

Alejandro J. Useche
Fernando Juárez
Álvaro Ramírez Restrepo
EDITORES ACADÉMICOS

TECNOLOGÍAS DE LA CUARTA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL

Y SU APLICACIÓN EN LA
ARMADA NACIONAL DE COLOMBIA



Universidad del
Rosario

Tecnologías de la cuarta revolución
industrial y su aplicación en la Armada
Nacional de Colombia

Tecnologías de la cuarta revolución industrial y su aplicación en la Armada Nacional de Colombia

Resumen

Este libro es un aporte a la comprensión de los fenómenos propios de la revolución 4.0 en la Armada Nacional, su uso, su impacto, sus retos y sus potencialidades. Los autores, miembros de la Reserva, académicos y profesionales de diferentes áreas del conocimiento, describen de manera sencilla y rigurosa campos como la inteligencia artificial, la robótica, el blockchain, la realidad virtual, la nanotecnología, la computación en la nube, la biotecnología y el big data, entre otros, convirtiendo esta compilación en una obra de interés no solamente para un público especializado en asuntos tecnológicos o en el campo militar, sino para todo lector que desee comprender los aspectos más destacados de dichas tecnologías y sus diferentes aplicaciones en un campo específico como el de la Armada Nacional.

Palabras clave: innovaciones tecnológicas, tecnología y civilización, modernización de las Fuerzas Militares, modernización de la Armada Nacional, Colombia.

Technologies of the fourth industrial revolution and their application in the Colombian National Navy

Abstract

This book contributes to a better understanding of the phenomena of the 4.0 revolution in the National Navy, its use, impact, challenges, and potential. The authors—members of the Reserve, academics, and professionals from different areas of knowledge—use a simple but rigorous way to describe topics such as artificial intelligence, robotics, blockchain, virtual reality, nanotechnology, cloud computing, biotechnology, and big data, among others, making this compilation a work of interest not just to a specialized audience in technological matters or the military field, but for any reader who wishes to understand the most prominent aspects of these technologies and their different applications in a specific field, such as the National Navy.

Keywords: technological innovations, technology and civilization, modernization of the Armed Forces, modernization of the National Navy, Colombia.

Citación sugerida / Suggested citation

Useche, A. J., Juárez, F., & Ramírez Restrepo, Á. (eds.) (2022). *Tecnologías de la cuarta revolución industrial y su aplicación en la Armada Nacional de*

Colombia. Editorial Universidad del Rosario.
<https://doi.org/10.12804/urosario9789587848786>

Tecnologías de la cuarta revolución industrial y su aplicación en la Armada Nacional de Colombia

Alejandro J. Useche
Fernando Juárez
Álvaro Ramírez Restrepo
-Editores académicos-

Tecnologías de la cuarta revolución industrial y su aplicación en la Armada Nacional de Colombia / Alejandro J. Useche, Fernando Juárez, Álvaro Ramírez Restrepo, editores académicos; presentación Alejandro Cheyne García. – Bogotá: Editorial Universidad del Rosario, 2022.

xvi, 255 páginas.

Incluye referencias bibliográficas.

1. Innovaciones tecnológicas - Aspectos sociales. 2. Tecnología y civilización. 3. Colombia. Fuerzas Militares - Innovaciones tecnológicas. 4. Colombia - Armada Nacional - Modernización. I. Useche, Alejandro J. II Juárez, Fernando. III. Ramírez Restrepo, Álvaro. IV. Cheyne García, Alejandro V. Universidad del Rosario. VI. Título.

