

ISSN: 2810 - 8914 (EN LÍNEA)

Vol 02, No. 02

AGOSTO - DICIEMBRE 2023

# GESTIÓN DE OPERACIONES INDUSTRIALES

REVISTA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL CON ENFOQUE EN LA INDUSTRIA 4.0

UNIVERSIDAD NACIONAL  
DE TRUJILLO

FACULTAD DE  
INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA  
INDUSTRIAL

# GESTIÓN DE OPERACIONES INDUSTRIALES

## Revista de Ingeniería Industrial con enfoque en la Industria 4.0

Vol. 02, N° 02, Agosto - Diciembre 2023

Editado en diciembre 2023

ISSN: 2810 - 8914 (En línea)

URL: <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/RINGIND>

Email: [goi4.0@unitru.edu.pe](mailto:goi4.0@unitru.edu.pe)

© Universidad Nacional de Trujillo

Facultad de Ingeniería, Trujillo

Escuela Profesional de Ingeniería Industrial

Av. Juan Pablo II S/N – Ciudad Universitaria, Trujillo, La Libertad, Perú.

### EDITORES:

Dr. Luis Alberto Benites Gutiérrez   
Universidad Nacional de Trujillo  
Av. Juan Pablo II, km 4.6 - 13011  
Trujillo (Perú)  
Correo-e: [lbenites@unitru.edu.pe](mailto:lbenites@unitru.edu.pe)

Dr. Joe Alexis González Vásquez   
Universidad Nacional de Trujillo  
Av. Juan Pablo II, km 4.6 - 13011  
Trujillo (Perú)  
Correo-e: [jgonzalezv@unitru.edu.pe](mailto:jgonzalezv@unitru.edu.pe)

### COMITÉ EDITORIAL:

Dr. Claudio Ruff, Universidad Bernardo O'Higgins, Santiago (Chile)   
Dra. Purificación Galindo Villardón, Universidad de Salamanca, Salamanca (España)   
Dr. Rafael Espinosa Mosqueda, Universidad de Guanajuato, Guanajuato (México)   
Dr. Marcelo Ruiz Toledo, Universidad Bernardo O'Higgins, Santiago (Chile)   
Dr. Orivel Jackson Buchelli Perales, Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo (Perú)   
Dr. Segundo Seijas Velásquez, Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo (Perú)   
Dr. Alexis Matheu Pérez, Universidad Bernardo O'Higgins, Santiago (Chile)   
Dr. Iván Martín Olivares Espino, Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo (Perú)   
Dr. Joel David Vargas Sagastegui, Universidad San Martín de Porres, Lima (Perú)   
Dr. Alex Ruiz Torres, Universidad de Puerto Rico, San Juan (Puerto Rico)   
Dr. Segundo Castro Gonzáles, Universidad de Puerto Rico, San Juan (Puerto Rico)   
Dr. Edgar D. Ramos, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima (Perú)   
Dr. Jorge Luis Rojas Arce, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México   
(México)

# CRÉDITOS

REVISTA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL CON  
ENFOQUE EN LA INDUSTRIA 4.0

**GESTIÓN EN OPERACIONES INDUSTRIALES**

VOL. 02, N° 02

2023

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE  
TRUJILLO**

**RECTOR**

Dr. Carlos Alberto Vásquez Boyer

**VICERRECTOR ACADÉMICO**

Dr. Juan Amaro Villacorta Vásquez

**VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN**

Dr. Guillermo Arturo García Pérez

**DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA**

Dr. Miguel Armando Benites Gutiérrez

**DIRECTOR DE LA INVESTIGACIÓN Y ÉTICA**

Dr. Juan Carlos Rodríguez Soto

**DIRECTOR DE DEPARTAMENTO DE  
INGENIERÍA INDUSTRIAL**

Dr. Hermes Natividad Sifuentes Inostroza

**DIRECTOR DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA  
INDUSTRIAL**

Dr. Orivel Jackson Buchelli Perales

# PRÓLOGO

La Industria 4.0 marca una transformación en la manera en que las empresas llevan a cabo sus operaciones y gestionan los procesos de producción. Se caracteriza principalmente por la integración de tecnologías, como inteligencia artificial, Internet de las cosas (IoT), robótica, analítica de datos, realidad aumentada (RA) y realidad virtual (RV) e impresión 3D, en los procesos industriales.

Esta edición, se ha centrado en la relevancia de los materiales de ingeniería que son utilizados en Industria 4.0 y en la creciente demanda de las empresas por adoptar la nanotecnología en la fabricación y el diseño de productos. Así, las empresas pueden avanzar hacia modelos de negocios más sostenibles, reduciendo su huella ambiental y contribuyendo a un uso más eficiente de los recursos naturales. Sin embargo, es importante considerar y gestionar los posibles riesgos y preocupaciones éticas asociados con la nanotecnología a medida que se implementa en la industria.

La aplicación de la nanotecnología en materiales ofrece a las empresas oportunidades clave para mejorar su sostenibilidad. Estos materiales avanzados permiten una utilización más eficiente de los recursos, reduciendo la cantidad de materias primas necesarias, y pueden contribuir al ahorro de energía mediante propiedades mejoradas. Además, la nanotecnología facilita la fabricación de productos más duraderos, la reducción de residuos y la mejora en la eficiencia de los procesos industriales. La capacidad de diseñar materiales con propiedades específicas también favorece la reciclabilidad y reutilización de productos. En última instancia, la nanotecnología no solo impulsa la innovación en productos, sino que también abre camino a tecnologías más limpias y sostenibles, ayudando a las empresas a reducir su huella ambiental y afrontar los desafíos de la sostenibilidad.

Las revisiones sistemáticas presentadas en esta edición, son valiosas porque ayudan a resumir y evaluar de manera crítica el estado actual de la nanotecnología y su impacto en la Industria 4.0, brindando una base sólida para la toma de decisiones informadas, la identificación de brechas en la investigación y la generación de nuevas ideas y enfoques.

## NANOPARTÍCULAS DE CELULOSA: REVISIÓN SISTEMÁTICA

PGS. 08 - 20

### **Autores**

Segundo Rafael Alfaro Flores  
Marjory Brisset Álvarez Quiroz  
Juan Emanuel Asato Cerna  
Joe Alexis González Vásquez

## BENEFICIOS DE LA TECNOLOGÍA 4.0 EN EL SECTOR CONSTRUCCIÓN: REVISIÓN SISTEMÁTICA

PGS. 21 - 29

### **Autores**

Maicol Steven Benites Meregildo  
Richard Eduardo Contreras Cruz  
Bryam Montañez Correa  
Maricielo Shantall Gavidia Calle  
David Vílchez Chávez

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

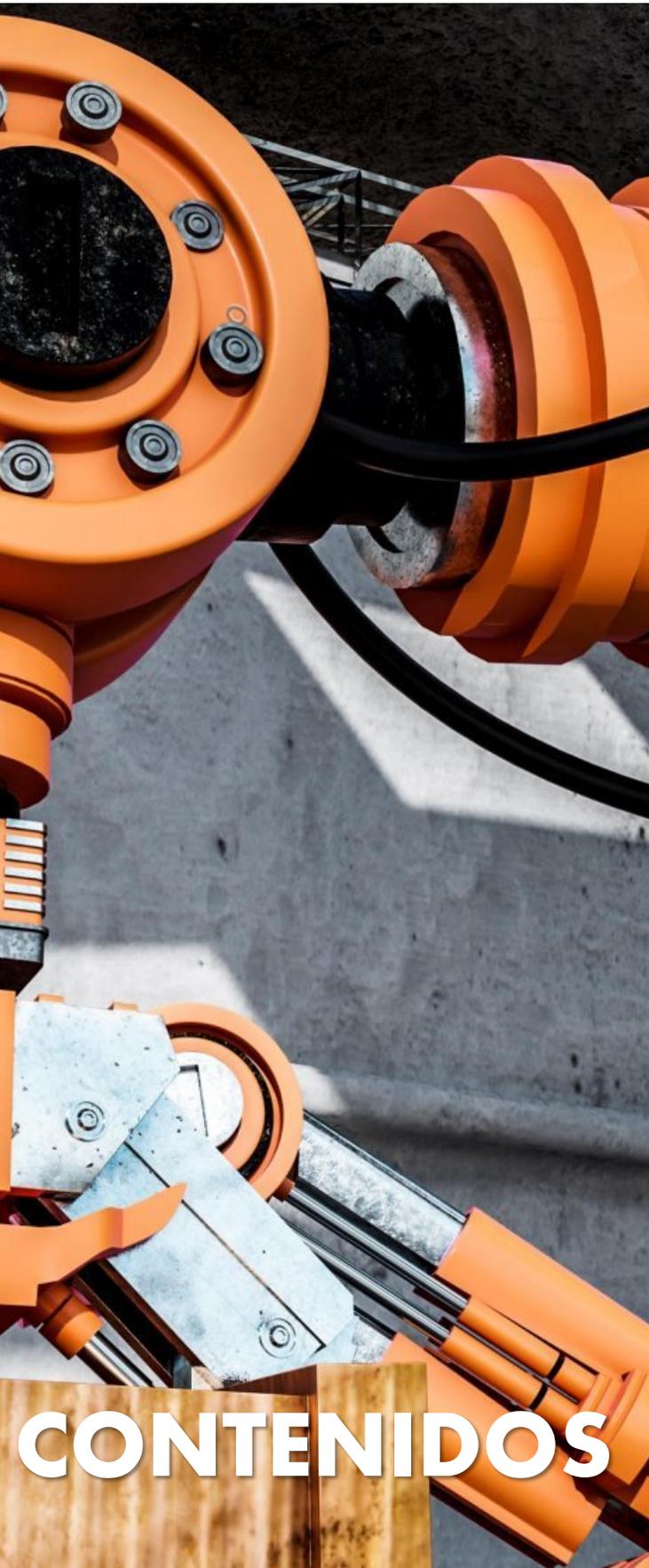
PGS. 30 - 37

### **Autores**

Sindy Aracely Jara Alza  
Renato Masashiro Mostacero Komatsu  
Joaquin Way Chong Naveda Su  
Yaniret Kimberly Santiago Morán  
Henry Emanuel Solano Córdova



**TABLA DE**



# CONTENIDOS

## BIG DATA EN LA GESTIÓN DE RIESGOS EN LA CADENA DE SUMINISTRO: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA

PGS. 38 - 48

### **Autores**

Bruno Samir Bocanegra Chistama  
Edwin Giancarlo Espinoza Cerdan  
Anthony Joel Palma Rojas  
Carlos Eduardo Pastor Chiques

## CELLULOSE NANOPARTICLES: SYSTEMATIC REVIEW

PGS. 08 - 20

### Authors

Segundo Rafael Alfaro Flores  
Marjory Brisset Álvarez Quiroz  
Juan Emanuel Asato Cerna  
Joe Alexis González Vásquez

## BENEFITS OF TECHNOLOGY 4.0 IN THE CONSTRUCTION SECTOR: SYSTEMATIC REVIEW

PGS. 21 - 29

### Authors

Maicol Steven Benites Meregildo  
Richard Eduardo Contreras Cruz  
Bryam Montañez Correa  
Maricelo Shantall Gavidia Calle  
David Vilchez Chávez

## IMPACT OF INDUSTRY 4.0 ON MATERIALS ENGINEERING: SYSTEMATIC REVIEW

PGS. 30 - 37

### Authors

Sindy Aracely Jara Alza  
Renato Masashiro Mostacero Komatsu  
Joaquin Way Chong Naveda Su  
Yaniret Kimberly Santiago Morán  
Henry Emanuel Solano Córdova





# CONTENTS

## BIG DATA IN RISK MANAGEMENT IN THE SUPPLY CHAIN: A SYSTEMATIC REVIEW

PGS. 38 - 48

### Authors

Bruno Samir Bocanegra Chistama  
Edwin Giancarlo Espinoza Cerdan  
Anthony Joel Palma Rojas  
Carlos Eduardo Pastor Chiques

# 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

## CELLULOSE NANOPARTICLES: SYSTEMATIC REVIEW

Segundo Rafael Alfaro Flores<sup>1</sup>; Marjory Brisset Álvarez Quiroz<sup>1\*</sup>;  
Juan Emanuel Asato Cerna<sup>1</sup>; Joe Alexis González Vásquez<sup>1</sup>

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

\*Autor correspondiente: [t053500120@unitru.edu.pe](mailto:t053500120@unitru.edu.pe)

Fecha de recepción: 29.09.2023    Fecha de aceptación: 12.12.2023

ORCID de Autores:

S. R. Alfaro Flores

<https://orcid.org/0009-0006-1712-7464>

M. B. Álvarez Quiroz

<https://orcid.org/0009-0005-3611-2295>

J. E. Asato Cerna

<https://orcid.org/0009-0000-8823-2794>

J. A. González Vásquez

<https://orcid.org/0000-0001-7816-0977>

---

### ABSTRACT

The demand of the population requires the reduction of products that affect the environment, which is why the transition to ecological materials is sought, through Nanotechnology. Nanocellulose is a nanostructural material obtained from plant cellulose. Nanocellulose synthesis means breaking down cellulose into individual fibers at the nanometer scale, resulting in unique mechanical and chemical characteristics. The synthesis of nanocellulose can be carried out basically by hydrolysis processes. This method allows cellulose fibers to be separated into much smaller particles known as cellulose nanofibers (CNF), nanocrystals (CNC) or bacterial nanocellulose (BNC). On the other hand, it is shown that the mechanical characteristics of nanocellulose have high mechanical resistance and are stronger than many conventional materials, such as steel. This chemical versatility allows nanocellulose to tailor its characteristics to specific applications. The evaluation of the characteristics of nanocells is carried out using technologies such as transmission electron microscopy (TEM), scanning electron microscopy (SEM) and X-ray diffraction. Through this systematic review, the following were analyzed: synthesis, properties, morphology, characterization methods and the applications that can be given to this new size of materials.

**Keywords:** nanocellulose, characterization, nanofibers, nanocells, compatibility.

---

---

# NANOPARTÍCULAS DE CELULOSA: REVISIÓN SISTEMÁTICA

---

## RESUMEN

La demanda de la población exige la reducción de productos que afectan al ambiente, por eso se busca la transición a materiales ecológicos, mediante la Nanotecnología. La nanocelulosa es un material nanoestructural obtenido a partir de la celulosa de las plantas. La síntesis de nanocelulosa significa descomponer la celulosa en fibras individuales a escala nanométrica, lo que da como resultado características mecánicas y químicas únicas. La síntesis de nanocelulosa se puede ejecutar básicamente por procesos de hidrólisis. Este método permite separar las fibras de celulosa en partículas mucho más pequeñas conocidas como nanofibras de celulosa (CNF), nanocristales (CNC) o nanocelulosa bacteriana (BNC). Por otro lado, se demuestra que las características mecánicas de las nanocelulosa tienen una alta resistencia mecánica y son más fuertes que muchos materiales convencionales, como el acero. Esta versatilidad química permite que la nanocelulosa adapte sus características a aplicaciones específicas. La evaluación de las características de las nanocélulas se realiza utilizando tecnologías como la microscopía electrónica transmisión (TEM), la microscopía electrónica de barrido (SEM) y la difracción de rayos X. Mediante esta revisión sistemática, se analizaron: síntesis, propiedades, morfología, métodos de caracterización y las aplicaciones que se les puede dar a este tamaño nuevo de materiales.

