



Íconos. Revista de Ciencias Sociales

ISSN: 1390-1249

ISSN: 1390-8065

FLACSO Ecuador

Foladori, Guillermo; Ortiz-Espinoza, Ángeles  
La relación capital-trabajo en la Industria 4.0  
Íconos. Revista de Ciencias Sociales, núm. 73, 2022, Mayo-Agosto, pp. 161-177  
FLACSO Ecuador

DOI: <https://doi.org/10.17141/iconos.73.2022.5198>

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=50970851009>

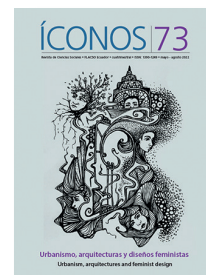
- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org





Sistema de Información Científica Redalyc  
Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal  
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso  
abierto

# La relación capital-trabajo en la Industria 4.0

The capital-labor relationship in Industry 4.0



 Dr. Guillermo Foladori. Profesor-investigador. Universidad Autónoma de Zacatecas (México). (12foladori@gmail.com) (<https://orcid.org/0000-0002-7441-3233>)

 Mgtr. Ángeles Ortiz-Espinoza. Estudiante del Doctorado en Estudios del Desarrollo. Universidad Autónoma de Zacatecas (México). (angeles.ortiz.espinoza@gmail.com) (<https://orcid.org/0000-0002-9852-8342>)

Recibido: 25/09/2021 • Revisado: 08/11/2021  
Aceptado: 31/01/2022 • Publicado: 01/05/2022

## Resumen

El término Industria 4.0 está presente en la academia, el sector empresarial y los medios de comunicación. Se asocia a una nueva revolución tecnológica caracterizada por la interrelación de diversas tecnologías, cuyos principales elementos son los sistemas ciberfísicos, la inteligencia artificial y la conectividad global. Aunque existe abundante literatura sobre el tema, la mayoría está orientada desde una perspectiva técnica y de negocios; halagüeña en cuanto a las ventajas esperadas. Sin embargo, en este artículo se analizan las potencialidades para alterar los términos tradicionales de la relación contradictoria capital-trabajo. Mediante una amplia revisión bibliográfica, se describe a la Industria 4.0 en su contexto histórico-económico resaltando las tendencias que impulsa. Mientras que la generalidad de los autores enfatiza en la conectividad e interacción técnica, en el presente texto se acentúa el aspecto económico distintivo de esta revolución. Se destaca cómo el involucramiento de tecnologías disruptivas para lograr la alta automatización representa una clara tendencia a la desaparición del empleo asalariado, con la excepción de una mínima ocupación de trabajo calificado y de servicios. La unión de este tipo de tecnologías supone un salto cualitativo debido a la eliminación de los tiempos muertos entre empresas individuales y a lo largo de todas las cadenas de producción. Se concluye mostrando la radical alteración en las relaciones laborales de expandirse la Industria 4.0.

*Descriptores:* automatización; conectividad; economía política; Industria 4.0; relación capital-trabajo; revolución tecnológica.

## Abstract

The term industry 4.0 is present in academia, the business sector, and the media. It is associated with a new technological revolution characterized by the interrelation of various technologies, whose main elements are cyber-physical systems, artificial intelligence, and global connectivity. Although there is abundant literature on the subject, most of it is oriented from a technical and business perspective, and it is optimistic in terms of expected advantages. However, this article analyzes the potential for altering the traditional terms of the contradictory capital-labor relationship. Through an extensive literature review, industry 4.0 is described in its historical-economic context, highlighting the trends it drives. While most authors emphasize connectivity and technical interaction, this text emphasizes the distinctive economic aspect of this revolution. It highlights how the involvement of disruptive technologies to achieve high automation represents a clear trend towards the disappearance of salaried employment, with the exception of the minimal occupation of skilled labor and services. The union of this type of technologies represents a qualitative leap due to the elimination of downtime between individual companies and along all production chains. It concludes by showing the radical alteration in labor relations if industry 4.0 expands.