338.0

64 SCDD 20

Catalogación en la fuente - Universidad del Rosario. CRAI

DJGR

Enero 24 de 2022

Hecho el depósito legal que marca el Decreto 460 de 1995



Universidad del
Rosario

© Editorial Universidad del Rosario
© Universidad del Rosario
© Varios autores
© Alejandro Cheyne García, por la Presentación
© Javier Ignacio Restrepo Giraldo, por el Prólogo

Editorial Universidad del Rosario
Carrera 7 N° 12B-41, oficina 501
Teléfono: 601 297 02 00, ext.: 3113
<https://editorial.urosario.edu.co>

Primera edición: Bogotá, D. C., 2022

ISBN: 978-958-784-876-2 (impreso)
ISBN: 978-958-784-877-9 (ePub)
ISBN: 978-958-784-878-6 (pdf)
<https://doi.org/10.12804/urosario9789587848786>

Corrección de estilo: Luz Ángela Uscategui
Diseño de cubierta: Luz Arango y Cesar Yepes
Diagramación y desarrollo de ePub: Precolombi EU-David Reyes

Hecho en Colombia
Made in Colombia

Las opiniones contenidas en el presente documento son responsabilidad exclusiva de sus autores y no comprometen a la Reserva Naval de Colombia ni a las instituciones con las que tienen filiación.

El contenido de este libro fue sometido al proceso de evaluación de pares, para garantizar los altos estándares académicos. Para conocer las políticas completas visitar: editorial.urosario.edu.co

Todos los derechos reservados. Esta obra no puede ser reproducida sin el permiso previo escrito de la Editorial de la Universidad del Rosario.

Contenido

Agradecimientos

Presentación. Universidad del Rosario

Alejandro Cheyne García

Referencias

Prólogo. Reserva Naval de Colombia

Javier Ignacio Restrepo Giraldo

Capítulo 1. La cuarta revolución industrial: conceptos y principales tecnologías

Alvaro Ramírez Restrepo

Introducción

1. Conceptualización y características de la cuarta revolución industrial

2. Principales tecnologías de la cuarta revolución industrial

2.1. Tecnologías físicas

2.2. Tecnologías digitales

2.3. Tecnologías biológicas

2.4. Comentarios sobre las tecnologías físicas, digitales y biológicas

Conclusiones

Referencias

Capítulo 2. Big data a bordo: gobernanza y seguridad para el marino en Colombia

Carlos Vitaliano Sánchez Beltrán

Introducción

1. El contraste entre la vida del marino y el auge del *big data*

1.1. Los riesgos tradicionales y el tráfico marítimo

1.2. El crimen transnacional organizado y los ámbitos marítimos

2. Retos modernos de la vida en el mar

2.1. Cambio climático, contaminación y agotamiento

2.2. Tecnología y ecosistema de navegación

3. Retos estatales en los espacios marítimos colombianos

3.1. Actividades marineras y competencias

institucionales: de la total autonomía a la regulación en la incertidumbre

3.2. Competencia y cooperación internacional: más allá de la competitividad

4. Aplicaciones marineras del *big data* y cooperación de doble vía

4.1. La georreferenciación de la vida marinera y del estado del mar: la inteligencia artificial en el ambiente

4.2. Confiabilidad en la información remota sin renunciar a las destrezas tradicionales

Conclusiones

Referencias

Capítulo 3. Biomimética

Julio César Turbay Noguera

Introducción

1. Definición de biomimética

2. Innovación, diseños y materiales de la industria marítima, naval, militar y civil

2.1. Biomimética y blindaje corporal

2.2. La imitación de los tiburones

2.3. La imitación de las ballenas

3. Biomimética colombiana

[4. Innovación organizacional biomimética](#)
[Conclusiones](#)
[Referencias](#)

Capítulo 4. La inteligencia artificial en la transformación de la Armada de la República de Colombia para el Plan Estratégico 2030

Carlos A. Castañeda-Marroquín
Chris Blask

[Introducción](#)

- [1. La Armada de la República de Colombia y el Plan Estratégico 2030](#)
- [2. Inteligencia artificial](#)
- [3. Inteligencia artificial en el campo militar](#)
- [4. Desafíos de la tecnología de inteligencia artificial](#)
- [5. Aplicaciones de la inteligencia artificial en la Armada de la República de Colombia](#)
 - [5.1. Diseño de naves](#)
 - [5.2. Operaciones y ambiente](#)
 - [5.3. Supervivencia](#)
 - [5.4. Eficiencia de la operación](#)
 - [5.5. Seguridad cibernética](#)
 - [5.6. Capacidades ofensivas y defensivas](#)