**Palabras clave:** nanocelulosa, caracterización, nanofibras, nanocélulas, compatibilidad.

---

## 1. Introducción

La nanotecnología ha ido en avance con el objetivo de controlar estructuras y morfología para potenciar y encontrar propiedades que simplifiquen los sistemas al nivel macro que hoy utilizamos en las diferentes industrias. La necesidad de productos sostenibles y de base biológica hace popular los materiales de origen natural ya que en la actualidad la tecnología va adentrándose en nuevos términos positivos como la sostenibilidad, biodegradabilidad y naturaleza renovable. Así es cómo nace la popularidad del estudio de la celulosa. La nanocelulosa es un nanomaterial celulósico versátil que se puede utilizar en muchas aplicaciones áreas [1]. Es un biopolímero muy abundante y biodegradable, tiene una composición del 35-50% de lignocelulosa debido a su riqueza en grupos hidroxilo y átomos de hidrógeno enlazados fuertemente [2]. Se le atribuye altos valores de resistencia mecánica, distintas propiedades ópticas y baja toxicidad. La mayoría de estudios demuestran que la nanocelulosa puede aplicarse como refuerzo para materiales compuestos de baja densidad y transparentes, mejorando sus propiedades mecánicas y térmicas. Aunque este proceso aún no está explicado a detalle. Al respecto, es muy importante entender la estructura y propiedades fisicoquímicas de la nanocelulosa, especialmente en términos de modificar sus propiedades funcionales para desarrollar sus aplicaciones potenciales [2]. Por ejemplo, el refinado mecánico severo de pulpas altamente purificadas da como resultado una fibra fibrilada, esta forma de celulosa con anchos de fibrillas del mismo orden de magnitud que la celulosa microfibrillas en la pulpa original. Esta celulosa microfibrilada (MFC) tiene más de una estructura de red que los CNC y a menudo forma geles en agua incluso a bajas concentraciones (<1% en peso) [3].

En la mayoría de casos se hace uso del término microfibrillas o las conocidas nanofibras de celulosa bacteriana para diferenciar otros compuestos derivados de esta pulpa. Así es como la nanocelulosa tiene infinitas fuentes de extracción y un comportamiento distintivo. la preparación de nanocelulosa da como resultado geles o suspensiones acuosas que puede necesitar secarse en una fibra y película o convertirse de otra manera en una forma más útil para reforzar termoestables. La fuerte tendencia de la nanocelulosa a formar puentes de hidrógeno puede generar desafíos para redispersarlos si se secan, pero también puede resultar en bastante películas fuertes y rígidas que se pueden utilizar en compuestos laminados [4]. La nanocelulosa es un material hidrofílico, lo que complica la dispersión y adhesión a algunos polímeros termoestables produciendo hinchazón durante la fabricación del material.

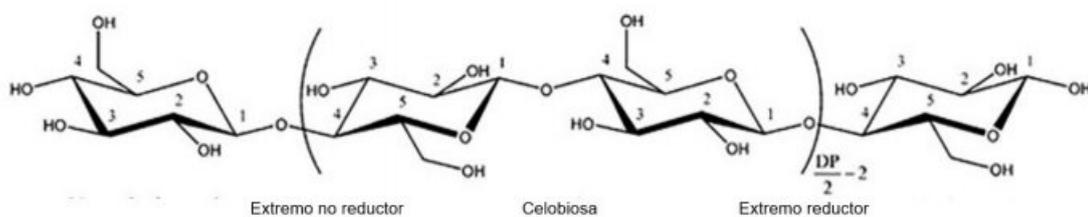


Figura 1. Estructura de una molécula de celulosa.[5]

Otra presentación de la nanocelulosa (NC) son los nanocristales en aplicaciones como la fabricación de papel, la perforación y cementación de petróleo y gas, sistemas de almacenamiento de energía, sensores y biosensores, que han sido ampliamente revisado en los últimos años. El objetivo de esta revisión es hacer un breve resumen sobre los estudios de las nanocelulosas, con especial atención a los CNC, así como sus aplicaciones recientes. Se presentan materias primas, propiedades y funcionalización. Retos importantes relacionados con su producción y nuevos se abordan las direcciones [7]. La investigación reciente sobre el uso de nanocelulosa con especial énfasis en nanocompositos, emulsificantes médicos, pickering, adhesivos para madera, adsorción, aplicaciones de separación, descontaminación y filtración, para proporcionar a los lectores una visión general completa de los avanzados ciencia e ingeniería de emergentes basados en nanocelulosa materiales y usos.

## 2. Propiedades

Como sabemos la celulosa es uno de los biomateriales proveniente de los polisacáridos, este es eficiente en diferentes campos de la ciencia, ya que la celulosa se distingue por ser un material ecológico, no es tóxico y además es biodegradable, principalmente porque se encuentran en gran cantidad en nuestro planeta [10]. La nanocelulosa (NCL) tiene diversas peculiaridades innatas, como una excelente resistencia mecánica, alto módulo de Young, una muy buena resistencia a la tracción y bajo coeficiente de expansión térmica, una elevada relación superficie/volumen, y alta área superficial [23]. Además, se destaca principalmente por su morfología única, por ello, ha tenido una gran acogida en diversos campos, incluso en las aplicaciones de construcción, ya que están hechos de recursos forestales y agrícolas renovables [10].

En cuanto a los nanocristales de celulosa (CNC) están resaltando demasiado en diversos tipos de aplicaciones debido a sus mayores y mejoradas propiedades físicas, como su baja densidad y gran relación de aspecto, en cuanto a sus propiedades químicas, destaca por ser muy funcional en la superficie y posee un alto módulo de elasticidad axial. Estos Nanocristales de celulosa se deriva gracias a un método térmico de fibras de celulosa [24]. También es importante mencionar a la celulosa nanofibrilada (NFC) y la celulosa bacteriana (BC) ha producido poco a poco mucha más relevancia como refuerzo en polímeros gracias a las superiores propiedades mecánicas que posee y la gran cristalinidad y un menor coeficiente de expansión térmica a diferencia de las fibras celulósicas que tienen tamaño micrométrico [13].

La celulosa nanofibrilada son inodoros, blancos, y como las demás nanopartículas de celulosa, también destaca por su buena resistencia, alta rigidez, y como ya se sabe son ecológicos y totalmente renovables, además tiene un aspecto que le interesa a la mayoría de industrias, es de bajo costo. Si comparamos la celulosa a escala micrométrica, estas nanofibras de celulosa se diferencian ya que tienen una superior cantidad de grupos hidroxilo funcionales en su superficie, y esto es gracias a la gran relación área superficial de volumen que ya hemos mencionado anteriormente [23]. El uso de la celulosa nanofibrilada nos ayuda a aumentar la concentración de heterociclos en diversos compuestos sintetizados, esto nos va a permitir obtener una mejor conductividad y reducir la energía de activación del proceso del proceso de transporte de protones [25]. La celulosa bacteriana (BC) es un polímero natural abundante con una red tridimensional compuesta por nanofibras, estas estructuras 3D brindan a la celulosa bacteriana excelentes propiedades mecánicas, una gran biocompatibilidad, además de poseer una buena biodegradabilidad, alta porosidad y pureza [26].

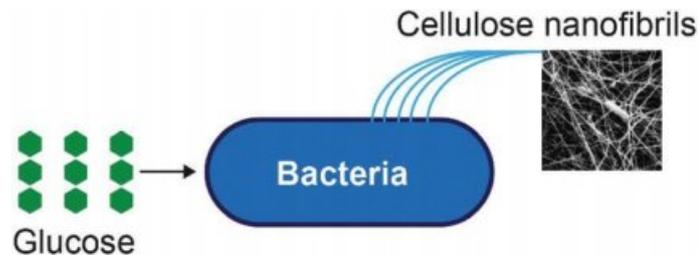
## 3. Morfología

De por sí, este nanomaterial se considera por tener al menos dimensiones en escala nanométricas. Así, según las literaturas de investigación científica, se mencionan de la existencia de hasta tres tipos de nanomateriales celulósicos:

- Nanofibras de celulosa (CNF): las cuales son producidas por técnicas únicas que permiten la fibrilación de la materia prima, que puede ser por tratamientos químicos o refinamiento mecánico. Pero presentan dificultades a la hora de generar nanocompuestos completamente degradables o biocompatibles, ya que tienden a presentar una gran tendencia de aglomeración. [9]
- Nanocristales de celulosa (CNC): presentan una estructura cristalina pura y dimensiones de 3–10 nm de ancho y una relación de aspecto (relación de mayor a menor dimensión) mayor que 5 y generalmente menor que 50. La hidrólisis ácida de enlaces glucosídicos es el método más popular para la extracción CNC. Este proceso provoca la separación de los dominios cristalinos y la degradación de los amorfos Regiones. Los parámetros

involucrados para la obtención de CNC pueden cambiar su geometría, índice de cristalinidad y relación de aspecto. [6]

- Nanocelulosa bacteriana (BNC): BNC se forma a partir de la conversión de moléculas de glucosa en nanofibrillas de celulosa por diferentes especies bacterianas, como *Acetobacter*, *Agrobacterium*, *Achromobacter*, *Aerobacter*, *Azotobacter*, *Sarcina ventriculi*, *Salmonella*, *Escherichia*, *Gluconobacter*, *Komagataeibacter* (anteriormente clasificado como *Gluconacetobacter*), y *Rhizobium* (Fig. 2). [6]



**Figura 2.** Imagen esquemática de la producción de celulosa bacteriana. [6]

El comportamiento de las NPs (nanopartículas) de Celulosa como su autoensamblaje, la separación de fases y más que todo su método de síntesis, se consideran fundamentales para los resultados de sus características geométricas, como su forma y tamaño, por lo que su morfología depende tanto de la materia prima como de sus condiciones de procesamiento. Por ejemplo, en un estudio demostraron que ha mayor duración de la hidrólisis junto con un aumento en la relación ácido-pulpa generan NPs con dimensiones más cortas y longitudes más estrechas [19].

De acuerdo a las investigaciones, gracias a la microscopía de fuerza atómica, lograron detectar nanocristales de celulosa con un ancho de aproximadamente de 90 a 120 nm y una longitud variable de aproximadamente de 500 nm, mientras que en otras investigaciones se observaron nanocristales de celulosa con un ancho aproximadamente de 3-5 nm y una longitud aproximadamente de 200nm. [16]

Mediante métodos de caracterización como el SEM, se puede identificar las cualidades morfológicas de las NFC, CNC y NBC de celulosa [20]. Si bien sus formas y dimensiones siempre se presentaran de manera irregular; de las cuales los NPs pueden presentar una estructura lamelar, que son placas delgadas con diferentes espesores; sin embargo, hay situaciones en las que este material se puede presentar en individuales, aglomerados o incluso en fibras, pero dependerá de su proceso de autoensamblaje que puedan presentar según su método de síntesis [21]. Por lo que, la morfología de estas NPs es causadas por su razón de aspecto, concentración, cristalinidad he incluso en los cambios repentinos de la carga superficial [24].

Por otra parte, la morfología de la superficie y los tamaños de las NFs puede variar durante el pretratamiento químico y mecánico, por lo que en algunos estudios presentaban su superficie áspera debido a la presencia de material no celulósico [21]. Por lo cual, la celulosa presenta una estructura parcialmente cristalina y amorfa, a causa de la ubicación de la cadena glucosídica, que se mantiene unida por enlaces de H por lo que algunas estructuras permanecen intactas durante el tratamiento [22]. Ya que, es común que se presente una disminución en el grado de polimerización (DP) mientras aumenta el índice de cristalinidad (IC) a partir de la cantidad de concentración de soluciones enzimáticas presentes en la síntesis del material, además las soluciones endoglucanasas son las que mayormente influyen en el aislamiento de las nanofibras que en su despolimerización [23]. Mediante ácido hidrólisis de algodón llegaron a obtener nanofibras de celulosa con un diámetro promedio de 32.5 nm, mientras que en [12] las nanofibras de celulosa producidas a partir de OPEFB tienen un diámetro de  $27,23 \pm 8,21$  nm.

También en otro estudio se obtuvo que las NFs de celulosa extraídas de la fibra del banano, tuvieron un diámetro que variaba entre los 50nm y 100 nm y la longitud de 100 nm. [22]

Las NPs se presentan en nanovarillas con grupos de sulfatos en sus superficies, por lo tanto, su morfología es dependiente de la fuente de celulosa a usar. Por lo general se producen nanocristales con diámetro de 3 a 35 nm y longitudes entre los 0.05 y 4 micrómetros. Y de acuerdo a las condiciones de procesamiento, las NFs de celulosa se desintegran obteniendo dimensiones laterales de menores a 3 nm con presencia de fibrillas elementales; por lo general este nanomaterial obtiene diámetros de 5 a 50 nm con longitudes de unos pocos micrómetros [12].

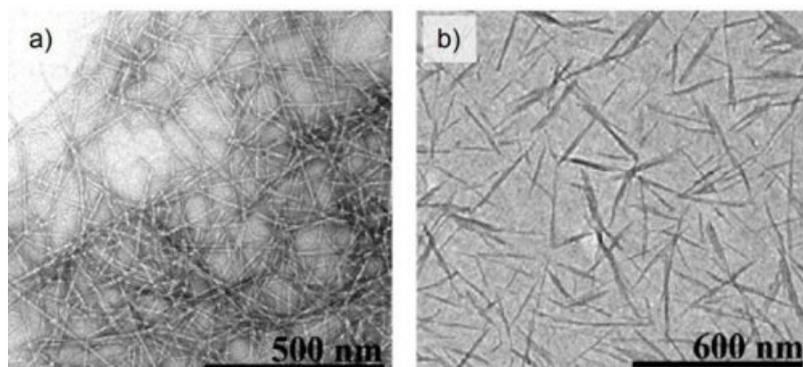


Figura 3. Micrografías electrónicas de transmisión de a) Nanofibras de celulosa y b) Nanocristales de celulosa [21].