*Keywords:* automation; connectivity; political economy; industry 4.0; capital-labor relationship; technological revolution.



## 1. Introducción

El término Industria 4.0 (Ind.4) se asocia a una nueva revolución tecnológica caracterizada por la interrelación de diversas tecnologías, pero cuyos principales elementos son los sistemas ciberfísicos y la conectividad global. Aunque existe abundante literatura sobre el tema, esta lo aborda desde una perspectiva técnica y de negocios, optimista en cuanto a las ventajas socioeconómicas esperadas. Contrario a lo anterior, el objetivo del presente texto es revisar la tendencia intrínseca de la Ind.4 para alterar los términos tradicionales de la relación contradictoria capital-trabajo. Además, mientras la mayoría de los artículos enfatiza la conectividad e interacción técnica, aquí se acentúa el aspecto económico distintivo que esta revolución industrial tiende a provocar.

Toda revolución tecnológica tiene un eje en torno al cual se organiza la sociedad: la Revolución Neolítica se destacó por el cultivo agrícola y la domesticación de animales; la Revolución Industrial por el uso del vapor en la industria y, posteriormente, los trasportes; la revolución de la electricidad por la difusión de la iluminación y su aplicación al transporte y a los procesos industriales; la revolución de las tecnologías de la información y comunicaciones (TIC) por la digitalización de actividades. Por su parte, la Ind.4 hace referencia a varias tecnologías combinadas que buscan la completa automatización de procesos y una alta flexibilidad y anticipación con respecto al comportamiento de consumidores y productores (Eslava 2021).

Aunque es cierto que la Ind.4 incorpora varias tecnologías preexistentes, en este artículo consideramos que existen elementos económicos y tecnológicos más robustos para identificar esta revolución tecnológica y, al hacerlo, nos acercamos a vislumbrar tendencias clave en su desarrollo. Sirva como adelanto el considerar que la suma de tecnologías puede dar como resultado un salto cualitativo, aun cuando este no pueda vislumbrarse en el análisis individual de cada tecnología; a su vez este último puede mostrar una peculiaridad que no se refleja necesariamente al analizar la suma de tecnologías. La peculiaridad a la que nos referimos consiste en que la articulación de las tecnologías preexistentes permite que el aumento de la productividad y la reducción de tiempos muertos no solo se dé dentro de cada fábrica o empresa de manera individual y discreta, sino entre procesos de producción separados en espacio y tiempo, y que integren una cadena de producción. Ello, sumado a la cada vez mayor conectividad global, garantiza que la apropiación del excedente se expanda a captar el derivado del aumento de la rotación del capital de la cadena de producción en su conjunto, además de la circulación de las mercancías.

El enfoque metodológico utilizado para el presente texto parte de un análisis histórico-estructural sobre la evolución de las principales revoluciones tecnológicas a partir del eje que explica y desarrollo. Este enfoque está explícito en el apartado tres; lo cual también se expresa cuando se revisa la Ind.4 mediante un proceso de abstracción que permite identificar los conceptos centrales que constituyen su núcleo (como

es el caso de las nanotecnologías) y avanzar sobre aspectos cada vez más específicos que no necesariamente se presentan en todas las expresiones de la Ind.4. Una vez articuladas las categorías en una totalidad, se logra tener una visión de conjunto que facilita identificar no solo la Ind.4 como una unidad, sino su dinámica y tendencia de desarrollo.

El objetivo general de este texto es explicar la forma en que el desarrollo de la Ind.4 implica cambios en la relación capital-trabajo. En este sentido, el artículo hace énfasis en el aspecto técnico de la contradicción mencionada; este último tema lo ampliamos en el apartado tres. Metodológicamente nos basamos en una extensa revisión bibliográfica para tratar este tema de suma actualidad desde un enfoque mayoritariamente descriptivo, lo que justifica la perspectiva teórico-conceptual con la que se organiza la información concreta en este artículo.