[Conclusiones](#)
[Referencias](#)

Capítulo 5. Nanomateriales y gemelo digital: tecnologías de la cuarta revolución industrial y su impacto en la Armada de Colombia

José María Riola Rodríguez
Miguel Andrés Garnica López

[Introducción](#)

- [1. Nanotecnología y defensa](#)
- [2. La importancia del grafeno](#)
- [3. La nanocelulosa](#)
- [4. El gemelo digital](#)

[Conclusiones](#)

[Referencias](#)

Capítulo 6. La realidad virtual y su aplicación al campo militar

Patricia Helena Fierro Vitola

[Introducción](#)

- [1. Diferencias entre la realidad virtual y la realidad aumentada](#)
- [2. Utilidad de la realidad aumentada y la realidad virtual](#)
- [3. Factores que intervienen en una experiencia de realidad virtual](#)
- [4. Dispositivos de realidad virtual](#)
 - [4.1. Gafas de VR que dependen de la computación](#)
 - [4.2. Trajes hápticos](#)
 - [4.3. Plataformas de desarrollo de realidad virtual](#)
- [5. Aplicaciones industriales de las soluciones de realidad virtual](#)
- [6. La realidad virtual en el campo militar](#)
 - [6.1. VR para experiencias situacionales](#)
 - [6.2. La realidad virtual para simulación de navegación](#)
 - [6.3. La realidad virtual y la terapia posconflicto](#)
 - [6.4. La realidad virtual para el entrenamiento médico](#)
- [7. Tendencias de investigación en realidad virtual](#)

[Conclusiones](#)

[Referencias](#)

Capítulo 7. Computación en la nube

Jorge Ernesto Martín Pulido

[Introducción](#)

- [1. Definición de computación en la nube](#)
- [2. Hitos importantes en la historia](#)
- [3. Los habilitadores de la nube](#)
 - [3.1. La virtualización](#)
 - [3.2. El costo de red](#)
 - [3.3. Autoservicio](#)

- [3.4. Capacidad de medir los consumos por demanda](#)
- [4. Retomando la definición de nube](#)
- [5. Modelos de servicios en la nube](#)
- [6. Modelos de despliegue de la nube](#)
 - [6.1. Nube pública](#)
 - [6.2. Nube privada](#)
 - [6.3. Nube comunitaria](#)
 - [6.4. Nube híbrida](#)
- [7. Ventajas y desventajas de cada modelo](#)
 - [7.1. Nube pública](#)
 - [7.2. Nube privada](#)
 - [7.3. Nube comunitaria](#)
 - [7.4. Nube híbrida](#)
- [8. Servicios y proveedores reconocidos en el tema](#)
- [9. Estado actual](#)
- [10. Aplicación en la Armada de la República de Colombia](#)
- [Conclusiones](#)
- [Referencias](#)

Capítulo 8. Redes neuronales artificiales: el aprendizaje de las máquinas

Luis Alberto Zapata Garrido

Introducción

- [1. Redes neuronales artificiales: el aprendizaje de las máquinas](#)
- [2. Inteligencia artificial](#)
- [3. Redes neuronales artificiales](#)
- [4. Aprendizaje de las máquinas](#)
- [5. Aplicaciones en la Armada de la República de Colombia](#)
 - [5.1. Nivel operativo](#)
 - [5.2. Nivel táctico y logístico](#)
 - [5.3. Nivel estratégico](#)
 - [5.4. Ciberespacio](#)
- [6. Regulación](#)
- [7. Casos militares](#)
- [Conclusiones](#)