**Tabla 1**

*Comparación lado a lado de la morfología y las propiedades físicas de BNC, CNF y CNC [5].*

Tipos de nanocelulosa	Longitud	Sección transversal	Grado de polimerización	Cristalinidad/Estructura cristalina
Nanocelulosa bacteriana	Diferentes tipos de redes de nanofibras	20 – 100 nm	4000 – 10 000	I $\alpha$ (estructura) y I $\beta$ (núcleo) – Máximo grado de cristalización
Nanofibras de celulosa	0.1 – 2 $\mu$ m	5 – 60 nm	$\geq$ 500	Principalmente I $\beta$ – Más bajo grado de cristalización
Nanocristales de celulosa	100 – 250nm (de celulosas vegetales); 100nm a varios micrómetros (de celulosas de tunicados, algas, bacterias)	5 – 70 nm	500 – 15 000	Principalmente I $\beta$ , a veces I $\alpha$ – Medio grado de cristalización

### 3. Metodología

Esta escala nano de la tecnología moderna nos permite controlar la relación del tamaño y la forma de cada partícula para adaptarlas según las propiedades que se requieran en determinados materiales y cumplir así con un objetivo. [7] Es por ello que, al mencionar los métodos de síntesis, se hace referencia a las operaciones y procedimientos de lo que se debe llevar a cabo para obtener nanomateriales de adecuada cristalinidad y pureza, de los cuales podemos identificar en las diferentes investigaciones revisadas. [8] Por lo que, a partir de procesos de síntesis podemos producir diversos compuestos químicos en escalas nanos, los cuales son sustancias o elementos difíciles de obtener de forma natural, sin embargo, hay métodos de síntesis costosos y que demandan de mucha energía. En el caso del proceso de obtención de nanopartículas poliméricas, son diversas las técnicas utilizadas, como en el caso de los polímeros sintéticos en que resaltan el método de diálisis, nanoprecipitación, emulsificación y tecnología de fluidos supercríticos [9].

Dentro de las investigaciones revisadas, los nanocristales y nanofibras son los tipos de nanomateriales a base de celulosa que mayormente resaltan por sus propiedades de uso. [10] En ciertos estudios, explicaron que los nanocristales de celulosa son sintetizados por métodos alcalinos, hidrólisis, blanqueo y explosión de vapor alcalino usando fuertes tratamientos químicos, pero su procedimiento de obtención puede ser modificado en ciertas etapas debido al tipo de material o percances presentes en la investigación. Asimismo, los métodos de síntesis utilizados para obtener nanofibras de celulosa pueden ser a partir métodos mecánicos, químicos o biológicos de fibrilación mecánica dependiendo del tratamiento, pero se necesita de bastante energía [11].

Por lo tanto, diversas investigaciones mencionan que el método convencional para la preparación de nanofibras de celulosa es el método por filtración al vacío, siendo producidas por microfibrilación de materiales macros de celulosa refina; los cuales, dicho método permite reducir el ancho de la fibra a escalas nano [10]. Además, las nanofibras también son consideradas como celulosa fibrada que son deconstruidas por fibración mecánica aplicando ya sea homogeneizadores, fundizadores, sistemas acuosos y microtrituradores [7]. De lo cual, la fibra de celulosa presenta partes amorfas de menor densidad que las zonas cristalinas, las cuales, al estar sometidas a un método de síntesis, en este caso hidrólisis ácida, esta parte amorfa se rompe y libera lo que sería las nanopartículas [12].

Asimismo, para obtener CNF (fibra de nanocelulosa) de celulosa es común usar el método de síntesis de hidrólisis ácida, en diversas investigaciones presentaron que usan ácido sulfúrico concentrado ( $H_2SO_4$ ), lo cual permite que se degrade las regiones amorfas del material prima para dejar pase a las zonas cristalinas. Por otra parte, las CNF de celulosa se pueden obtener mediante el método de homogeneización de alta presión, produciendo redes de entrelaces fuertes con presencia tanto de zonas amorfas como cristalinas a causa de altas fuerzas de cizallamiento [13].

Como ejemplos de síntesis de CNF tenemos mediante técnicas de desintegración, lo que nos da como resultados pequeños fragmentos, pero la dificultad es que se puede triturar las fibras, lo que sería perjudicial en el grado de polimerización y en sus propiedades [14]. Esto se debe a los fuertes enlaces de hidrógeno que presentan las cadenas moleculares de celulosa, por lo que esta energía de enlace interfibrilar debe ser superior para individualizar las fibras, además debe evitarse la coalescencia inversa

[4]. Es por ello, que las CNF de celulosa se producen en medios acuosos, lo que genera que se aflojen los enlaces de hidrógeno- interfibrilares [15].

Sin embargo, son muchos los métodos que requieren de reactivos demasiado contaminantes y costosos por lo que en los últimos años se ha buscado métodos de síntesis que no impacten

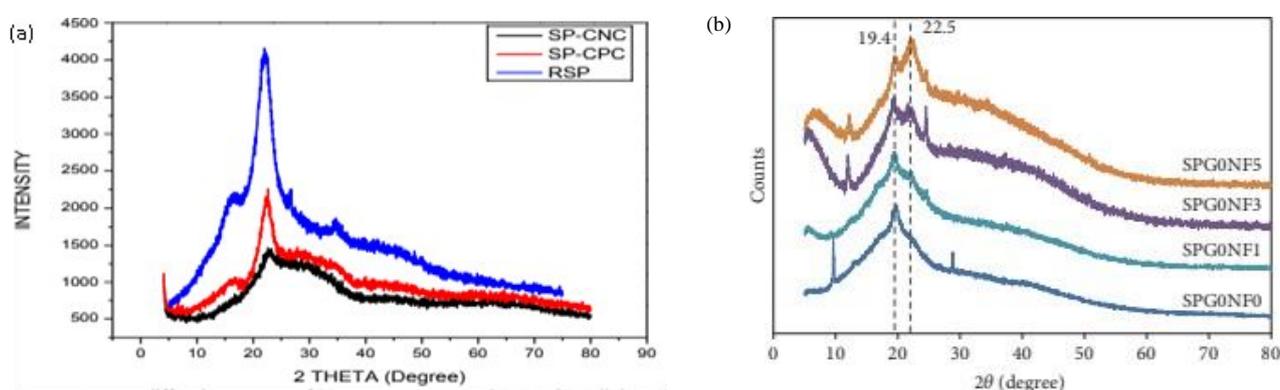
mucho en el medio ambiente como es actualmente denominado síntesis verde que busca disminuir el gasto de energía y de contaminantes, un ejemplo puede ser el uso de ultrasonido y la radiación de microondas [6].

#### 4. Resultados y discusión

Para las nanopartículas de celulosa, mayormente se utilizan imágenes de microscopía electrónica de transmisión (TEM), donde el software adicional permite registrar la longitud y el ancho de las partículas. Además, también se utilizan difractómetros de rayos X (DRX) para identificar el estado o índice de cristalinidad de las partículas. Se considera también a las características de dispersión de luz dinámica, como el diámetro promedio Z o el tamaño de partícula, la dispersión y el potencial Z [19]. Por otra parte, también se emplea microscopía electrónica de barrido de alta resolución (HRSEM) para determinar la morfología superficial del material. Asimismo, se puede aplicar espectroscopía de resonancia magnética nuclear (RMN) para evaluar la pureza y la estructura molecular del material [12].

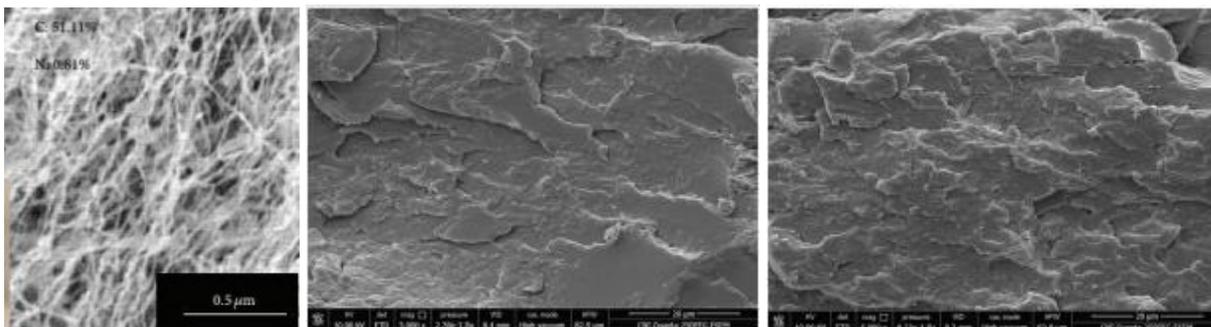
Para estos métodos de caracterización se trabaja con propiedades morfológicas y funcionales entre materias o sustancias. para ello nos otorga una información muy importante sobre su composición, estructura y propiedades. [31]

En estas nanopartículas de celulosa, se emplea imágenes de DRX donde sus descubrimientos de los resultados de hidratación hacen conveniencia a la existencia de nano materiales, donde este método permite identificar el estado o índice cristalinidad de las nanopartículas de la celulosa como se puede observar en la Fig. 4, dando como resultado nuevas fases en la microestructura [24]. Su cristalinidad final de los materiales depende de la capacidad de la cadena para formar cristales, con el contenido del glicerol su cristalinidad de las películas de almidón disminuye debido a la disminución de las interacciones intramoleculares de la cadena de almidón, mientras si aumenta la celulosa su cristalinidad de las películas aumenta también [30].



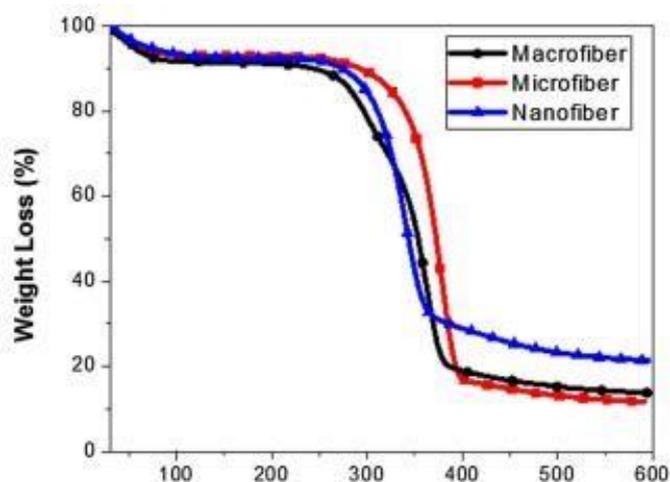
**Figura 4.** (a)Patrones de DRX de Celulosa (SPCPC) y Nanocristal de celulosa (SPCNC) [12], (b)Perfiles DRX de películas de nanocompuestos de celulosa [32].

El SEM proporciona información útil sobre la distribución de la fase de refuerzo en la matriz para esto las nanofibras de PVA y celulosa que demuestra un compuesto fracturado liso indicando una buena dispersión y homogeneidad en el compuesto aumentando su concentración de las nanofibras en una escala de micras [33], como se muestra en la Fig. 5 (b y c). Las películas producidas PUL mostraron suavidad extrema, homogeneidad sin burbujas ni poros y una superficie compacta, presentando fracturas superficiales y patrones reticulados, debiéndose a la pérdida de agua y la contracción de la capa superficial [34].



**Figura 5.** (a) Nanofibras de celulosa tratados con IL [30], PVA/compuestos de nanofibras de celulosa con (b) 2, (c) 5 % de contenido de nanofibras con un aumento de 5000x. [34]

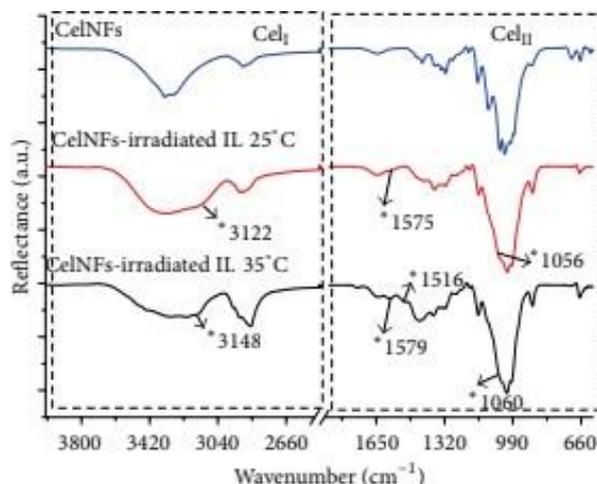
El análisis termogravimétrico (TGA) se usa para analizar las características físicas y químicas de los materiales, según la temperatura en una atmósfera controlada de forma determinada. Para este análisis [35] nos permiten investigar la degradación e identificar componentes de las microfibras blanqueadas que se desplazan a temperaturas altas en comparación con una macrofibra cruda, debido a que el blanqueo hace que las microfibras sean más resistentes a la degradación debido al mayor contenido relativo de la celulosa altamente cristalina [2]. Esta técnica facilita una indagación efectiva para la inspección de calidad, desarrollo y su investigación, empleándose como otra técnica la calorimetría diferencial de barrido (DSC) en donde determina el resultado de la temperatura en la alteración de la capacidad calorífica ( $C_p$ ) del elemento [27], tomando como patrón de una mezcla conocida determinando si se calienta o se enfría, para posteriormente ejecutar las alteraciones que se elaboran en la capacidad calorífica hasta que se cambie el flujo de calor. Permitiendo descubrir transformaciones como señales de fusión, transiciones vítreas, cambios de fase y curado [28].



**Figura 6.** Curvas TGA de macrofibras crudas, microfibras blanqueadas y nanofibras de celulosa [34].

La espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier (FTIR) facilita una dispersión de reflexión en bandas de los grupos funcionales de diversas sustancias, para su obtención de su caracterización y su verificación del material. [7] para estos trabajos analizados de la celulosa se trabajaron con varias muestras de HDPE y CELNFS donde sus espectros van a ser trabajados antes y después de la irradiación EB [10], obteniendo compuestos nano fibrosos de poliolefina, presentando regiones de absorbancia atribuidas al estiramiento. Este método permitió identificar grupos funcionales y comprender los cambios inducidos al alcanzar la nanoescala en microfibras

de fique crudas, su efectividad en la eliminación de lignina y hemicelulosa hicieron de este método un espectro similar al de la de la celulosa celular con bandas de alta intensidad [35].



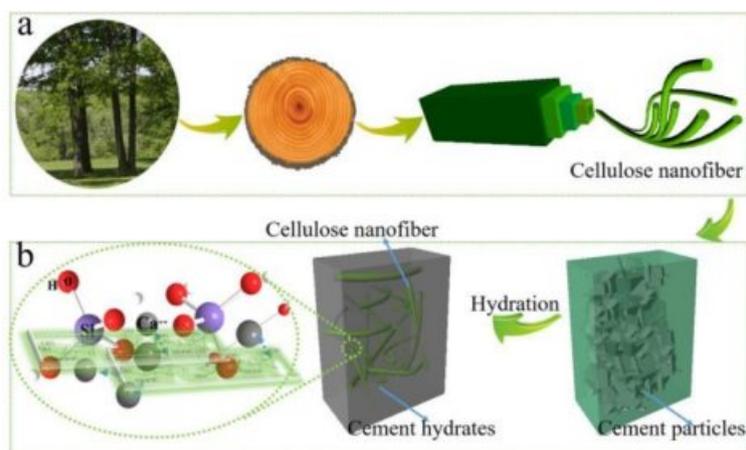
**Figura 7.** Espectros FTIR de Nanofibras de celulosa (CelNF) tratados con IL irradiados a 25°C y 35°C [30].