Luego de esta introducción, el texto se divide en tres partes. Primero, explicamos lo que entendemos por Ind.4 en el contexto de las revoluciones tecnológicas haciendo alusión a sus requerimientos técnicos y a las diversas tecnologías que se cobijan bajo el término y al papel de las nanotecnologías en ellas. Seguidamente, mostramos los impactos tendenciales de la Ind.4 en lo referente a la relación capital-trabajo, tomando en cuenta la participación estatal en el contexto. Por último, exponemos algunas reflexiones generales que van más allá de los aspectos particulares presentados previamente.<sup>1</sup>

## 2. La Industria 4.0 en el contexto de las revoluciones tecnológicas

Desde la Revolución Industrial, las revoluciones tecnológicas se han basado en la explotación de diversas formas de energía: vapor, magnetismo, electricidad, motor de combustión interna, entre otras. Desde principios de los años 70 del siglo XX ocurre un cambio significativo porque de tecnologías centradas en el uso de diferentes energías se pasa a tecnologías cuyo centro es la información; se trata de la revolución de las TIC, que fue posible gracias a la digitalización de la información y su procesamiento computarizado.

Aunque todas las tecnologías anteriores surgen en un sector industrial y se expanden a otros, el grado y velocidad de expansión resulta del carácter facilitador de cada tecnología; de allí que desde las TIC se hable de tecnologías facilitadoras o de propósito múltiple (*enabling technologies* o *multiple purpose*) (Bresnahan y Trajtenberg 1995; Shea, Grinde y Elmslie 2011). Un ejemplo elocuente del carácter facilitador de las TIC es que se aplican tanto a ramas industriales y de transportes como al sector

<sup>1</sup> Debido a la amplitud del tema, el artículo centra su atención en las potencialidades de la Ind.4 para alterar los términos tradicionales de la contradicción capital-trabajo desde una perspectiva general y deja de lado las tendencias en las manifestaciones sobre la población civil, los consumidores, el medioambiente, la salud, etc., temas para tratar en futuras investigaciones y análisis.

de los servicios, a las actividades sociales y a las personales. Esto fue posible por avances técnicos como la digitalización de la información que homogeniza su formato; el abaratamiento y miniaturización de los dispositivos que almacenan y transmiten información, y los equipos de conexión; una verdadera revolución en la micro-opto-electrónica y el satélite.

Las tecnologías de propósito múltiple, como las TIC, conducen a que todas las ramas productivas se homogenicen más rápidamente, de manera que el desarrollo de las fuerzas productivas también alcanza un ritmo mayor. Luego de las TIC, en los años 80 aparecieron las biotecnologías, las cuales a primera vista son más restrictas en sus posibles usos (por ejemplo, la medicina, la agricultura, la veterinaria), pero su aplicación se comienza a expandir a la microelectrónica mediante los biosensores y otros dispositivos, que se cada vez resultan más pequeños.

La expansión de la microelectrónica propició la aparición de las nanotecnologías como una revolución tecnológica cuyo despunte ocurre a principios del siglo XXI. Su desarrollo requirió del avance de los microscopios atómicos a finales de los años 80 y durante los años 90 para que las nuevas propiedades de la materia —que en muchos casos ya se conocían— pudiesen ser medidas con precisión. Además, el lanzamiento de la Iniciativa Nacional de Nanotecnología de Estados Unidos en 2001 provocó que muchos otros países invirtieran en Investigación y Desarrollo (I&D) de nanotecnologías para no quedar rezagados. La revolución de las nanotecnologías fue en gran medida un proyecto *top-down*, donde la impronta estatal fue fundamental en propulsar la I&D, el sistema de propiedad intelectual, la gobernanza, y los procesos productivos y de mercado (Foladori 2009). El peso del Estado en promover las nanotecnologías, al menos en los países centrales, contrasta con el periodo de auge de las mismas inmerso en políticas de corte neoliberal donde el Estado tendría menos presencia, lo cual muestra las particularidades del contexto más allá de las generalidades. Este efecto del Estado sobre la I&D y gobernanza de las tecnologías también está presente en la Ind.4, como veremos más adelante.

