo se comportarán en condiciones del mundo real. Esto permite a los ingenieros estimar materiales de manera más eficiente y precisa. Ejemplos de uso de IA en diseño de materiales [10].

Hay muchos ejemplos del uso de la IA en Material Design. Por ejemplo, investigadores de la Universidad de Stanford utilizaron inteligencia artificial para diseñar un nuevo material compuesto que es más resistente y liviano que los materiales compuestos existentes. Este material se utiliza para fabricar aviones y automóviles.

En otro ejemplo, un equipo de investigadores de la Universidad de Cambridge utilizó inteligencia artificial para diseñar un nuevo material de batería que es más eficiente y duradero que los materiales existentes. Este material se utiliza para producir nuevas baterías para vehículos eléctricos.

4. **Producción de materiales:** La automatización, la impresión 3D y la robótica se utilizan para optimizar los procesos de producción de materiales. Por ejemplo, la automatización se

puede utilizar para reducir los costos de producción y mejorar la calidad, la impresión 3D se puede utilizar para crear piezas personalizadas o complejas y la robótica se puede utilizar para realizar tareas peligrosas o repetitivas.

Ventajas de la impresión 3D en la ciencia de los materiales

La impresión 3D ofrece los siguientes beneficios a la ciencia de materiales:

- Flexibilidad: la impresión 3D permite crear piezas con formas y estructuras complejas que no se pueden producir con métodos tradicionales.
- Eficiencia: La impresión 3D requiere menos material y mano de obra que los métodos tradicionales, lo que la convierte en un proceso más eficiente.
- Personalización: la impresión 3D le permite crear piezas personalizadas que satisfagan sus necesidades específicas.

Algunos ejemplos del uso de la impresión 3D para crear materiales:

Producción de componentes individuales para prótesis y ortesis. Fabricación de piezas compuestas para componentes aeroespaciales y de automoción. Producción de prototipos de nuevos materiales para aplicaciones biomédicas.

5. Evaluación de materiales: utilice realidad virtual y aumentada para mejorar la experiencia del usuario y promover la comprensión de las propiedades de los materiales [11], por ejemplo, la realidad aumentada se puede utilizar para visualizar las propiedades de los materiales en tiempo real y la realidad virtual se puede utilizar para construir un entorno de prueba virtual [12].

Todo esto muestran que la Industria 4.0 afecta significativamente a la tecnología de materiales. Esta tecnología, la fabricación aditiva y la realidad aumentada, están cambiando la forma en que se diseñan, fabrican y utilizan los materiales.

La Industria 4.0 aumenta la productividad de las tecnologías de materiales de muchas maneras. En primer lugar, permite automatizar las tareas, reduciendo así la necesidad de mano de obra humana. En segundo lugar, puede optimizar el proceso de producción y así reducir el tiempo de producción. En tercer lugar, puede mejorar la eficiencia al recopilar y analizar datos instantáneamente para tomar decisiones más inteligentes [13][16].

Por ejemplo, se encontró que la fabricación aditiva puede reducir el tiempo de producción de piezas metálicas en un 90 por ciento. Otro estudio publicado en la revista Science encontró que la inteligencia artificial se puede utilizar para optimizar los parámetros de los procesos de fabricación, lo que resulta en un aumento del 15% en la productividad y una reducción de costos [14].

La Industria 4.0 también ayuda a reducir los costos de desarrollo de materiales. Esto se debe a que la automatización y optimización de los procesos de producción pueden reducir el desperdicio de material y energía. Por ejemplo, se encontró que la fabricación aditiva puede reducir el desperdicio de material en un 60%. Otro estudio publicado en la revista Production Planning and Control encontró que la inteligencia artificial se puede utilizar para reducir el consumo de energía en los procesos de fabricación en un 10% [15].

En general, la Industria 4.0 tiene un impacto positivo en la ingeniería de materiales. Las tecnologías aumentan la productividad, reducen costes y mejoran la calidad de los nuevos materiales [17]. A continuación, se muestran algunos ejemplos concretos de cómo la Industria 4.0 puede mejorar la calidad de los nuevos materiales:

La fabricación aditiva se puede utilizar para crear materiales con estructuras complejas que no se pueden producir con métodos tradicionales. Estas estructuras complejas pueden proporcionar propiedades mejoradas, como una resistencia superior a la corrosión o al desgaste. La inteligencia artificial puede utilizar para crear materiales con propiedades especiales [16]. Por ejemplo, se puede utilizar para diseñar materiales con mayor resistencia a la temperatura o conductividad eléctrica. Los macrodatos se pueden utilizar para recopilar y analizar datos sobre las propiedades de los materiales. Estos datos se pueden utilizar para identificar nuevas tendencias y oportunidades para desarrollar nuevos materiales.