## 5. Conclusiones

Se ha comprobado por medio de distintas investigaciones de síntesis aplicados a las nanocelulosas, debido a la gran cristalinidad de la nanofibrilada y la celulosa bacteriana han sido últimamente requerido como refuerzo renovable para que se pueda elaborar biocompuesto con un elevado rendimiento [5]. Se comprobó que, la celulosa bacteriana (BC) ha tenido un gran realce, porque se ha utilizado de gran manera en el ámbito de la electrónica flexible, dispositivos biomédicos, cosméticos, ingeniería de tejidos, liberación de fármacos, debido a su excelente seguridad y confiabilidad. También por las buenas propiedades conductivas que posee, al ser aplicados rellenos conductivos (CNT y PP), esto ayudaría a incrementar aun las incompueto fibras de BC conductivo, con el fin de innovar con la tecnología ecológicas y biodegradable, a fin de recolectar energía portátil [18].

Además, en los últimos años la ciencia ha tenido un mayor interés en el desarrollo de materiales biodegradables, y la celulosa no es ajeno a ello, por esto se logró comprobar que la incorporación de las nanofibras de celulosa (CNF) a películas de almidón, y estas pueden mejorar considerablemente sus propiedades mecánicas, físicas y térmicas, debido a la alta cristalinidad de la celulosa. Según Vanessa y otros (2020) demostraron que el uso de la nanofibra de celulosa representa un camino muy atrayente para producir materiales a base de almidón que sean más resistentes, por ello se sugiere incrementar su utilización como materiales de empaque y en películas biodegradables [29].

Por lo que podemos deducir que, el uso de las nanofibras de celulosa está teniendo una gran importancia en el ámbito de la construcción, ya que en recientes estudios se ha comprobado que al agregar nanofibras de celulosa a las pasta de cemento, esta hará que su resistencia mecánica mejore de una manera mucho más efectiva con una baja fracción de nanofibras, además también es importante mencionar que los grupos hidroxilo y barboxilo de celulosa forman enlaces de hidrógeno con los hidratos del cemento, por ellos la microestructura de las pastas de cemento mejorar de manera considerable, entonces gracias a las nanofibras de celulosa se podrá tener una construcción con una mejor resistencias y gran durabilidad [28].



**Figura 8.** Esquema de la interacción entre las nanofibras de celulosa y partículas de cemento. (a) Jerarquía para la obtención de celulosa. (b) Nanofibras de celulosa con la pasta de cemento formado con grupos carbozilo e hidratos de cemento. [28]

## 6. Referencias bibliográficas

- [1] Jasmani, L., Jamaluddin, N. A. N., Rusli, R., Adnan, S., & Zakaria, S. (2022). Different Preparation Method of Nanocellulose from *Macaranga gigantea* and Its Preliminary Study on Packaging Film Potential. *Polymers*, 14(21). <https://doi.org/10.3390/polym14214591>.
- [2] Fahma, F., Febiyanti, I., Lisdayana, N., Arnata, I. W., & Sartika, D. (2021). Nanocellulose as a new sustainable material for various applications: A review. In *Archives of Materials Science and Engineering* (Vol. 109, Issue 2, pp. 49–64). International OCSCO World Press. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0015.2624>
- [3] Sabo, R. C., Elhajjar, R. F., Clemons, C. M., & Pillai, K. M. (2015). Characterization and processing of nanocellulose thermosetting composites. In *Handbook of Polymer Nanocomposites. Processing, Performance and Application: Volume C: Polymer Nanocomposites of Cellulose Nanoparticles* (pp. 265–296). Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-45232-1\\_64](https://doi.org/10.1007/978-3-642-45232-1_64)
- [4] Trache, D., Tarchoun, A. F., Derradji, M., Hamidon, T. S., Masruchin, N., Brosse, N., & Hussin, M. H. (2020). Nanocellulose: From Fundamentals to Advanced Applications. In *Frontiers in Chemistry* (Vol. 8). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fchem.2020.00392>
- [5] Klemm, D., Cranston, E. D., Fischer, D., Gama, M., Kedzior, S. A., Kralisch, D., Kramer, F., Kondo, T., Lindström, T., Nietzsche, S., Petzold-Welcke, K., & Rauchfuß, F. (2018). Nanocellulose as a natural source for groundbreaking applications in materials science: Today's state. In *Materials Today* (Vol. 21, Issue 7, pp. 720–748). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.mattod.2018.02.001>
- [6] Nascimento, D. M., Nunes, Y. L., Figueirêdo, M. C. B., de Azeredo, H. M. C., Aouada, F. A., Feitosa, J. P. A., Rosa, M. F., & Dufresne, A. (2018). Nanocellulose nanocomposite hydrogels: Technological and environmental issues. In *Green Chemistry* (Vol. 20, Issue 11, pp. 2428–2448). Royal Society of Chemistry. <https://doi.org/10.1039/c8gc00205c>
- [7] K. Aimonen, M. Imani, M. Hartikainen, S. Suhonen, E. Vanhala, C. Moreno, O. J. Rojas, H. Norppa y J. Catalán, «Surface functionalization and size modulate the formation of reactive oxygen species and genotoxic effects of cellulose nanofibrils.» *Particle and Fibre Technology*, p. 21, 2022.
- [8] J. Carvalho, A. Silva, A. Silvestre, C. Freire y C. Vilela, «Spherical Cellulose Micro and Nanoparticles: Recent Developments and Applications,» *Nanomaterials*, p. 35, 2021.
- [9] P. Kumari, G. Pathak, R. Gupta y A. Meena, «Cellulose nanofibers from lignocellulosic biomass of lemongrass using enzymatic hydrolysis: characterization and cytotoxicity assessment.» *DARU Journal of Pharmaceutical Sciences*, p. 11, 2019.
- [10] M. Nasir, M. Arif Aziz, M. Zubair, N. Ashraf, T. Nasreldin Hussein, M. Khalid Allubli, M. Saood Manzar, W. Al-Kutti y M. A. Al-Harhi, «Engineered cellulose nanocrystals-based

cement mortar from office paper waste: Flow, strength, microstructure, and thermal properties,» ELSEVIER, vol. 51, 2022.

- [11] M. T. P. a. K. Kanny, «Study of Curing Characteristics of Cellulose Nanofiber-Filled Epoxy Nanocomposites,» Study of Curing Characteristics of Cellulose Nanofiber-Filled Epoxy Nanocomposites, 2020.
- [12] V. A. b. Chioma, B. W. Akan , I. I. Adedayo, T. Chionyedua, O. Cyril y L. Petrik, «Preparation and Characterisation of Cellulose Nanocrystal from Sugarcane Peels by XRD, SEM and CP/MAS 13C NMR,» Journal of Physics, p. 9, 2019.
- [13] K. Yuwawech, J. Wootthikanokkhan y S. Tanpichai, «Effects of Two Different Cellulose Nanofiber Types on Properties of Poly(vinyl alcohol) Composite Films,» Hindawi Publishing Corporation, pp. 2-10, 2015.
- [14] K. Aimonen, M. Imani, M. Hartikainen, S. Suhonen, E. Vanhala, C. Moreno, O. J. Rojas, H. Norppa y J. Catalán, «Surface functionalization and size modulate the formation of reactive oxygen species and genotoxic effects of cellulose nanofibrils.,» Particle and Fibre Technology, p. 21, 2022.
- [15] R. Gao, Y. Shang, P. Jiao, Y. Jiao, J. Li y Y. Lu, «Polydopamine Induced Wettability Switching of Cellulose Nanofibers/n-Dodecanethiol Composite Aerogels,» Hindawi, p. 9, 2022.
- [16] J. Carvalho, A. Silva, A. Silvestre, C. Freire y C. Vilela, «Spherical Cellulose Micro and Nanoparticles: Recent Developments and Applications,» Nanomaterials, p. 35, 2021.
- [17] N. S. Alsaiani, K. Shanmugam, H. Mothilal, D. Ali y S. V. Prabhu, «Optimization of Spraying Process via Response Surface Method for Fabrication of Cellulose Nanofiber (CNF) Film,» Journal of Nanomaterials, p. 10, 2022.
- [18] K.-M. Chin, S. T. Sam, H. L. Ong, Y. S. Wong, W. K. Tan y V. Vannaladsaysy, «Bioinspired Crosslinked Nanocomposites of Polyvinyl Alcohol-Reinforced Cellulose Nanocrystals Extracted from Rice Straw with Ethanedioic Acid,» Journal of Nanomaterials, p. 16, 2022.
- [19] F. Fahma, N. Hori, T. Iwata y A. Takemura, «PVA nanocomposites reinforced with cellulose nanofibers from oil palm empty fruit bunches (OPEFBs).,» 2017. [En línea]. Available: <https://link.gale.com/apps/doc/A607349655/AONE?u=univcv&sid=bookmark-AONE&xid=4f232637>.
- [20] F. E. Fleury, M. A. Ponton, A. P. Duarte, P. Cassagnau, A. Magnin, A. Almeida, A. M. Botelho do Rego, F. Pignon y M. N. Belgacem, «Cellulose Nanofibers for the Production of Bionanocomposites,» 2015. [En línea]. Available: <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01244186/document>.
- [21] A. N. Frone, D. M. Panaitescu, I. Chiulan, C. A. Nocilae, Z. Vuluga y C. Vitelaru, «The effect of cellulose nanofibers on the crystallinity and nanostructure of poly(lactic acid) composites,» 2016. [En línea]. Available: <https://go.gale.com/ps/i.do?p=AONE&u=univcv&id=GALE|A470485299&v=2.1&it=r&sid=bookmark-%20AONE&asid=c66190d0>
- [22] S. Hu, Z. Shi, K. Chen, N. Xu y Y. Wang, «Biodegradable, Super-Strong, and Conductive Cellulose Macrofibers for Fabric-Based Triboelectric Nanogenerator,» 2022. [En línea]. Available: <https://link.gale.com/apps/doc/A702000556/AONE?u=univcv&sid=bookmark-AONE&xid=72a2b20c>.
- [23] M. El-Feky, A. El-Tair, M. Kohail y M. Serag, «Nano-Fibrillated Cellulose as a Green Alternative to Carbon Nanotubes in Nano Reinforced Cement Composites,» International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering, vol. 8, n° 12, pp. 484-491, 2019.
- [24] J. Flores, M. Kamali y A. Ghahremaninezhad, «An Investigation into the Properties and Microstructure of Cement Mixtures Modified with Cellulose Nanocrystal,» Materials, vol. 10, n° 498, pp. 2-16, 2017.
- [25] I. A. Jankowska, K. Pogorzelec-Glaser, P. Ławniczak, M. Matczak y R. Pankiewicz, «New liquid-free proton conductive nanocomposite based on imidazole- functionalized cellulose nanofibers,» Cellulose, 2020.
- [26] S. Hu, J. Han, Z. Shi, K. Chen, N. Xu, Y. Wang, R. Zheng, Y. Tao, Q. Sun, Z. L. Wang y G. Yang, «Biodegradable, Super-Strong, and Conductive Cellulose Macrofibers for Fabric-Based Triboelectric Nanogenerator,» Nano-Micro Letters, vol. 14, n° 115, pp. 2-20, 2020.
- [27] K. Gurshaga, A. Djioleu, K. Rajan, N. Labbé, J. Sakon, D. J. Carrier y J.-W. Kim, «Maximizing production of cellulose nanocrystals and nanofibers from pre- extracted loblolly pine kraft pulp: a response surface approach,» Kandhola et al. Bioresour. Bioprocess, p. 16, 2020.

- [28] B. Fan, Q. Yao, C. Wang, Y. Xiong, Q. Sun y C. Jin, «Spawns Structure of Rod-Like ZnO Wrapped in Cellulose Nanofibers for Electromagnetic Wave Absorption,» 2017. [En línea]. Available: <https://link.gale.com/apps/doc/A546286909/AONE?u=univcv&sid=bookmark-AONE&xid=dab49764>.
- [29] C. Saurabh, A. Mustapha, M. M. Masri, A. F. Owolabi, M. I. Syakir, R. Dungani, M. T. Paridah, M. Jawaid y H. P. S. Abdul Khalil, «Isolation and Characterization of Cellulose Nanofibers from Gigantochloa scortechinii as a Reinforcement Material,» [En línea].
- [30] C. Croitoru y S. Patachia, «Long-Chain Alkylimidazolium Ionic Liquid Functionalization of Cellulose Nanofibers and Their Embedding in HDPE Matrix,» Hindawi, p. 9, 2016.
- [31] D. Rahmat y C. Devina, «Synthesis and Characterization of a Cationic Thiomer Based on Ethyl Cellulose for Realization of Mucoadhesive Tablets and Nanoparticles,» International Journal of Nanomedicine, vol. 17, pp. 2321-2333, 2022.
- [32] F. Fahma, Sugiarto, T. C. Sunarti, S. M. Indriyani y N. Lisdayana, «Thermoplastic Cassava Starch-PVA Composite Films with Cellulose Nanofibers from Oil Palm Empty Fruit Bunches as Reinforcement Agent,» Hindawi.
- [33] A. R. Kakroodi, S. Cheng, M. Sain y A. Asiri, «Mechanical, Thermal, and Morphological Properties of Nanocomposites Based on Polyvinyl Alcohol and Cellulose Nanofiber from Aloe vera Rind,» p. 7, 2014.
- [34] M. Thangavelu y S. V. Kulandhaivelu, «Development and Characterization of Pullulan-Carboxymethyl Cellulose Blend Film for Packaging Applications,» Hindawi, p. 10, 2022.
- [35] S. F. Souza, A. L. Leao, C. B. Lombello, M. Sain y M. Ferreira, «Cytotoxicity studies of membranes made with cellulose nanofibers from fique macrofibers,» J Mater Sci, vol. 52, pp. 2581-2590, 2017.
- [36] L. Jiao, M. Su, L. Chen, Y. Wan, H. Zhu y H. Dai, «Natural Cellulose Nanofibers As Sustainable Enhancers in Construction Cement,» PLOS | ONE, vol. 11, n° 12, pp. 1-13, 2016.
- [37] V. Soltes de Almeida, B. R. Válio Barretia, V. C. Ito, L. Malucelli, M. A. d. S. Carvalho Filho, I. Mottin Demiate, L. A. Pinheiro y L. G. Lacerda, «Thermal, Morphological, and Mechanical Properties of Regular and Waxy Maize Starch Films Reinforced with Cellulose Nanofibers (CNF),» Materiales Research, vol. 23, n° 2, 2020.
- [38] G. Yang, Z. Zhang, K. Liu, X. Ji, P. Fatehi y J. Chen, «A cellulose nanofibril-reinforced hydrogel with robust mechanical, self-healing, pH-responsive and antibacterial characteristics for wound dressing applications,» Journal of Nanobiotechnology, vol. 30, n° 312, pp. 2-16, 2022.