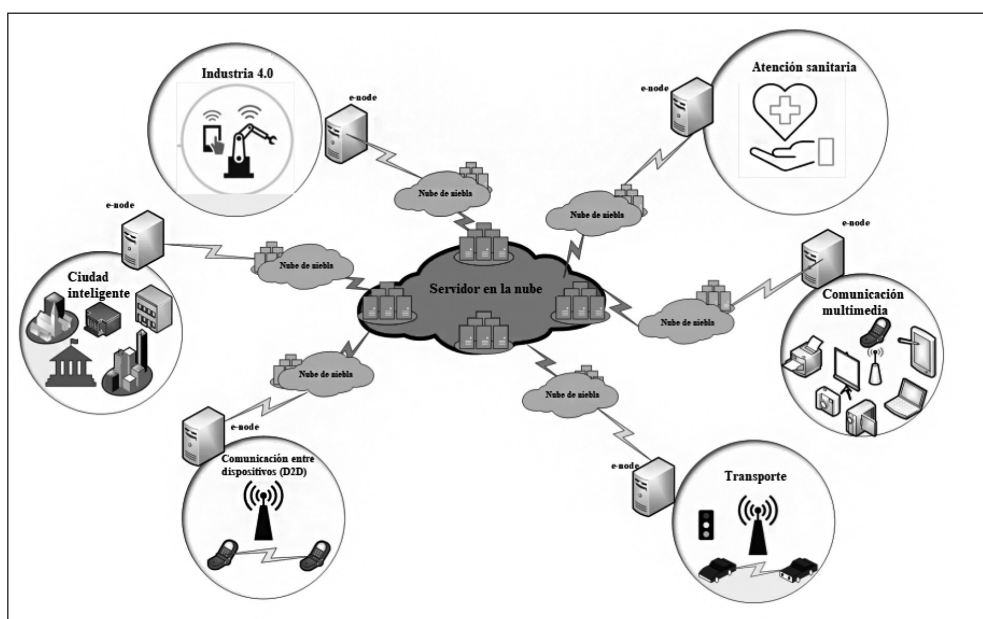
La especificidad de las nanotecnologías las vuelve atractivas, de manera general, debido a que la base de ellas es desarrollar las nuevas propiedades físico-químicas, derivadas de las fuerzas cuánticas que los materiales manifiestan en tamaño nano (Royal Society y Royal Academy of Engineering 2004). Dado que todo sector productivo y de servicios utiliza materiales, las nanotecnologías invaden en poco tiempo todo tipo de industria, servicio y actividad cotidiana (Tsuzuki 2009).

Menos de quince años después de la irrupción de las nanotecnologías, para mediados de la segunda década del siglo XXI, la Ind.4 se presenta como la “nueva tecnología”, aunque en realidad lo que ocurre es la conexión entre lo que eran actividades y tecnologías independientes que se amparan bajo el término. Buena parte de los artículos se refiere a la confluencia de Big Data, Internet de las Cosas, Mobile Cloud Computing, Machine to Machine (M2M), 5G, *machine learning*, robótica, materia-

les inteligentes, nuevos materiales, impresión 3D, sistemas ciberfísicos... para definir las tecnologías a las que hace referencia la Ind.4 (Oztemel y Gursev 2020).

El término Ind.4 ha sido utilizado en diferentes sectores económicos y de servicios acentuando variadas ventajas tanto para el productor como el consumidor, al punto que algunos autores han identificado decenas de diferentes neologismos a los cuales el término hace referencia (Bongomin et al. 2020). Asimismo, los gráficos y diseños que ilustran el alcance de la Ind.4 dan a entender la posibilidad de una total integración de las personas con los objetos, equipos, maquinaria, construcción e inclusive el medioambiente (Alcácer y Cruz-Machado 2019; Basir et al. 2019) (figura 1).

Figura 1. Visión general de la Industria 4.0



Fuente: Tomado de Basir et al. (2019).