Referencias

Capítulo 9. Territorios inteligentes

Jairo Enrique Martínez Garcés

Victoria Eugenia Ospina Becerra

Andrea Ceballos Zuluaga

Introducción

Conceptualización

1. Descripción de la tecnología

2. Autores y centros reconocidos en la temática

3. Aplicaciones y territorios inteligentes

4. Ventajas y barreras

5. Impacto sobre la Armada de la República de Colombia

Conclusiones

Referencias

Capítulo 10. Blockchain: conceptos y aplicaciones

Daniel Andrés Penagos Bonilla

Introducción a blockchain

1. El concepto de modelo descentralizado y distribuido

2. Avances tecnológicos para blockchain

3. Blockchain pública y privada

4. Aplicaciones de blockchain y beneficios de su uso para la Armada de la República de Colombia

Conclusiones

Referencias

Capítulo 11. Las nuevas capacidades adecuadas para la transformación digital

Juan Pablo Estrada Villarreal

Introducción

1. Capacidad de administración y liderazgo en el nuevo entorno 4.0

2. Pensamiento analítico y crítico

3. Orientación a resultados

4. Creatividad

5. Trabajo en equipo

- [6. Toma de decisiones](#)
- [7. Flexibilidad cognitiva](#)
- [8. Multitarea](#)
- [9. Comunicación](#)
- [10. Creación de redes personales \(*networking*\)](#)
- [11. e-Learning](#)
- [12. Navegación transmedia](#)
- [13. Capacidad de producción de ideas e innovación](#)
- [14. Colaboración: nuevos paradigmas](#)
- [Conclusiones](#)
- [Referencias](#)

Capítulo 12. Mejoramiento de capacidades en la Armada de la República de Colombia mediante la transición a nuevas energías

Juan Manuel Galvis Chirinos

[Introducción](#)

- [1. Desarrollos en el sector naval](#)
- [2. Migración e implementación de las nuevas energías](#)
- [3. Dependencia de la Armada de la República de Colombia de las fuentes de energía](#)
- [4. Fuentes de financiamiento](#)

[Conclusiones](#)

[Referencias](#)

Capítulo 13. Vehículos de superficie no tripulados: avance de la tecnología y su aplicación en la Armada de la República de Colombia

Daniel Mauricio Cubides Garzón

Manuel Alejandro Ariza Zuluaga

[Introducción](#)

- [1. Definición de vehículos de superficie no tripulados](#)
- [2. Aplicaciones de las tecnologías existentes](#)
- [3. Tecnologías habilitadoras](#)
 - [3.1. Medidas contra minas, guerra antisubmarinos y guerra electrónica](#)

- [3.2. Inteligencia, vigilancia, adquisición de objetivos y reconocimiento](#)
- [3.3. Relevo de comunicaciones](#)
- [3.4. Guerra antisuperficie](#)
- [3.5. Otras características de interés](#)
- [4. Autores y centros reconocidos en la tecnología de los USV](#)
- [5. Funciones de los USV](#)
- [6. Ventajas de los USV](#)
- [7. Impacto sobre la Armada de la República de Colombia](#)
- [Conclusiones](#)
- [Referencias](#)
- [Anexo. Aplicaciones de los USV en diferentes países](#)
 - [Canadá](#)
 - [China](#)
 - [Estados Unidos](#)
 - [Francia](#)
 - [Israel](#)
 - [Italia](#)
 - [Noruega](#)
 - [Reino Unido](#)
 - [Singapur](#)
 - [Suecia](#)
 - [Colombia](#)
 - [Argentina](#)
 - [México](#)
 - [Brasil](#)

Capítulo 14. La financiación colectiva o *crowdfunding*: conceptos, aplicaciones y retos emergentes en el ámbito militar

Alejandro J. Useche

Fernando Juárez

Introducción

- [1. *Fintech*: las finanzas y la cuarta revolución industrial](#)
- [2. La financiación colectiva en la era digital](#)