# 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

## BENEFITS OF TECHNOLOGY 4.0 IN THE CONSTRUCTION SECTOR: SYSTEMATIC REVIEW

**Maicol Steven Benites Meregildo<sup>1</sup>; Richard Eduardo Contreras Cruz<sup>1</sup>;  
Bryam Montañez Correa<sup>1</sup>; Maricielo Shantall Gavidia Calle<sup>1\*</sup>;  
David Vílchez Chávez<sup>1</sup>**

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

\*Autor correspondiente: [t053500920@unitru.edu.pe](mailto:t053500920@unitru.edu.pe)

Fecha de recepción: 29.09.2023      Fecha de aceptación: 12.12.2023

ORCID de Autores:

M. S. Benites Meregildo

<https://orcid.org/0009-0004-3170-9343>

R.E. Contreras Cruz

<https://orcid.org/0000-0003-3348-952X>

B. Montañez Correa

<https://orcid.org/0000-0001-6321-4063>

M.S. Gavidia Calle

<https://orcid.org/0009-0004-2858-608X>

D.M. Vílchez Chávez

<https://orcid.org/0000-0001-9212-0031>

---

### ABSTRACT

The research focuses on how the construction industry benefits from Industry 4.0, merging the real and virtual world through the application of innovative technologies in various processes throughout the life cycle of construction projects. Among these technologies, BIM and robotic arms stand out, exploring both their advantages and disadvantages. This integration of industry 4.0 in construction allows for more autonomous management of processes, providing flexibility in responses to emerging needs. The synergy between the physical and virtual world, enhanced by these technological tools, reconfigures the way construction challenges are addressed, providing more efficient and adaptive solutions. The adoption of technologies such as BIM and robotic arms represents a significant step towards modernization and efficiency in the construction industry, aligning it with the changing demands of the built environment.

**Keywords:** industry 4.0, construction, BIM, robotic arms, efficiency.

---

---

# **BENEFICIOS DE LA TECNOLOGÍA 4.0 EN EL SECTOR CONSTRUCCIÓN: REVISIÓN SISTEMÁTICA**

---

## **RESUMEN**

La investigación se centra en cómo la industria de la construcción se beneficia de la industria 4.0, fusionando el mundo real y virtual mediante la aplicación de tecnologías innovadoras en diversos procesos a lo largo del ciclo de vida de los proyectos constructivos. Entre estas tecnologías se destacan el BIM y los brazos robóticos, explorando tanto sus ventajas como desventajas. Esta integración de la industria 4.0 en la construcción permite una gestión más autónoma de los procesos, brindando flexibilidad en las respuestas a las necesidades emergentes. La sinergia entre el mundo físico y el virtual, potenciada por estas herramientas tecnológicas, reconfigura la forma en que se abordan los desafíos en la construcción, proporcionando soluciones más eficientes y adaptativas. La adopción de tecnologías como BIM y brazos robóticos representa un avance significativo hacia la modernización y la eficiencia en la industria de la construcción, alineándola con las demandas cambiantes del entorno construido.

**Palabras clave:** industria 4.0, construcción, BIM, brazos robóticos, eficiencia.

---

## 1. Introducción

El rápido avance de la ciencia y la tecnología ha permitido la creación de soluciones cada vez más efectivas a los múltiples desafíos que enfrenta la sociedad contemporánea [1]. En este contexto, las Naciones Unidas han establecido los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y los ingenieros son importantes para la innovación y la adaptación a estos cambios tecnológicos [2]. Es fundamental examinar no solo los avances tecnológicos, sino también el impacto de la Construcción 4.0 en el hábitat humano y la vivienda, esta transformación no se trata solo de edificios inteligentes o la digitalización de procesos constructivos, sino de la creación de entornos más seguros, sostenibles y confortables para las personas, la Construcción 4.0 se entrelaza con cuestiones fundamentales, como el acceso a la vivienda, la urbanización sostenible y la igualdad en el acceso a los beneficios de estas innovaciones [3]. Las bases para explorar en detalle cómo la Construcción 4.0 está moldeando nuestro hábitat y cambiando la forma en que vivimos y construimos. A lo largo de esta investigación, analizaremos las tecnologías emergentes, los desafíos sociales y medioambientales, y las oportunidades que esta revolución brinda a nivel global. También consideraremos cómo podemos aprovechar esta revolución para construir un futuro más habitable y sostenible para todos. Por último, esta investigación tiene como objetivo comprender y contextualizar los efectos de la construcción 4.0 en el hábitat, la vivienda y la calidad de vida de las personas, así como fomentar soluciones que beneficien a la sociedad en su conjunto [4]. La industria 4.0 está transformando el sector de la construcción al mejorar la eficiencia, la calidad y la innovación como aplicación. No obstante, también presenta obstáculos que deben resolverse para maximizar el uso de estas tecnologías [5].

La digitalización y automatización del entorno de fabricación se conocen como Industria 4.0. La industria de la construcción no ha prestado mucha atención a este concepto, a pesar de sus posibilidades de mejorar la productividad y la calidad [1, 6]. Este avance se basa en el hecho de que aún se desconocen en gran medida las implicaciones de largo alcance del entorno de fabricación cada vez más digitalizado y automatizado. Varios indicadores sugieren que la metodología de construcción convencional ha llegado a su límite [7]. El diseño colaborativo basado en sistemas de información compartidos como BIM requiere cambiar las prácticas y rutinas de trabajo tradicionales e institucionalizadas. Un estudio de caso de diseño BIM integrado en un gran proyecto de construcción de atención sanitaria sirve como ejemplo de cómo se pueden superar los desafíos más comunes. El proyecto recibió el premio Building SMART 2015 por su "práctica BIM abierta sobresaliente", lo que lo convierte en el modelo a seguir en Noruega para la práctica BIM [10]. Y un estudio empírico en china proporciona información empírica sobre la naturaleza colaborativa de los proyectos de construcción BIM y resaltan la importancia de la colaboración dentro de los equipos de proyecto en la ejecución de proyectos BIM [11]. El objetivo principal de este artículo es analizar el estado del arte y la práctica de las tecnologías 4.0 en la industria de la construcción, señalando las implicaciones políticas, económicas, sociales, tecnológicas, ambientales y legales. En este contexto, presentamos los hallazgos de nuestro método de triangulación, que consisten en una revisión minuciosa de la literatura y una investigación de estudios de ejemplos. Además, brindamos recomendaciones para futuras investigaciones dentro de una agenda de investigación.

Actualmente, ya se puede observar que la tecnología de automatización de la construcción, los enfoques STCR, los sistemas de robots de servicio [7]. Pero también se presentan brechas en el área de operación autónoma de UGV y las brechas en el campo de las Interfaces Hombre-Máquina (HMI) de UGV [9]. Las máquinas generalmente aumentan la productividad en todas las industrias, pero inevitablemente conducen a pérdidas de empleo. Si seguimos así, viviremos en una sociedad donde no hay necesidad de trabajo, la miseria y el desempleo afectarán la calidad de vida y la convivencia pacífica.

En las últimas décadas, los elementos individuales, también llamados componentes prefabricados, se han popularizado en el sector de la construcción [8]. La prefabricación es una práctica de construcción que fabrica la mayoría de los subconjuntos de un edificio, desde paneles de pared hasta habitaciones completas en un entorno de fábrica controlado, antes de transportar

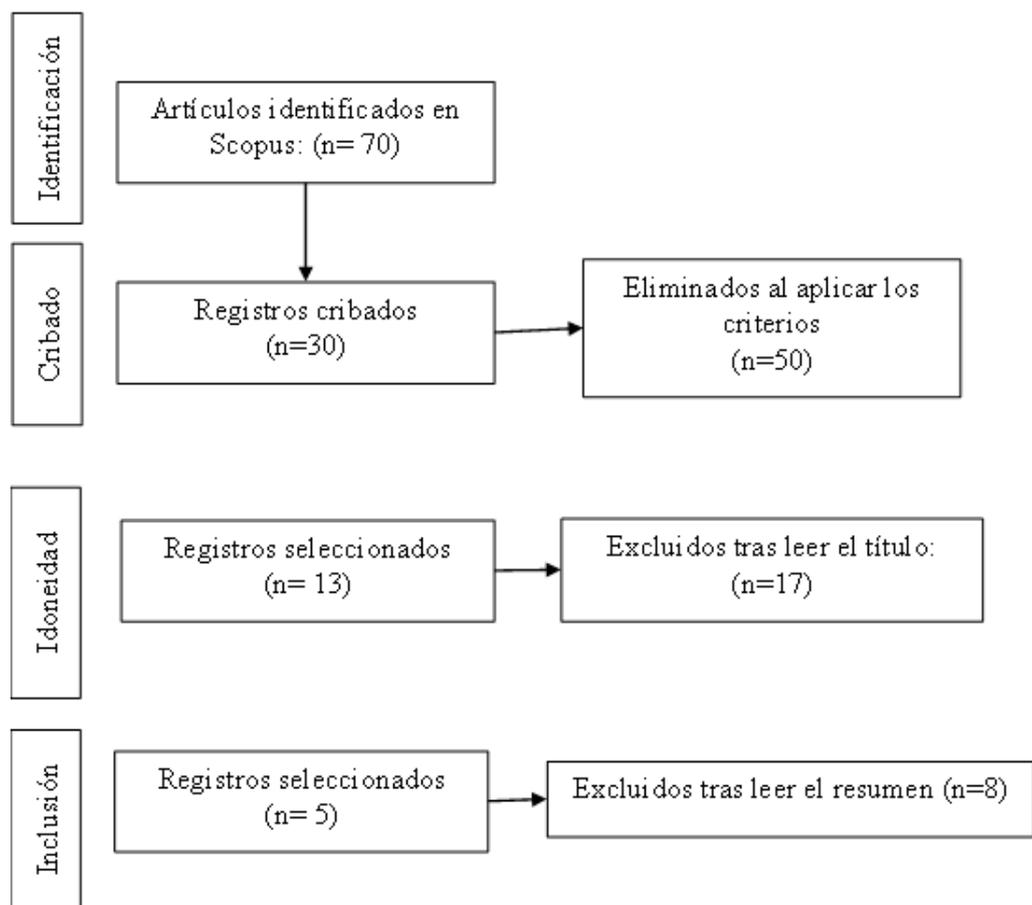
los subconjuntos al sitio de construcción para su ensamblaje. Para ello hace necesario la tecnología como es los brazos robóticos [7, 8].

Por último, desde la perspectiva de la gestión, todas las afirmaciones sobre la industria 4.0 y la construcción se reflejan en beneficios para la industria: ahorro de costos, ahorro de tiempo, entregas dentro del presupuesto y a tiempo, mejor calidad, mejor comunicación y colaboración, mejores relaciones con los clientes, mayor seguridad, mejor imagen de la industria y mejor sostenibilidad [6].

Nuestro objetivo es investigar cómo la industria de la construcción se beneficia de la industria 4.0, el mundo real y el mundo virtual, al aplicar nuevas tecnologías a diferentes procesos a lo largo del ciclo de vida de los proyectos de construcción, como el uso de tecnologías. como BIM y brazos robóticos, que anteriormente se mencionaron algunas de las ventajas y desventajas de estas tecnologías. Se complementa con la industria 4.0 en el sector de la construcción para que estos procesos puedan gestionarse de forma más autónoma y las respuestas y necesidades sean más flexibles.

## 2. Metodología

En este análisis, se ha llevado a cabo una minuciosa exploración de datos a través de una revisión sistemática recientemente publicada en el campo de Ingeniería y Ciencia de los Materiales. En consonancia con la influencia de la era de la Industria 4.0, la industria de la construcción está experimentando transformaciones sustanciales. Para su desarrollo, se han seguido las pautas de la declaración PRISMA con el fin de garantizar una elaboración precisa.



**Figura 01.** Diagrama de flujo PRISMA

### 3. Resultados y discusión

**Tabla 1**

Resumen de 5 artículos específicos

Título	Objetivo	Metodología	Conclusión
Industria 4.0 para la industria de la construcción: ¿qué tan preparada está la industria?	Destacar la importancia de Building Information Modelling (BIM) como elemento central en el sistema ciberfísico y su capacidad para mejorar el ciclo de vida de la construcción.	Revisión sistemática de la Literatura	La introducción de BIM junto con la Industria 4.0 está transformando la industria de la construcción, mejorando la calidad y el rendimiento del ciclo de vida del proyecto.
Un mapeo bibliométrico y cientométrico de la industria 4.0 en construcción	Comprender la evolución de la adopción de la Industria 4.0 en la construcción a lo largo del tiempo.	Revisión sistemática con análisis bibliométricos y cientométricos	La construcción adopta la Industria 4.0, destacando el papel crucial de tecnologías como BIM y señalando áreas de mejora.
Integración de tecnologías relacionadas con la Industria 4.0 en la industria de la construcción: un marco de Sistema ciberfísico	Crear un marco de sistema ciberfísico que permita la integración efectiva de estas tecnologías en la construcción, mejorando las capacidades generales de las organizaciones y la gestión en este sector.	Análisis de las características de la industria construcción y estudio de caso	Se sugiere que con la profunda integración de tecnologías de la Industria 4.0 y la implementación de sistemas ciberfísicos, los modos de producción y gestión en las industrias de la construcción y la manufactura tienden a volverse cada vez más similares.
La adopción de IOT en la industria de la construcción de Malasia: hacia la Construcción 4.0	Revisar la adopción del Internet de las Cosas (IoT) en la industria de la construcción de Malasia, centrándose en cómo esta tecnología puede impulsar la Construcción 4.0 para mejorar la productividad, reducir tiempos y	Revisión exhaustiva de la literatura a través de Scopus, Web of Science y Google Scholar, utilizando frases clave. Se filtraron datos de diversas fuentes para obtener resultados confiables.	La adopción de IoT en la construcción de Malasia avanza, respaldada por el gobierno, pero enfrenta desafíos en costos y expertise, requiriendo mejoras continuas para mantenerse globalmente competitiva.

	costos, y mitigar riesgos en el proceso de construcción.		
Evaluación del éxito de la digitalización de la Industria 4.0 Prácticas para la Gestión de la Construcción Sostenible: Industria de la construcción china	Examinar los impactos positivos de las técnicas de digitalización de la Industria 4.0 en la gestión sostenible de la construcción, identificando factores clave para profesionales y formuladores de políticas.	Análisis factorial exploratorio (EFA) y modelado de ecuaciones estructurales (SEM)	El éxito de la digitalización de la Industria 4.0 en la gestión sostenible de la construcción, pero reconoce limitaciones y sugiere áreas para futuras investigaciones transculturales y longitudinales

Discutiendo los artículos mostrados en la Tabla 1, se tiene que según Safura et al [7] establecen como motor de cambio a la Industria 4.0. Algunos de los puntos clave incluyen la automatización y la eficiencia, la personalización de los proyectos satisfacer las necesidades individuales de los que lo requieran, y la importancia de las tecnologías clave como la integración de sistemas, la realidad aumentada BIM (Building Information Modelling). La digitalización y el modelado permiten una planificación más precisa lo que conlleva a una mayor productividad y rentabilidad en el sector de la construcción. Además, la Industria 4.0 abre oportunidades para la innovación en un sector que se consideraba rezagado en la adopción tecnológica.