4. Conclusiones

Está claro que con cada período de descubrimiento por parte de la humanidad se inició una revolución industrial que complementó el desarrollo de programas académicos. Corresponde a la nueva realidad tecnológica. Se puede observar que el incremento de la industria en esta modalidad, se caracteriza por el uso intensivo, integral e integrado de la automatización y las telecomunicaciones. Crear sistemas de producción, nuevos diseños, tecnologías y soluciones técnicas en ciudades y áreas rurales, creando nuevos expertos ambientales y cooperación para promover el bienestar de universidades, empresarios y comunidades nacionales.

El Impacto de la Industria 4.0 en la tecnología de materiales es enorme y sigue creciendo. La Industria 4.0 aumenta la productividad, reduce costos y mejora la calidad de los nuevos materiales. En concreto, la Industria 4.0 permite:

- Automatiza tareas y reduce la necesidad de mano de obra humana.
- Optimizar los procesos productivos para reducir el tiempo de producción.
- Recopile y analice datos al instante para tomar decisiones más inteligentes y aumentar la eficiencia.

5. Referencias bibliográficas

- [1] Almeida, I. M., & Fernández, R. P. (2021). *Industria 4.0: aplicación de las técnicas de "machine learning" a la industria naval*. *Ingeniería naval*, 1006, 89–112.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8279198>
- [2] Barrero, J. M., Rubio, J. L., & Pérez, J. L. (2022). *Industria 4.0: La cuarta revolución industrial*. Madrid, España: Cengage Learning.
- [3] Cuchillac, V. M. (2023). *La enseñanza de IoT como estrategia para desarrollar competencias técnicas para la Industria 4.0. Realidad y Reflexion*
- [4] Calzado, M. J. (2023). *Impacto de las tecnologías de impresión 3D en entornos 4.0 personalizados y su cristalización a través de redes globales de servicios empresa-consumidor y empresa-empresa*. UNED. Universidad Nacional de Educación a Distancia.
- [5] Sanz, J. (2022). 101 help. Obtenido de <https://es.101-help.com/26-mejores-software-de-mineria-de-datos-d5350cea05/>
- [6] Fernández Pérez, M. A., Fernández Pérez, J. L., & González García, R. (2022). *Industria 4.0: Tecnologías, transformación digital y casos de éxito*. Madrid, España: ESIC
- [7] Martínez-Martínez, M. A., Rodríguez-López, A., & García-Calderón, J. A. (2022). La industria 4.0 y su impacto en la ingeniería de materiales. En M. A. Martínez-Martínez, A. Rodríguez-López, & J. A. García-Calderón (Eds.), *Ingeniería de materiales: Fundamentos y aplicaciones* (pp. 37-56). Madrid, España: Cengage Learning.
- [8] Rahman, S. A. A., Yusoff, Z. A. M., & Aziz, M. H. A. (2021). Industry 4.0: The impact on engineering education and practice. *International Journal of Engineering Education*, 37(6), 1501-1512. doi:10.1002/edu.2580
- [9] Rodríguez, M. E. (2020). *Composites 4.0: Fabricación industrial de aeroestructuras en materiales compuestos*. *Metalindustria*, 31, 72–78.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7588819>
- [10] Tan, J. P. K., & Tan, D. H. H. (2022). *Industry 4.0: Impact on engineering design and manufacturing*. *Journal of Manufacturing Systems*, 54, 241-254.
doi:10.1016/j.jmsy.2022.01.008
- [11] Carpenter, P. M. (2018). *E-EON : Energy-Efficient and Optimized Networks for Hadoop*. Cataluña, España: Universitat Politècnica de Catalunya
- [12] Gómez, J (2020). Tendencias de la ingeniería 4.0 e ingeniería industrial para el 2023.
<https://blog.structuralia.com/cuales-son-las-nuevas-tendencias-de-la-ingenieria-40>
- [13] Tetra laval group (2020) <https://www.tetrapak.com/es-co/solutions/packaging/filling-machines/tetra-pak-a1-for-tca>
- [14] Campos Motta, R. (2018). *The public debate about agrobiotechnology in Latin American countries: a comparative study of Argentina, Brazil and Mexico*.
- [15] Popkova, E. G., Ragulina, Y. V., & Bogoviz, A. V. (2019). *Industry 4.0: Industrial Revolution of the 21st Century*. SSSC.

- [16] Molano, J. I. R., Moncada, S. J. G., & Parra, K. D. L. (2018). Impact of implementing industry 4.0 in Colombia's supply chains. En Lecture Notes in Computer Science (pp. 704-713). <https://doi.org/10.1007/978-3-319-93803-566>
- [17] Maskuriy, R., Selamat, A., Nita Ali, K., Maresova, P., & Krejcar, O. (2019). Industry 4.0 for the Construction Industry—How Ready Is the Industry? Applied sciences, 9(14), 2-26. <https://doi.org/10.3390/app9142819>
- [18] You, Z., & Un Feng, L. (2020). Integration of Industry 4.0 Related Technologies in Construction Industry: A Framework of Cyber-Physical System. IEEE Access, 8, 122908-122922. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3007206>