La figura 1 muestra la hiperconectividad que la Ind.4 alcanza. De la imagen nos interesa destacar su centro: los servidores que, aunque denominados “de nube”, son servidores físicos que concentran el movimiento de comunicación por internet. El hecho de ser “granjas” físicas de servidores hace posible su concentración económica y requieren de un volumen de capital y condiciones de conectividad facilitadas por la regulación estatal de las ondas electromagnéticas correspondientes. Además, al ser instalaciones físicas, las granjas de servidores presentan un diferencial de velocidad según la distancia de los receptores, lo que no es un dato menor cuando se habla de velocidades medidas en milésimos de segundo. Esta llamada de atención sobre el sustrato físico de la Ind.4 se justifica porque es común referirse a estas tecnologías como

algo caracterizado por la conectividad de información, como si se tratara de aspectos virtuales puramente inmateriales.

Cierto es que muchas de las tecnologías enlistadas dentro de Ind.4 son preexistentes al propio término, y las diferentes definiciones que la caracterizan emplean ejemplos de diversa cantidad y tipo de tecnología, lo que ocasiona una falta de claridad con respecto a cuál es el centro de esta revolución tecnológica (Oztemel y Gursev 2020). En el presente texto consideramos tres características que, de manera combinada, permiten entender la novedad técnica y, en consecuencia, económica, social y política de la Ind.4. Dichas características son las siguientes: a) la velocidad de transmisión en tiempo real, es decir, la simultaneidad en el envío y recepción de datos que deriva en la generación de grandes cúmulos de información; b) la capacidad de conexión entre seres vivos y materia no viva; y, c) la reacción de la materia inerte y de los seres vivos a partir de algoritmos de autoaprendizaje. La mayoría de estas características se expresan de manera virtual, sin embargo, todas ellas están necesariamente amarradas a dispositivos materiales.

La expresión virtual está dada por la conectividad entre las personas, los objetos y los elementos naturales, y es siempre mediante redes que acceden a internet y supone velocidad de transmisión en tiempo real, es decir, simultaneidad de envío/recepción de información y una capacidad de operación prácticamente ilimitadas, esto es, la transformación de señales en unidades codificadas digitalmente, almacenamiento, procesamiento, distribución y retroalimentación. Supone, además, que las personas pueden comunicarse y recibir retroalimentación de las cosas físicas, es decir, estas últimas son inteligentes; reaccionan frente al entorno y deciden qué tipo de información comunicar. Supone también que el entorno conectado instruye al humano sobre caminos de desarrollo, corrección y mitigación de impactos no deseados. Estas son las condiciones, y al mismo tiempo las restricciones, de conectividad de la Ind.4; la expresión virtual no podría darse sin las bases físicas de los equipos y dispositivos que la realizan.

En términos generales, hay tres fases en la conectividad. La primera es la físico-química inmediata, la segunda es la fase de redes, y la tercera la de aplicaciones inteligentes. La fase físico-química identifica y reconoce elementos, sustancias y movimientos utilizando sensores, actuadores y dispositivos terminales. La fase de redes conecta los diversos dispositivos terminales de la primera fase en nodos y puede ser abierta o privada. La fase de aplicaciones inteligentes utiliza diversos tipos de conectividad (rayos infrarrojos, radiofrecuencia y diversas bandas de ondas electromagnéticas) para generar procesamiento y retroalimentación a toda la estructura y generar su automatización (Basir et al. 2019, 2).

Para que sea posible una conectividad con las características mencionadas en todas y cualquiera de las tres fases, la presencia de sistemas micro- y nanoelectromecánicos (MEMS/NEMS) es indispensable. Los MEMS, *micro electrical mechanical systems*, se fueron convirtiendo en NEMS, *nano electrical mechanical systems*. Mediante



MEMS/NEMS se transforman señales físicas, químicas y biológicas en codificación digital. Sin estos dispositivos no funciona ninguna de las tecnologías de la Ind.4 ni existe conectividad entre ellas. La conectividad depende de la industria opto-micro/nano-electrónica (y otras asociadas como la de satélites) y esta, a su vez, del uso de dispositivos que exigen la manipulación de la materia en tamaño atómico y molecular, es decir, nanotecnologías. Más aun, el primer segmento de la cadena de valor del Internet de las Cosas corresponde a la fabricación de dispositivos con actuadores y sensores especializados en la captura de datos (Castillo 2017).