Mientras que Salwati et al [8] se centra en la adopción de Internet de las cosas (IoT) en la industria de la construcción de Malasia, mejorando la productividad a través del monitoreo y control más efectivo de maquinaria, materiales y mano de obra. De esta manera, facilita la flexibilidad en la secuencia del proyecto, reduciendo tiempo y costos, y permitiendo la gestión activa del proceso. Además, IoT se utiliza para gestionar la productividad de los empleados en el sitio y promover la sostenibilidad y la gestión de residuos convirtiéndose en una importante estratégica de la adopción de estas tecnologías.

Comparando con Safura et al [7] y Salwati et al [8], ambos autores sostienen que la industria 4.0 ha tenido un impacto enorme este sector, permitiendo reducir el riesgo de errores, defectos de construcción y evitar retrasos. Esto quiere decir optimizar más el tiempo de construcción. Utilizando la tecnología de la industria 4.0 influye de manera eficiente.

En China esta estrategia está siendo ejecutada para aspectos específicos según menciona Muhammad et al [9] la Industria 4.0 está contribuyendo a la gestión de la construcción sostenible en China con la optimización de operaciones mediante tecnologías como IoT, inteligencia artificial, análisis de big data y robótica para la optimización del uso de recursos y la reducción del impacto ambiental. La gestión integral de la construcción sostenible se centra en aspectos como el diseño sostenible, la eficiencia energética y la gestión de residuos Este enfoque busca resultados ecológicos, sociales y financieros favorables y promueve una construcción más sostenible en China y más allá.

Discutiendo la idea [9], se dice que la industria 4.0 optimiza los procesos de diseño en las construcciones, agiliza las funciones y si relacionamos a la sostenibilidad mejora la utilización de los recursos, esto conllevaría a garantizar la sostenibilidad a largo plazo en la industria de la construcción. Diseño de edificios sostenibles, optimizar el uso de energía, asimismo, tener ética y responsabilidad social.

Otro de los aportes de la adopción de la tecnología digital lo menciona Raihan et al [10] a

través del escaneo 3D, BIM, drones y realidad aumentada, promete aumentar la eficiencia y la productividad en la construcción, con mejoras en la calidad de los proyectos desde la adecuada planificación hasta una mayor gestión de datos, impulsada por BIM, cuyo papel facilita la colaboración en tiempo real y promueve la sostenibilidad y la ecoeficiencia.

Las tecnologías robóticas han influido de manera positiva en la industria de la construcción, conocida como la automatización de la construcción, para crear elementos de edificios, componentes y muebles de construcción.

Por último, la Industria 4.0 es una realidad que debe suponer la integración de tecnologías en un sistema ciberfísico (CPS) como lo menciona Zhijia y Lingjun [11] ya que conecta el mundo físico y digital, permitiendo una comunicación en tiempo real entre dispositivos y personas. Aunque la Industria 4.0 está en marcha, la construcción aún está en una etapa inicial de adopción de estas tecnologías. Se necesita una integración más completa para mejorar la organización y gestión en lugar de aplicaciones fragmentadas. Se presenta un ejemplo práctico en el caso del centro de servicios al ciudadano de Xiong'an, donde se exploran beneficios y desafíos, es decir, esta Industria promete una construcción más eficiente y conectada a medida que se superan los desafíos y se integran más tecnologías

#### 4. Conclusiones

Las tecnologías existentes en la Industria 4.0 permiten, en el sector construcción, una mejor gestión de proyectos, la optimización de procesos de construcción, bajos costos y eficiencia operativa para materiales de calidad. La automatización y el uso de sensores contribuyen a la seguridad en los lugares de construcción, reduciendo accidentes y minimizando riesgos para los trabajadores [12]. La tecnología de la industria 4.0 permite gestionar con mayor eficiencia recursos como la energía y el agua, contribuyendo a la sostenibilidad ambiental. La optimización de procesos reduce el desperdicio de materiales de construcción, lo que es beneficioso tanto para la economía como para el medio ambiente. [13]. Las tecnologías de la industria 4.0 facilitan la colaboración y la comunicación entre equipos de trabajo, lo que acelera la toma de decisiones y la ejecución de proyectos. La recopilación de datos en tiempo real y el análisis predictivo permiten una planificación más precisa y una asignación de recursos más eficiente [14]. Según Klaus Schwab [15], fundador del Foro Económico Mundial, en su libro "La Cuarta Revolución Industrial", la Industria 4.0 está impulsando una profunda transformación digital de las cadenas de fabricación y suministro para mejorar la eficiencia operativa. Autores como R. Wang y K. Xu [16] en su artículo "Cyber-Physical Attacks and Defenses in the Smart Grid: A Review" advierten sobre los desafíos de ciberseguridad que la Industria 4.0 plantea, ya que la interconexión de sistemas digitales aumenta la exposición a posibles ataques cibernéticos.

En un informe de investigación de PwC [17] titulado "Industry 4.0: Building the Digital Enterprise," se concluye que la implementación de la Industria 4.0 puede generar importantes beneficios económicos, como la disminución de costos de producción y el incremento de la productividad. "La seguridad cibernética es una preocupación fundamental en la Industria 4.0, ya que la interconexión de dispositivos y sistemas expone a las empresas a riesgos de ciberataques. La gestión de la seguridad debe ser una prioridad en la implementación de la Industria 4.0" (Majumdar & Marcus, 2017) [18]. La ciberfísica, la Internet de las Cosas (IoT), la inteligencia artificial y la fabricación aditiva son tecnologías clave que están impulsando la Industria 4.0. Estas tecnologías permiten una mayor automatización, conectividad y adaptabilidad en la cadena de producción (Lu et al., 2017). La Industria 4.0 traerá consigo una reconfiguración significativa de la fuerza laboral, con un énfasis en habilidades digitales y cognitivas" (World Economic Forum, 2018). El Foro Económico Mundial en su informe [19] "The Future of Jobs Report 2018" aborda cómo la automatización y la digitalización afectarán a los trabajadores y las habilidades requeridas. "La Industria 4.0 representa una transformación fundamental en la forma en que se diseñan, producen y gestionan los productos, impulsada por tecnologías digitales avanzadas. Esta revolución ofrece oportunidades significativas para mejorar la eficiencia, la personalización y la toma de decisiones en las empresas" (Kagermann

et al., 2019). [20]. “La Industria 4.0 traerá consigo una reconfiguración significativa de la fuerza laboral, con un énfasis en habilidades digitales y cognitivas” (World Economic Forum, 2018). Este mismo informe aborda cómo la automatización y la digitalización afectarán a los trabajadores y las habilidades requeridas. Estas conclusiones citadas ofrecen una visión general de la Industria 4.0, sus implicaciones y desafíos, aportando diferentes perspectivas de autores destacados en el campo. Ten en cuenta que la investigación y el debate sobre la Industria 4.0 continúan evolucionando a medida que avanza la tecnología y se acumulan más datos y evidencia empírica. En resumen, implementar en la Industria 4.0 en el sector construcción ofrece numerosas ventajas que van desde la eficiencia operativa hasta la seguridad y la sostenibilidad. Dichas ventajas posicionan a la Construcción 4.0 como un enfoque importante para el futuro de este sector.

## 5. Referencias bibliográficas

- [1] Macea Mercado, L., Morales, L., & Márquez Díaz, L. (2016). Un sistema de gestión de pavimentos basado en nuevas tecnologías para países en vía de desarrollo. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 17(2), 233-235. <https://doi.org/10.1016/j.riit.2016.06.007>
- [2] Muñoz -La Rivera, F., Hermosilla, P., Delgadillo, J., & Echevarrya, D. (2021). Propuesta de construcción de competencias de innovación en la formación de ingenieros en el contexto de la industria 4.0 y los objetivos de desarrollo sostenible (ODS). *Formación Universitaria*, 14(2), 75-84. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50062021000200075>
- [3] Anaya Díaz, J., Arias Orozco, S., & Arroyo Aguilar, C. (2020). Hábitat, vivienda y construcción 4.0 (F. J. González Madariaga, F. Córdova Canela, & J. F. Gómez Gómez, Eds.). Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de Arte, Arquitectura y Diseño.
- [4] Vieira Graglia, M., & Lazzareschi, N. (2018). A Indústria 4.0 e o Futuro do Trabalho: Tensões e Perspectivas. *Revista Brasileira De Sociologia - RBS. Revista Brasileira de Sociologia*, 6(14). <https://doi.org/10.20336/rbs.424>
- [5] Barbieri Ferrerira, M., & Neris Paulista, C. (2020). Uma avaliação dos impactos da Indústria 4.0 sobre o setor aeronáutico. *Revista Brasileira de Inovação*, 19, 1-31. <https://doi.org/10.20396/rbi.v19i0.8658722>
- [6] Oesterreich, T., & Teuteberg, F. (2016). Understanding the implications of digitisation and automation in the context of Industry 4.0: A triangulation approach and elements of a research agenda for the construction industry. *Computers in Industry*, 83, 121-139. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2016.09.006>
- [7] Safura Zabidin, N., & Belayuthan, S. (2020). A bibliometric and scientometric mapping of industry 4.0 in construction. *Journal of Information Technology in Construction*, 25, 287-307. <https://dx.doi.org/10.36680/j.itcon.2020.017>
- [8] Ibrahim, F., Esa, M., & Rahman, R. (2021). The Adoption of IOT in the Malaysian Construction Industry: Towards Construction 4.0. *International Journal of Sustainable Construction Engineering and Technology*, 12(1), 56-67. <https://doi.org/10.30880/ijscet.2021.12.01.006>
- [9] Sajjad, M., Hu, A., Waqar, A., Idris Falqi, I., Alsulamy, S., Bageis, A., & Mohammed, A. (2023). Evaluation of the Success of Industry 4.0 Digitalization Practices for Sustainable Construction Management: Chinese Construction Industry. *Buildings*, 13(7), 1668. <https://doi.org/10.3390/buildings13071668>
- [10] 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>
- [11] 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>
- [12] McKinsey&Company. (2016). Imagining construction’s digital future. Global Editorial Services. <https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/business%20functions/operations/our%20insights/imagining%20constructions%20digital%20future/imagining-constructions-digital-future.pdf>

- [13]Chen, B., Wan, J., Shu, L., Li, P., Murkherjee, M., & Yin, B. (2018). Smart Factory of Industry 4.0: Key Technologies, Application Case, and Challenges. *IEEE Access*, 6, 6505-6519,. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2783682>
- [14]Ding, K., Hui, J., Liu, Y., Zhu, B., Zhang, F., & Cao, W. (2018). Smart steel bridge construction enabled by BIM and Internet of Things in industry 4.0: A framework. *IEEE 15th International Conference on Networking*, 1-5. <https://doi.org/10.1109/ICNSC.2018.8361339>
- [15]Bilal, M., Oyedele, L., Qadir, J., Munir, K., Ajayi, S., Akinade, O., Owolabi, H., & Alaka, H. (2016). Big Data in the construction industry: A review of present status, opportunities, and future trends. *Advanced Engineering Informatics*, 30(3), 500-521. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2016.07.001>
- [16]Dallasega, P., Rauch, E., & Linder, C. (2018). Industry 4.0 as an enabler of proximity for construction supply chains: A systematic literature review. *Computers in Industry*, 99, 205-225. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.03.039>
- [17]Oesterreich, T., & Teuteberg, F. (2016). Understanding the implications of digitisation and automation in the context of Industry 4.0: A triangulation approach and elements of a research agenda for the construction industry. *Computers in Industry*, 83, 121-139. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2016.09.006>
- [18]Colombo, A., Karnouskos, S., Kaynak, O., Shi, Y., & Yin, S. (2017). Industrial Cyberphysical Systems: A Backbone of the Fourth Industrial Revolution. *ICPS*, 11(1). <https://doi.org/10.1109/MIE.2017.2648857>
- [19]Kajati, E., Papcun, P., Liu, C., Zhong, R., Koziorek, J., & Zolotova, I. (2019). Cloud based cyber-physical systems: Network evaluation study. *Advanced Engineering Informatics*, 42, 100988. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2019.100988>
- [20]Leitão, P., Colombo, A., & Karnouskos, S. (2016). Industrial automation based on cyber-physical systems technologies: Prototype implementations and challenges. *Computers in Industry*, 81, 11-25. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2015.08.004>

# 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

## IMPACT OF INDUSTRY 4.0 ON MATERIALS ENGINEERING: SYSTEMATIC REVIEW

Sindy Aracely Jara Alza<sup>1</sup>; Renato Masashiro Mostacero Komatsu<sup>1</sup>;  
Joaquin Way Chong Naveda Su<sup>1\*</sup>; Yaniret Kimberly Santiago Morán<sup>1</sup>;  
Henry Emanuel Solano Córdova<sup>1</sup>

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

\*Autor correspondiente: [t513500820@unitru.edu.pe](mailto:t513500820@unitru.edu.pe)

Fecha de recepción: 29.09.2023    Fecha de aceptación: 12.12.2023

ORCID de Autores:

S. A. Jara Alza	<a href="https://orcid.org/0000-0002-6720-7503">https://orcid.org/0000-0002-6720-7503</a>
R. M. Mostacero Komatsu	<a href="https://orcid.org/0009-0002-9898-1021">https://orcid.org/0009-0002-9898-1021</a>
J. W. C. Naveda Su	<a href="https://orcid.org/0009-0004-1244-8125">https://orcid.org/0009-0004-1244-8125</a>
Y. K. Santiago Morán	<a href="https://orcid.org/0009-0008-3524-460X">https://orcid.org/0009-0008-3524-460X</a>
H. E. Solano Córdova	<a href="https://orcid.org/0009-0006-6715-0777">https://orcid.org/0009-0006-6715-0777</a>

---

### ABSTRACT

Industry 4.0 has had a profound impact on Materials Engineering by introducing advanced technologies such as artificial intelligence, the Internet of Things and additive manufacturing. This shift has optimized manufacturing processes through automation and improved efficiency, allowing materials engineers to design more advanced products with specific properties. Computational simulation and precise modeling have led to the creation of customized materials, while the implementation of sensors has facilitated real-time monitoring and quality improvement. Supply chain management has been optimized, and additive manufacturing has revolutionized the production of complex and customized materials. In addition, Industry 4.0 has facilitated predictive maintenance, allowing intervention before problems occur. Together, these advances have transformed materials engineering, improving efficiency, customization, and quality of final products in various industries.