[3. Aplicaciones del *crowdfunding* en las fuerzas armadas](#)

[4. Retos emergentes del uso del *crowdfunding*](#)

[Conclusiones](#)

[Referencias](#)

[Los autores](#)

Agradecimientos

Los editores y autores agradecen a las siguientes personas su apoyo para el desarrollo y la publicación del presente libro:

CF. Rva. Constanza Castillo García
Comandante del Comando de Apoyo a la Misión (COAMI)
Bogotá

CF. Rva. Carlos Alberto Ossa Moreno
Jefe de Estado Mayor de los Profesionales Oficiales de la
Reserva Armada

CF. Rva. Olga Zoraida Blanco Jaime
Jefe de Educación del Comando de Apoyo a la Misión
(COAMI) Bogotá

CF. Rva. María Liliana Granada Corrales
Jefe de Operaciones de los Profesionales Oficiales de la
Reserva Armada

CC. Rva. Arturo García Martínez

Jefe logístico de los Profesionales Oficiales de la Reserva
Armada

José Alejandro Cheyne García
Rector de la Universidad del Rosario

Presentación

Universidad del Rosario

Alejandro Cheyne García*

El avance sin precedentes de la tecnología está produciendo cambios profundos en todos los aspectos de la sociedad y ha generado nuevos retos e incertidumbres, pero también nuevas y valiosas oportunidades. La primera revolución industrial vino de la mano de la mecanización de los procesos de producción y los medios de transporte, con la llegada de las máquinas a vapor y la energía hidráulica; la segunda revolución tuvo como protagonistas la electricidad, la cadena de montaje y los métodos de producción en masa; por su parte, los desarrollos de la informática, la automatización y la difusión de las tecnologías de la información y las comunicaciones caracterizaron la tercera revolución industrial. No obstante, la actual revolución digital ha sido la más disruptiva de todas, dada la incursión sin precedentes de los sistemas ciberfísicos a gran escala mediante la fusión de la tecnología digital y el Internet en prácticamente todas las facetas de la vida humana, con interacciones en tiempo real en medio de un entorno en el que las fronteras de lo físico y lo virtual son cada vez menos evidentes: en palabras de Klaus Schwab (2016), fundador y director ejecutivo del Foro Económico Mundial, “dada su escala, alcance y complejidad, esta transformación no será

parecida a nada de lo que la humanidad ha experimentado antes” (p. 7).

La Universidad del Rosario, con sus 367 años de historia, ha sido testigo y partícipe de las cuatro revoluciones industriales y hoy más que nunca es consciente de la necesidad de aportar a la construcción de país mediante la formación de talento humano de excelencia, capaz de liderar con las más sólidas bases éticas los retos que impone la sociedad del siglo *xxi*, entendiendo que el desarrollo tecnológico no es en sí mismo el fin, sino un importantísimo medio para lograr una mejor sociedad, más justa, próspera y equitativa.

Las tecnologías propias de la actual revolución digital encuentran cada día mayores campos de aplicación en sectores tan diversos como la industria, el transporte, la salud, las comunicaciones, la educación y la defensa nacional. Como rector de la Universidad del Rosario y, orgullosamente, oficial de la Reserva Naval, comprendo particularmente la trascendencia del avance tecnológico en estos dos últimos campos, ya que las instituciones de educación superior y las Fuerzas Armadas son actores protagónicos en la producción y la difusión de la tecnología, así como en la formación en valores humanos para la construcción de un mejor país.

La presente publicación viene así a ser un aporte a la comprensión de los fenómenos propios de la revolución 4.0 en la Armada Nacional, su uso, su impacto, sus retos y sus potencialidades. Los autores —miembros de la Reserva, académicos y profesionales de diferentes áreas del conocimiento— describen de manera sencilla, pero al tiempo rigurosa, campos como la inteligencia artificial, la robótica, el *blockchain*, la realidad virtual, la nanotecnología, la computación en la nube, la biotecnología

y el *big data*, entre otros, convirtiendo esta compilación en una obra de interés no solamente para un público especializado en asuntos tecnológicos o en el campo militar, sino para todo lector que desee comprender los aspectos más destacados de dichas tecnologías y sus diferentes aplicaciones en un campo específico como el de la Armada Nacional.