Los nanosensores y los nanoactuadores, sean biológicos o electromecánicos, son los que permiten codificar digitalmente señales físico-químicas de lo más diversas, provenientes de los elementos naturales y de la vida —eléctricas, acústicas, ópticas, de estrés y resistencia de la materia, magnetismo, radiaciones, gases, etc.— (Cano Olivera y Pérez Castillo 2008). La interacción entre los materiales, sea que estén en la naturaleza o cristalizados en equipos, materia prima y demás, y de ellos con los humanos está en la base de la Ind.4: no es lo mismo MEMS/NEMS que reciban señales ya codificadas y las almacenen, transformen o modifiquen según la información pasada, que MEMS/NEMS que capten información de fuerzas naturales y movimiento y las deban codificar. De no ser por esos sensores y actuadores no habría conectividad entre la materia y el procesamiento de la información. Estos sensores constituyen el primer nodo de información, *nanonodos*, a partir de ellos se escalan a los *nanorouters*, que tienen mayor capacidad de almacenamiento y procesamiento de información codificada previamente, y a las *interfases*, nodos más complejos que actúan como *gateway* de las redes de nanosensores (Wireless Nanosensor Network [WNSN]) y que permiten conectarse con el resto del mundo (Piro et al. 2013). Cabe señalar que, desde el punto de vista financiero, MEMS Y NEMS son considerados conjuntamente. Así, por ejemplo, la Iniciativa Nacional de Nanotecnología de los Estados Unidos gasta enormes fondos en MEMS y sensores, y en laboratorios con equipos utilizados por y para los MEMS (Materials Modification Inc. 2004; Plunkett 2010).

Uno de los primeros y principales sectores de desarrollo de las nanotecnologías ha sido la electrónica, que siguiendo la tendencia a la miniaturización de los dispositivos impulsó un salto importante en la disminución de los tamaños y en la promisoriedad potencialidad del tránsito hacia la computación cuántica. La confluencia del tamaño y las nuevas funcionalidades han hecho de los nanosensores y nanoactuadores el aspecto crucial de la Ind.4 y de todas las tecnologías que la componen, más aún, en la segunda década de este siglo el crecimiento de las nanotecnologías se dio principalmente en el área de los nanosensores (Foladori y Ortiz-Espinoza 2021).

La peculiaridad de la Ind.4 es que no puede considerarse como una revolución tecnológica en el sentido de modificar una fuente energética, generar una tecnología específica o alterar la forma de manipulación de la materia, sino como la confluencia de tecnologías donde las TIC y las nano tienen los papeles principales. Como resultado



de esta reunión de diferentes tecnologías, algunos autores sugieren que se trata de un concepto más político que técnico (Schütze, Helwig y Schneider 2018, 359) y hacen alusión a que el término surge como recomendación de la Academia Alemana de Ciencia e Ingeniería (ACATECH, por sus siglas en alemán) a fin de generar una estrategia de política industrial basada en la alta tecnología (ACATECH 2013). Aunque el impacto ideológico y político de lanzar un nuevo término para sugerir el peso de la ciencia y la tecnología en el desarrollo no puede descartarse, existe un elemento económico más importante que muestra el carácter cualitativo de la Ind.4 al menos en términos tendenciales; se trata de las modificaciones que provoca en la contradicción capital-trabajo.