**Keywords:** Industry 4.0, additive manufacturing, internet of things, personalized materials.

---

---

# 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>

# 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

## BIG DATA IN RISK MANAGEMENT IN THE SUPPLY CHAIN: A SYSTEMATIC REVIEW

Bruno Samir Bocanegra Chistama<sup>1\*</sup>; Edwin Giancarlo Espinoza Cerdan<sup>1</sup>;  
Anthony Joel Palma Rojas<sup>1</sup>; Carlos Eduardo Pastor Chiques<sup>1</sup>

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

\*Autor correspondiente: [t013300220@unitru.edu.pe](mailto:t013300220@unitru.edu.pe)

Fecha de recepción: 29.09.2023    Fecha de aceptación: 12.12.2023

ORCID de Autores:

B. S. Bocanegra Chistama    <https://orcid.org/0000-0003-1463-8999>

E. G. Espinoza Cerdan    <https://orcid.org/0009-0001-6807-1046>

A. J. Palma Rojas    <https://orcid.org/0000-0002-9595-1217>

C. E. Pastor Chique    <https://orcid.org/0000-0001-9636-4375>

---

### ABSTRACT

This research article finds out the impact of applying big data concepts to supply chain management. The different types of risks that can affect the supply chain are identified and their impact on business operations is understood. Likewise, the techniques and tools available for the collection, processing and analysis of large volumes of data related to the supply chain are evaluated. The available means in which professionals can apply big data in the supply chain are determined, for the benefit of organizations dedicated to the production of different types of goods. Bases are established to start the investigation of the information, the keywords, the databases from which this information is going to be obtained; Likewise, the objectives, inclusion and exclusion criteria are provided, which make up the search strategy. In conclusion, this study shows a synthesis on the analysis of big data in risk management within the supply chain, emphasizing the impact of these concepts in the supply chain.

**Keywords:** big data, risks, mitigation, supply chain.

---

---

# **BIG DATA EN LA GESTIÓN DE RIESGOS EN LA CADENA DE SUMINISTRO: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA**

---

## **RESUMEN**

Este artículo de investigación averigua el impacto de la aplicación de los conceptos de big data para la gestión de cadena de suministro. Se identifican los diferentes tipos de riesgos que pueden afectar la cadena de suministro y comprender su impacto en las operaciones empresariales. Asimismo, se evalúan las técnicas y herramientas disponibles para la recopilación, manejo de extensas cantidades de información relacionados con la cadena de suministro. Se determinan los medios disponibles en los que los profesionales pueden aplicar big data en la cadena de suministro, para el beneficio de las organizaciones dedicadas a la producción de distintos tipos de bienes. Se establecen bases para iniciar la investigación de la información, las palabras clave, las bases de datos de las cuales se va a obtener esta información; así mismo, se brindan los objetivos, criterios de inclusión y exclusión, los cuales conforman la estrategia de búsqueda. En conclusión, este estudio muestra una síntesis sobre el análisis del big data en la gestión de riesgos dentro de la cadena de suministros, brindando un énfasis en el impacto de estos conceptos en la cadena de suministro.

**Palabras clave:** big data, riesgos, mitigación, cadena de suministro.

---

## 1. Introducción

La interconexión de las redes de abastecimiento y la creciente demanda de los usuarios, han impulsado a la sucesión de suministro a un nivel de complejidad cada vez más elevado. Esta complejidad implica un aumento en la exposición a peligros que pueden afectar significativamente la eficacia, la rentabilidad y la reputación de las entidades. En resumen, es esencial identificar y mitigar estos peligros de forma efectiva. La gran cantidad de datos generados en cada fase de la cadena de suministro nos ayuda a recopilar información valiosa para tomar decisiones informadas. Sin embargo, a pesar del creciente interés en el análisis de grandes volúmenes de información en la cadena de suministro, existe una necesidad de llevar a cabo una revisión sistemática que recoge y sintetiza las investigaciones existentes sobre este tema.

(Audisio 2021) El análisis de esta tecnología en la cadena de suministro puede ayudar a localizar y predecir patrones de peligro para planificar y gestionar de manera más efectiva los eventos negativos. Para las compañías que gestionan sus cadenas de suministro, reducir el peligro es una de sus principales prioridades. Algunas ventajas de la aplicación de estas tecnologías son la optimización de actividades y disminución de gastos, puesto que la colaboración entre distintos participantes en el proceso de abastecimiento produce una amplia gama de información de gran valor. La implementación del análisis de datos masivos ha mostrado ser ventajosa en diferentes aspectos, como potenciar la exactitud de las predicciones de requerimientos, así como disminuir los niveles de reserva de inventario. Otra ventaja es la evolución estratégica corporativa. El examen de datos masivos en el proceso de abastecimiento se ha transformado en una herramienta imprescindible en la organización y elección de acciones empresariales. Su utilización en el área de reuniones ha agilizado el progreso de tácticas, el intercambio de información y la formación de patrones pronosticadores. Por último, se tiene una experiencia superior para sus clientes. Cuando se emplea de manera eficiente, el análisis de datos masivos puede generar una mejora extraordinaria en la complacencia del cliente. Esto se debe a que permite a las compañías detectar las inclinaciones y áreas de enmienda de sus clientes, datos que a menudo resultan complicados de obtener directamente de los consumidores. Un ejemplo de esto es la capacidad de las empresas para analizar datos de plataformas sociales, información móvil y datos de navegación, con el propósito de comprender cómo sus clientes utilizan sus productos.

El propósito de este estudio es examinar la utilización de macrodatos en la gestión de peligros en el proceso de abastecimiento. De esta manera, se persigue reconocer las diversas clases de riesgos que pueden afectar el proceso de abastecimiento y comprender su repercusión en las actividades empresariales, evaluar las técnicas y herramientas disponibles para la recolección, procesamiento y análisis de grandes volúmenes de información vinculados con el proceso de abastecimiento, investigar cómo el análisis de macrodatos puede contribuir en la detección temprana de peligros y la toma de decisiones basada en información en el proceso de abastecimiento, y por último, proponer sugerencias prácticas para las compañías interesadas en implementar estrategias fundamentadas en datos masivos para la gestión de riesgos en su proceso de abastecimiento.

## 2. Metodología

En este trabajo se ha llevado a cabo una revisión sistemática de la literatura científica publicada en materia de la aplicación de big data en la cadena de suministro, específicamente en la mitigación de riesgos. Para su elaboración, se han seguido las directrices de la declaración PRISMA para la correcta realización de revisiones sistemáticas. A continuación, se detalla en la Tabla 1 los aspectos de elaboración en sus distintas fases.

**Tabla 1.** Aspectos de la metodología.

<b>Tipo de estudio</b>	Esta investigación es realizada bajo la metodología PRISMA. De este modo, se analizan diversos artículos científicos que fueron publicados en revistas de investigación especializadas sobre el presente tema de investigación.
<b>Fundamentación de la metodología</b>	Se utiliza la metodología PRISMA debido a que esta establece una estructura clara y detallada que incluye pasos como la identificación de la literatura, la selección de los estudios relevantes y su síntesis, permitiendo así una evaluación rigurosa y objetiva de la evidencia disponible.
<b>Estrategia de búsqueda y búsqueda sistemática</b>	Identificación de los conceptos clave: <ul style="list-style-type: none"> <li>● Big data</li> <li>● Riesgos</li> <li>● Mitigación</li> <li>● Cadena de suministro</li> </ul> <p>Términos utilizados para la realización de búsqueda son: ("big data" OR "datos masivos" OR "analytics") AND ("risk" OR "risks" OR "risk management" OR "risk mitigation") AND ("supply chain" OR "value chain" OR "logistics" OR "procurement")</p>
<b>Bases de datos seleccionadas</b>	Scopus, Scielo, Dialnet, Google Académico.
<b>Criterios de inclusión</b>	<p><b>Tipo de investigación:</b> Se solicitan investigaciones empíricas (experimentales, observacionales), revisiones sistemáticas, metaanálisis y otros tipos de estudios que aporten pruebas relacionadas con el tema de investigación.</p> <p><b>Lenguaje:</b> Se considerarán estudios publicados en cualquier idioma, siempre y cuando haya recursos disponibles para su traducción y comprensión.</p> <p><b>Período de publicación:</b> Desde el año 2018 hasta la fecha de la búsqueda.</p> <p><b>Disponibilidad:</b> Se buscan estudios disponibles en revistas científicas, conferencias, actas de congresos, tesis académicas, informes técnicos y otros recursos académicos accesibles.</p>
<b>Criterios de exclusión</b>	<p><b>Categoría de investigación:</b> Se descartan estudios que no proporcionen datos o información pertinente, como editoriales, opiniones de expertos o investigaciones que carezcan de base empírica.</p> <p><b>Deficiencia en la calidad:</b> Se excluyen investigaciones de calidad metodológica baja o que no cumplan con los estándares científicos exigidos.</p> <p><b>Replicación de datos:</b> Se excluyen investigaciones duplicadas o aquellas que compartan la misma muestra o conjunto de datos.</p> <p><b>Fuentes poco confiables:</b> Se excluyen investigaciones provenientes de fuentes no confiables o que no hayan sido sometidas a revisión por expertos, como sitios web no académicos o blogs no científicos.</p>

### **Búsqueda inicial.**

En junio de 2023, se llevaron a cabo las primeras investigaciones que consisten en combinar sustantivos como 'big data', 'cadena de suministro' y 'mitigación de riesgos', tanto en español como en inglés. Se consultaron bases de datos como Scopus, SciELO, Dialnet y Google Académico. Luego, se amplió la búsqueda con una combinación de los sustantivos 'datos masivos', 'procurement', 'value chain', 'logistics', 'analytics', 'big data', 'risk data', 'supply', 'supply chain management' y 'risk mitigation', utilizando los operadores booleanos AND y OR según fuera necesario. Estas búsquedas proporcionaron una visión global de la amplitud del tema.



### Búsqueda sistemática.

La mejor combinación fue la siguiente: ("big data" OR "datos masivos" OR "analytics") AND ("risk" OR "risks" OR "risk management" OR "risk mitigation") AND ("supply chain" OR "value chain" OR "logistics" OR "procurement"). La Tabla 2 muestra el número total de los estudios encontrados, incluyendo tanto los incluidos como los excluidos de acuerdo a los criterios establecidos.

**Tabla 2.** Número de artículos encontrados por base de datos.

Base de datos	Número de artículos encontrados
Scopus	10
SCiElo	14
Redalyc	8
Google Académico	37
<b>Total</b>	<b>69</b>

### 3. Resultados y Discusión

Después de haber recolectado el total de 69 artículos referentes al tema, se procedió a elegir 19 de dicho total, tal como se muestra en la Figura 1, esta selección se dio de acuerdo a los términos de inclusión y exclusión donde se establecen las bases para realizar la filtración de las temáticas del tema, y rescatar únicamente las que se relacionan fuertemente con la presente revisión sistemática, Tabla 3, se presenta la lista de los 19 artículos que fueron seleccionados para su correspondiente análisis.

**Tabla 3.** Artículos seleccionados para la revisión sistemática.

Nº	Autor (es)	Aportes
1	Clavijo, A.	Ofrece una evaluación de las tácticas que han sido aplicadas en distintas organizaciones especializadas en la fabricación, con el propósito de disminuir y eludir los peligros en situaciones imprevistas.
2	Rosado, D. et al.	Se propone una nueva solución basada en la metodología de gestión de información MARISMA, llamada MARISMA-BiDa, la cual es un patrón para encontrar minuciosamente los riesgos encontrados en modelos productivos que aplican Big Data.
3	Paredes, A. et al.	Proporciona una evaluación de las técnicas de producción magra utilizadas para reducir los peligros en el flujo de producción de una empresa en específico.
4	Zamudio, O., et al.	La sugerencia de un esquema de administración global de peligros en el flujo de abastecimiento que asista a las empresas a encarar los obstáculos y a adoptar elecciones bien fundamentadas y meditadas para incrementar su capacidad competitiva.
5	Nguyena, T., et al.	Proporcionar una visión completa y actualizada de cómo se ha aplicado el big data en la gestión de la cadena de suministro, identificando áreas de investigación clave y destacando las brechas que requieren atención en futuras investigaciones.

6	Bernabeu-Martínez et al.	Describir el método del análisis para ejecutar el manejo de los fármacos riesgosos asegurando la calidad y supervisión a través de la valoración de peligros, generando y presentando una aplicación computarizada que, mediante el empleo de estrategias de macrodatos, simplifique la comprensión y vigilancia del sistema total de forma constante y dinámica.
7	Queiroz, M., et al.	Suministra datos significativos a los encargados de la toma de elecciones que están evaluando iniciativas de macrodatos en el proceso de abastecimiento. Además, ayuda a solventar la falta de investigación en el campo de los macrodatos en el contexto brasileño, brindando una visión particular sobre los elementos que afectan la adopción de macrodatos en este entorno.
8	Casazza, A.	Planteamiento de una solución basada en el análisis de grandes volúmenes de datos, que habilite a los agricultores a implementar una administración ecológica de los desechos, aportando de esta forma a la reducción de los efectos del calentamiento global.
9	Rodríguez, R. et al.	El estudio sugiere que la incorporación de modelos predictivos basados en Big Data puede prevenir fallas en la toma de decisiones y proyectar resultados, aunque a corto plazo puede haber desafíos en términos de costos de aprendizaje y capacitación.
10	Delfino, C., et al.	Enfoque global que posibilita el aprovechamiento de las capacidades del examen de Macrodatos con el fin de incrementar el rendimiento económico de las organizaciones. El enfoque múltiple metodológico propuesto contribuye a reconocer variables esenciales, elaborar estrategias flexibles y valorar su repercusión en los indicadores económicos fundamentales.
11	Cárdenes, J.	Un panorama general, casos prácticos y conclusiones pertinentes acerca del uso de Macrodatos e Inteligencia Artificial en la logística y el transporte, resaltando su capacidad para mejorar y optimizar los procedimientos empresariales en esta área.
12	Araque, G., et al.	Proporciona una visión general de los desafíos, oportunidades y tendencias futuras relacionadas con el uso del Big Data en la cuarta revolución industrial.
13	Martínez, M.	Ofrece una perspectiva detallada sobre cómo las tecnologías de la Industria 4.0 están impactando la cadena de suministro, brindando a las empresas la oportunidad de mejorar su flexibilidad, reducir costos y lograr una mayor sostenibilidad.
14	Zambrano, C.	Proporciona una revisión de las TIC en la cadena de suministro, destacando los beneficios que ofrecen en términos de eficiencia y optimización, así como los desafíos asociados a su implementación. También resalta la necesidad de investigaciones empíricas más profundas en relación con las tecnologías emergentes en este campo.
15	Munafo, F.	Destaca la importancia del big data y su impacto en la gestión del riesgo de crédito en las instituciones financieras. Proporciona una perspectiva sobre cómo la gestión de datos y el análisis de grandes volúmenes de información han transformado la forma en que se entiende y se aborda el riesgo de crédito en el sector financiero.
16	Ramírez, A.	Se investiga cómo se puede guiar en la dirección estratégica y prospectiva de sus operaciones hacia el éxito y el logro de sus objetivos mediante el uso adecuado de herramientas de análisis de datos.
17	Kalbouneha, N., et al.	Este estudio aporta pruebas de que la incorporación de tecnología blockchain y la utilización de análisis de grandes conjuntos de datos pueden tener un impacto positivo en el funcionamiento de la cadena de suministro en el ámbito de las industrias químicas y cosméticas de Jordania. Además, se encontró que estos resultados son el resultado de una gestión adecuada de riesgos en la cadena de suministro.