Agradezco a los autores, al equipo editorial, a los comandantes del Estado Mayor y a todo el equipo que trabajó para que este proyecto conjunto entre la Reserva Naval de Colombia y la Universidad del Rosario sea hoy una realidad.

Referencias

Schwab, K. (2016). *The Fourth Industrial Revolution*. World Economic Forum.

* PhD, rector de la Universidad del Rosario, teniente de fragata RVA.

Prólogo

Reserva Naval de Colombia

Javier Ignacio Restrepo Giraldo*

La llegada de la cuarta revolución industrial ha producido impactos trascendentales en la sociedad y ha generado cambios radicales, especialmente en el desarrollo profesional de las personas. De acuerdo con el Informe sobre el Futuro de los Empleos, publicado por el Foro Económico Mundial en octubre de 2020, el 50 % de los empleados necesitarán volver a formarse para 2025 debido al aumento en la adopción de nuevas tecnologías. Igualmente, para ese año, aproximadamente 85 millones de empleos desaparecerán a causa de la automatización, mientras que 97 millones de nuevos roles podrán surgir, los cuales requerirán otros conocimientos y habilidades relacionados con las nuevas tendencias tecnológicas, tales como analítica de datos, computación en la nube, inteligencia artificial y ciberseguridad, entre otras.

Es así como durante mi comando, en una reunión de Estado Mayor, surgió la iniciativa de organizar un documento integral donde se tratara el tema de las tecnologías de la cuarta revolución industrial, de su influencia en la sociedad, de cómo ha cambiado la forma de vivir y de la dinámica del desarrollo, pero sobre todo, en este caso en particular, de las consideraciones para su

implementación en la Armada de Colombia para el cabal cumplimiento de su misión constitucional.

Hoy este compendio es una realidad y a través de sus capítulos estamos dando a conocer a los lectores la definición y la aplicación práctica de las tecnologías que hacen parte de la cuarta revolución industrial, utilizando un lenguaje claro y sencillo dirigido a personas no técnicas, que estén interesadas en conocer y entender qué son y cómo funcionan estas nuevas tecnologías digitales que están transformando el mundo y en particular a la Armada de Colombia.

Cada capítulo del libro describe una tecnología diferente y lo más interesante es que no se requiere un orden específico para leer el libro, pues quien lo revise podrá seleccionar las tecnologías que más le interesen para iniciar su lectura. Por eso, los invito a sumergirse en este fascinante mundo de la transformación digital.

Quiero dar un especial agradecimiento a todos los profesionales oficiales de la Reserva Naval, a los oficiales activos de la Armada y al personal civil que participaron en la realización de este magnífico proyecto, en especial a los autores de los diferentes capítulos por compartir sus conocimientos y grandes experiencias.

Por último, envío un reconocimiento personal al señor teniente de navío de la Reserva Naval (RVA) Álvaro Ramírez y a los doctores Alejandro Useche y Fernando Juárez, quienes como editores pusieron todo su empeño para coleccionar y ajustar todos y cada uno de los capítulos y posteriormente ensamblar esta pieza maestra de la evolución tecnológica.

Invito a todas las personas a leer esta maravillosa recopilación que les permitirá conocer y aprender sobre las nuevas ciencias aplicadas que están liderando la

transformación digital del mundo y, desde luego, nuestra propia existencia.

* Capitán de navío RVA, Comandante Profesionales Oficiales Reserva Naval de Colombia 2016-2020.