18	Engelseth, P., et al.	El objetivo principal de esta investigación es ampliar nuestra comprensión sobre cómo el big data puede ser estratégicamente empleado en el manejo de riesgos en cadenas de suministro largas y complejas.
19	De-Yi, D.	El enfoque práctico del artículo radica en proporcionar sugerencias y soluciones concretas para aprovechar eficazmente la tecnología de Big Data en la gestión de la cadena de suministro. Los resultados y conclusiones obtenidos serían extremadamente útiles para aquellas empresas que desean incorporar el uso de Big Data en sus operaciones logísticas. Esto les permitiría mejorar la eficiencia, mitigar riesgos y aumentar la rentabilidad de sus procesos de producción.

Los artículos estudiados muestran diversos enfoques para la gestión de riesgos en la cadena de suministro utilizando herramientas de Big Data. Clavijo A. [1] propone modelos cuantitativos, como la programación estocástica y la optimización robusta con Big Data para analizar situaciones disruptivas, aunque requieren conocimiento previo de los riesgos. Mientras Rosado, D. et al. [2] define un patrón específico (MARISMA-BiDa) para facilitar el análisis de riesgos en entornos Big Data, demostrando su aplicación en un caso de estudio.

Por su parte, Paredes, A. et al. [3] utiliza mapeo de procesos y priorización de riesgos para proponer estrategias de mitigación con herramientas esbeltas en una cadena agroalimentaria. La investigación de Zamudio, O., et al. [4] identifica procesos de gestión de riesgos en modelos de negocio, resaltando la importancia de una adecuada gestión para mitigar impactos. También, Nguyena, T., et al. [5] analiza el estado del arte sobre aplicación de Big Data analytics en la cadena de suministro, revelando focos de investigación.

Los autores Bernabeu-Martínez et al. [6], Ramírez, A. [16] y Engelseth, P., et al. [18], coinciden en que el Big Data puede facilitar la toma de decisiones, al permitir un mejor conocimiento del mercado, la competencia y los riesgos específicos en cadenas de suministro complejas. Estos artículos resaltan el potencial del Big Data para apoyar la gestión de riesgos a través de la toma de decisiones informadas en la cadena de suministro. Por otro lado, Kalbouneha, N., et al. [17] y De-Yi, D. [19], se enfocan directamente en modelos y estrategias para la gestión de riesgos en la cadena de suministro basadas en el uso de Big Data y blockchain. Sus resultados soportan la aplicación de estas tecnologías para mejorar el rendimiento y mitigar riesgos en la cadena de suministro.

Tenemos dos autores que analizan la adopción e impacto de Big Data en la gestión y toma de decisiones de la cadena de suministro. Queiroz, M., et al. [7] presenta un modelo para predecir la adopción de Big Data en gestión de de cadena de suministro en Brasil, encontrando que la infraestructura TI tiene gran influencia. Por otro lado, Rodríguez, R. et al. [9] concluye que Big Data mejora la toma de decisiones en la cadena de suministro de aceite de palma, aunque su adopción enfrenta limitantes.

Otros autores estudian aplicaciones de Big Data en áreas específicas de la cadena de suministros. Delfino, C., et al. [10] plantea combinar herramientas de Big Data analytics con análisis prospectivo, de riesgo y estratégico para mejorar el desempeño financiero de empresas. Cárdenes, J. [11] analiza la aplicación de Big Data e Inteligencia Artificial en logística y transporte, optimizando procesos y destacando la automatización y rutas logísticas. Y Araque, G., et al. [12] presenta una revisión donde Big Data tiene implicaciones en la 4ta revolución industrial, con oportunidades en sectores como salud, financiero y logística.

El artículo [13] presenta un trabajo de fin de grado, donde se analiza, en profundidad, el impacto de la industria 4.0, en la evolución y automatización de la cadena de suministro. Dedicar una sección completa a explicar la tecnología de Big Data y cómo permite a las empresas obtener grandes volúmenes de datos sobre sus operaciones para mejorar la toma de decisiones mediante análisis avanzado. También destaca otras tecnologías como robótica colaborativa e IoT, que en conjunto con Big Data, aumentan la eficiencia de la cadena de suministro, reducen costo y tiempos de entrega.

Por su parte, el artículo [14] consiste en una revisión bibliográfica sobre el uso de TIC en la cadena de suministro. Identifica tecnologías específicas para cada proceso, resaltando los beneficios del Big Data y machine learning para optimizar inventarios y predecir demanda.

Ambos trabajos ([13] y [14]) proveen evidencia sobre el impacto positivo de estas tecnologías para transformar la cadena de suministro hacia un modelo 4.0 más eficiente, ágil y orientado al cliente. Se requiere más investigación sobre sus aplicaciones específicas, pero queda claro su potencial para mejorar la competitividad empresarial.

Munafo, F. [15] presenta un análisis de cómo el big data y las técnicas de minería de textos pueden mejorar los modelos de evaluación de riesgo crediticio en las instituciones financieras. Se argumenta que incorporar información cualitativa de fuentes como redes sociales puede complementar los datos cuantitativos tradicionales y dar una visión más completa del riesgo de crédito. Sin embargo, también reconoce los desafíos que implica analizar y extraer información relevante de grandes volúmenes de texto no estructurado.

#### 4. Conclusiones

Los documentos examinados revelaron distintos enfoques para tratar la gestión de riesgos en la cadena de suministro mediante la utilización de herramientas de Big Data. Algunos autores sugirieron la utilización de modelos numéricos, como la programación estocástica y la optimización sólida, que empleaban Big Data para analizar situaciones disruptivas y reducir riesgos en la cadena de suministro. La investigación destacó la importancia de una gestión adecuada de riesgos en modelos de negocios para reducir impactos y mejorar el rendimiento de la cadena de suministro.

Diversos artículos coincidieron en que el Big Data podría simplificar la toma de decisiones en la cadena de suministro, al proveer un mayor conocimiento del mercado, la competencia y los riesgos específicos en cadenas complejas. Algunos estudios se enfocaron en modelos y estrategias basadas en el uso de Big Data y blockchain para mejorar el rendimiento y reducir riesgos en la cadena de suministro.

Los estudios exploraron aplicaciones específicas de Big Data en áreas como el análisis prospectivo, financiero, logístico y transporte, mostrando el potencial para mejorar el rendimiento y optimizar procesos. Varios trabajos resaltan el efecto positivo de tecnologías como Big Data, machine learning, robótica colaborativa e IoT para transformar la cadena de suministro hacia un modelo 4.0 más eficiente y centrado en el cliente.

#### 5. Referencias bibliográficas

- [1] Clavijo A., 2022. Identificación y análisis del riesgo para cadenas de suministro en eventos disruptivos. En: (Google académico) Repositorio Unimilitar. Disponible en: <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/43681/ClavijoFlorezAndresFelipe2022.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [2] Rosado D., Sánchez L., Santos A., Serrano M., Medina E., 2020. MARISMA-BiDa: Gestión y Control del riesgo en Big Data. Caso de Estudio. En: (Google Académico) Editorial Urosario. Recuperado de: [https://editorial.urosario.edu.co/pub/media/hipertexto/rosario/anexos/proyecto-cibsi/03\\_F21\\_ok.pdf](https://editorial.urosario.edu.co/pub/media/hipertexto/rosario/anexos/proyecto-cibsi/03_F21_ok.pdf)
- [3] Paredes A., Chud B., Peña C., 2022. Gestión de riesgos operacionales en cadenas de suministro agroalimentarias bajo un enfoque de manufactura esbelta. En SCiELO. Recuperado de: <https://www.scielo.cl/pdf/infotec/v33n1/0718-0764-infotec-33-01-245.pdf>
- [4] Zamudio, O. Izquierdo, A., 2020. Modelo de gestión de riesgo de la cadena de suministro como elemento diferenciador. En: (Google Académico) Revistas UPC. Recuperado de: <https://revistas.upc.edu.pe/index.php/rgm/article/view/1487/1192>

- [5] Nguyena, T., Zhoua, L., Spiegler, V., Leromonachoua, P., Lina, Y., 2018. Big data analytics in supply chain management: A state-of-the-art literature review. En: Scopus. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.cor.2017.07.004>
- [6] Bernabeu - Martínez, María, García - Salom, Pedro, Burgos - San José, Amparo, Álvarez - Saucedo, Luis M, Wanden - Berghe, Carmina, Sanz - Valero, Javier., 2021. Análisis de riesgos mediante modelos big data del uso de medicamentos peligrosos en Unidades de Hospitalización a Domicilio: protocolo de estudio. En: Farmacia Hospitalaria, 45(5), 282-286. Epub 16 de enero de 2023. En: Scielo. Recuperado de: <https://scielo.isciii.es/pdf/fh/v45n5/1130-6343-fh-45-05-282.pdf>
- [7] Queiroz, M. Farias, S., 2019. Intention to adopt big data in supply chain management: a brazilian perspective. En: Scielo. Repositorio científico. Recuperado de: <https://doi.org/10.1590/S0034-759020190605>
- [8] Casazza A., 2020. Identificando con Big Data, factores para mitigar el cambio climático por gestión sustentable de residuos ganaderos. En: (Google Académico) Repositorio UAM. Recuperado de: <https://repositorio.xoc.uam.mx/jspui/handle/123456789/22686>
- [9] Rodríguez, R., Mercado, M., Escobar, M., 2020. Big data y cadena de suministros: un binomio complejo para américa latina. En: (Google Académico) Revista UDES. Recuperado de: [https://revistas.udes.edu.co/aibi/article/view/big\\_data\\_y\\_cadenas\\_de\\_suministros\\_un\\_binomio\\_complejo\\_para\\_ameri](https://revistas.udes.edu.co/aibi/article/view/big_data_y_cadenas_de_suministros_un_binomio_complejo_para_ameri)
- [10] Delfino, C., Lastarria, L., 2020. How can Big Data contribute to improve the financial performance of companies?. En: Scielo. Recuperado de: [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1665-53462020000500589](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-53462020000500589) DOI: <https://doi.org/10.21919/remef.v15i0.548>
- [11] Cárdenes J., 2022. La aplicación de Big Data e Inteligencia Artificial en logística y transporte para la optimización de procesos en empresas. En: (Google Académico) Repositorio Comillas. Recuperado de: <https://repositorio.comillas.edu/xmlui/bitstream/handle/11531/56434/TFG%20-%20Cardenes%20Doctor%2C%20Javier.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- [12] Araque, G., Gómez, M., Vélez, J., Suárez, A., 2021. Big Data y las implicaciones en la cuarta revolución industrial - Retos, oportunidades y tendencias futuras. En: Redalyc. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=29066223003>
- [13] Martínez M., 2021. Aplicación de la industria 4.0 en la cadena de suministro. En: (Google Académico) Repositorio UJAEN. Recuperado de: <https://crea.ujaen.es/bitstream/10953.1/16160/1/Aplicaci%C3%B3n%20de%20la%20industria%204.0%20en%20la%20cadena%20de%20suministro%20-%20Mar%C3%ADa%20Mart%C3%ADnez%20Garc%C3%ADa.pdf>
- [14] Zambrano C., 2020. Beneficios y desafíos del uso de las TIC en la cadena de suministro. En: (Google Académico) Revista RITI. Recuperado de: <https://doi.org/10.36825/RITI.08.15.012>
- [15] Munafó F., 2019. La importancia de la gestión de datos y su impacto en el riesgo de crédito de instituciones financieras. En: (Google Académico) Biblioteca Digital ECON. Recuperado de: [http://bibliotecadigital.econ.uba.ar/download/rimf/rimf\\_v8\\_n2\\_03.pdf](http://bibliotecadigital.econ.uba.ar/download/rimf/rimf_v8_n2_03.pdf)
- [16] Ramírez, A. 2023. Big Data como piedra angular en la toma de decisiones gerenciales en la cadena de suministro. En: Google Académico (UNIMILITAR). Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10654/44911>
- [17] Kalbouneha N , Batainehb K, Al - Salam Abd , Kamel Al Dwakatd M, Abualoushb S, Almasarwehe M, Walid R. 2023. The effects of the blockchain technology and big data analytics on supply chain performance: The mediating effect supply chain risk management. En: Scopus - Growing Science. DOI: 10.5267/j.uscm.2023.5.008. Disponible en: [https://www.growingscience.com/uscm/Vol11/uscm\\_2023\\_90.pdf](https://www.growingscience.com/uscm/Vol11/uscm_2023_90.pdf)
- [18] Engelseth P., Wang h., 2018. Big data and connectivity in long-linked supply chains. En: Scopus (ResearchGate). DOI: 10.1108/JBIM-07-2017-0168. Disponible en:

- [https://www.researchgate.net/publication/328491050\\_Big\\_data\\_and\\_connectivity\\_in\\_long-linked\\_supply\\_chains](https://www.researchgate.net/publication/328491050_Big_data_and_connectivity_in_long-linked_supply_chains)
- [19] De - Yi. D., 2019. Collaborative Control of Supply Chain Risk in Big Data Environment. En: (Google académico) Atlantis Press. Recuperado de: <https://www.atlantispress.com/article/125934494.pdf>
- [20] Audisio F., 2021. Big data: 3 beneficios de su uso en la cadena de suministro. En: BorealTech. Recuperado de: <https://borealtech.com/big-data-3-beneficios-de-su-uso-cadena-de-suministro/#:~:text=Se%20ha%20demostrado%20que%20el,en%20la%20cadena%20de%20suministro>
- [21] Parada P., 2020. Cómo el big data ha revolucionado la cadena logística. En: IEBSCHOOL. Recuperado de: <https://www.iebschool.com/blog/big-data-en-logistica-big-data/>



# UNT

ESCUELA DE INGENIERÍA  
INDUSTRIAL



## INCADSU

INVESTIGADORES DE CADENAS  
DE SUMINISTROS 4.0

Correo de Revista: [goi4.0@unitru.edu.pe](mailto:goi4.0@unitru.edu.pe)  
**Plataforma de Vigilancia Tecnológica**

Correo electrónico: [vgtindustrial@unitru.edu.pe](mailto:vgtindustrial@unitru.edu.pe)  
Sitio web: <https://vtindustrial.unitru.edu.pe>