Capítulo 1

La cuarta revolución industrial: conceptos y principales tecnologías

Álvaro Ramírez Restrepo*

Resumen

Las tecnologías de la cuarta revolución industrial están impactando fuertemente todos los sectores de la sociedad y han generado oportunidades y amenazas. Conocer su naturaleza, sus ventajas y sus desventajas permite su apropiación para beneficio de la Armada de la República de Colombia. En este capítulo se presenta la conceptualización sobre la cuarta revolución, una breve descripción de las tecnologías que la conforman y algunos ejemplos de aplicación en la Armada y, en general, en las Fuerzas Militares del país.

Palabras clave: revolución industrial, tecnología, disrupción, transformación digital, industrialización.

Introducción

A continuación, se presenta la conceptualización y la descripción de la revolución tecnológica y su impacto sobre los individuos, las organizaciones y las instituciones. Disponer de la información y el conocimiento suficiente permitirá convertir los retos en oportunidades y lograr múltiples beneficios para la sociedad. Se formulan algunos usos de la industria 4.0 (*4th Industrial Revolution* [4IR]) en la Armada de la República de Colombia (ARC) y demás instituciones militares no solo en el campo operativo, técnico y tecnológico, sino en la logística, la gestión del talento humano, la gestión financiera y demás funciones y capacidades estratégicas de la fuerza.

1. Conceptualización y características de la cuarta revolución industrial

La 4IR es de carácter tecnológico y hace referencia a la aplicación de nuevas tecnologías principalmente en la industria, por lo tanto, compone el sector secundario de la economía o manufactura de bienes; sin embargo, se ha expandido tanto al sector primario como al terciario. Se denomina *revolución* dados los cambios abruptos, trascendentales y radicales que impactan en los sistemas económicos, las estructuras sociales e inclusive en el ámbito político, en el cual temas como el gobierno digital, el voto electrónico, las ciudades inteligentes, los ciberataques de terroristas internacionales, la masiva participación del electorado en redes sociales y las *fake news* (noticias falsas) impactan en forma importante el quehacer de los gobernantes. En la [tabla 1.1](#) se describe la evolución y las características de las revoluciones industriales, lo cual ayuda a comprender la 4IR.

Tabla 1.1. Características de las revoluciones industriales

Revoluciones industriales				
	Primera	Segunda	Tercera	Cuarta
Periodo	1786-1840	1870-1914	1945-1970	2000-actual
Fuente energética	Agua-vapor	Petróleo-eléctrica	Electrónica	Limpias-renovables
Tipo de producción	Producción mecanizada	Producción en serie	Producción automatizada	Producción inteligente
Materia prima principal	El hierro	El acero	Datos-información	Conocimientos y nuevos materiales
Invento destacado	El telar mecánico (1784)	La cinta transportadora (1879)	Microprocesadores (1969)	Inteligencia artificial

Revoluciones industriales				
	Primera	Segunda	Tercera	Cuarta
Ventaja competitiva	Eficiencia empresarial		Acceso a TIC y capacidad de análisis datos	Inteligencia emocional
Tipo de economía	Economía industrial		Economía de la información	Economía de la conexión
Transporte y comunicación	Ferrocarriles y telégrafo	Automóviles y radio	Trenes de alta velocidad. Televisión	Movilidad eléctrica, realidad virtual e inteligencia artificial
Hechos destacables	De artesanos a obreros	Desarrollo del transporte. Avances en las telecomunicaciones	Desarrollo del internet	Se diluyen fronteras entre el mundo físico, digital y biológico

Fuente: elaborado a partir de Rodal (2020, pp. 16-8) y Schwab (2016, pp. 12-14).

Como se observa en la tabla, la primera revolución industrial inicia en 1786, con el uso de las máquinas de vapor en la mecanización de las industrias, y se prolonga hasta 1840; un hecho social destacable de esta época es la reconversión de artesanos a obreros para el sector fabril. La segunda revolución industrial inicia aproximadamente en 1870, con la incorporación de la energía eléctrica en las plantas industriales que posibilita la producción en masa; hubo un desarrollo importante en los medios de transporte con el automóvil principalmente y tuvo vigencia hasta 1914. La tercera revolución se fortaleció desde el fin de la Segunda Guerra Mundial y tomó un auge importante con el desarrollo de los medios de comunicación, principalmente la aparición de la televisión y el desarrollo de los microprocesadores que permitieron el uso de la informática y la electrónica en la automatización de las empresas; esto constituyó el paso de una

economía industrial a una economía de la información. La tercera revolución pierde vigencia hacia los años setenta.

La 4IR fue mencionada por primera vez en el marco de la Feria de Hannover del año 2011. Allí un grupo de expertos, convocados desde 2010 por el Gobierno alemán, presentaron sus recomendaciones sobre cómo llevar la industria alemana a un nuevo estadio de desarrollo industrial. Posteriormente, Brynjolfsson y McAfee (2014) publicaron *The second machine age: Work, progress, and prosperity in a time of brilliant technologies* para referirse a este periodo y analizaron cómo se originó un punto de inflexión por el efecto de estas nuevas tecnologías emergentes.

Finalmente, Schwab, el fundador y director general del Foro Económico Mundial (World Economic Forum [WEF]), publicó en el 2016 *La cuarta revolución industrial*, que se constituyó en un referente mundial sobre esta revolución silenciosa, y propuso a los líderes globales reflexionar sobre los retos y las oportunidades de esta nueva era. El WEF dispone de un observatorio del tema que permanentemente está monitoreando los avances y la evolución en la aplicación en campos disímiles de las nuevas tecnologías. Otra iniciativa liderada por el WEF es la instalación de los denominados Centros de la Cuarta Revolución Industrial, ubicados en China, Colombia, Japón, India y Estados Unidos, los cuales facilitan el diálogo permanente entre actores sociales, gobierno, empresas y academia vinculados al desarrollo de nuevas tecnologías en beneficio de las organizaciones, las instituciones y la sociedad en general.

2. Principales tecnologías de la cuarta revolución industrial

Se han descrito como impulsores de la 4IR (Guoping et al., 2017): a) la tecnología digital, tal como el internet de las cosas (*Internet of Things* [IoT]), la inteligencia artificial y el *machine*

learning, el *big data*, la computación en la nube y la plataforma digital; b) la tecnología física, tal como los vehículos autónomos y la impresión en 3D, y c) la tecnología biológica, tal como la ingeniería genética y la neurotecnología. En este sentido, el conjunto de nuevas tecnologías que van configurando esta revolución se encuentran en diversos estados, algunas emergiendo y otras declinando, y son de variada naturaleza, físicas, digitales y biológicas. Por su parte, Schwab (2016) señala que estas “van desde la secuenciación genética hasta la nanotecnología, y de las energías renovables a la computación cuántica” (p. 18), y se clasifican de la siguiente manera ([tabla 1.2](#)):

1. Tecnologías físicas: en esta categoría se encuentran aquellas tecnologías tangibles tal como los vehículos autónomos, la impresión 3D, la robótica avanzada, los nuevos materiales y las neurotecnologías.
2. Tecnologías digitales: son tecnologías no tangibles y en esta categoría se encuentran el internet de las cosas (IoT), los sensores y la cadena de bloques (*blockchain*), entre otras.
3. Tecnologías biológicas: estas tecnologías tienen su origen en el campo biológico, tal como la genómica y la biología sintética.

Tabla 1.2. Principales tecnologías impulsoras de la 4IR

Tecnologías físicas	Tecnologías digitales	Tecnologías biológicas
Vehículos autónomos	Tecnologías inalámbricas	Genómica
Fabricación aditiva 3D	IoT	Biología sintética
Robótica avanzada	Cadena de bloques	Biomimesis
Nuevos materiales y nanomateriales	Inteligencia artificial (<i>artificial intelligence</i> [AI])	Optogenética
Tecnologías energéticas	Realidad aumentada (<i>augmented</i>)	Neurotecnologías