### 3. Impactos tendenciales de la Industria 4.0 en la relación capital-trabajo

Con base en el marxismo, se plantea que las relaciones capitalistas se basan en la articulación de dos clases sociales clave: la burguesía y el proletariado. Tal conexión está dada por la necesidad de los obreros de vender su capacidad de trabajo a los dueños del capital. Se trata de una relación dinámica ya que el propio desarrollo capitalista tiende a suplantarse trabajo vivo con tecnología y, en consecuencia, a generar lo que comúnmente se conoce como desempleo tecnológico. Este proceso, que ha sido sistemático desde la misma Revolución Industrial del siglo XVIII, tuvo una expansión significativa a partir de la revolución de las TIC, porque permitió profundizar la sustitución del trabajo industrial con tecnología mediante la robotización y la automatización de procesos productivos, así como por su capacidad de expandirse a la esfera de los servicios en general.

El informe de la consultora McKinsey de 2012 sobre el papel de la industria manufacturera en el mundo (Manyika et al. 2012) resume algunas tendencias identificadas desde 1950 hasta la crisis económica del 2008. Este lapso de más de cincuenta años es muy ilustrativo para efectos del empleo, porque incluye el periodo de bum de las TIC, de las biotecnologías y de la globalización, y se detiene justo cuando las nanotecnologías entran en escena en la primera década del siglo XXI. Estos son los elementos distintivos de la tendencia con relación al empleo y que pueden considerarse como irreversibles: a) la disminución del empleo no calificado por efecto de la automatización; b) la práctica eliminación de las fronteras entre actividades de servicios y de manufactura, y c) un aumento relativo hacia el trabajo altamente calificado.

Si extendemos aquellas tendencias a finales de la segunda década cuando ocurre la pandemia por covid-19, podemos señalar la fuerte diferenciación entre sectores. McKinsey resalta que, desde comienzos del 2020 durante la expansión de la epidemia a nivel mundial, tres sectores económicos tomaron la delantera incrementando su producción, ventas y presencia en el mercado: el comercio digital, la telemedicina y

la automatización. Estos procesos son irreversibles una vez establecidos, aun con el repliegue de la pandemia (Sneader y Singhal 2020).

La Ind.4 acelera ese proceso de sustitución de trabajo vivo por trabajo cristalizado en maquinaria, pero al hacerlo, también profundiza otra característica que se venía observando desde los años 90: la precarización del empleo no calificado. Efectivamente, es previsible que la automatización de las cadenas productivas globales signifique un desplazamiento considerable del trabajo asalariado, al menos como se conoce actualmente. Los cambios incluyen el consabido incremento del desempleo, la demanda de nuevas y diferentes calificaciones, y el incremento del empleo parcial, eventual y sin prestaciones (Görmüş 2020). La automatización de la industria supondría que la oferta laboral mute hacia nuevos tipos de empleos; tan solo en Estados Unidos, apenas el 0,5 % de la fuerza laboral se empleó en industrias inexistentes a inicios del siglo XXI (Schwab 2017). Más aun, el porcentaje del PIB que depende del trabajo sigue disminuyendo en la mayoría de los países (Schwab 2017).

La automatización que conlleva la expansión de la Ind.4 significa que el empleo asalariado presenta una tendencia a cero, con la excepción de una mínima ocupación de trabajo calificado y de servicios. Por ello, la previsión de que, a medida de su expansión y profundización, se generen millones de desempleados y subempleados a nivel mundial no es descabellada. Los argumentos de los voceros de las ventajas de la Ind.4 son en el sentido de que se ampliará cierto trabajo calificado a ser realizado a domicilio, pero es esta modalidad precisamente la que más promueve el subempleo, individualiza los salarios y la intensidad del trabajo, y dificulta la organización de los trabajadores haciendo que pierdan derechos laborales y seguridad en salud ocupacional (Zafra 2021).

Inclusive aquellos que mantienen sus puestos de trabajo no necesariamente se ven beneficiados por las nuevas tecnologías, pues el aumento de la productividad no lleva a un incremento del ingreso de los asalariados de forma espontánea.<sup>2</sup> Aunado a lo anterior, se ha visto que la automatización de procesos presenta una fuerte cantidad de riesgos de impacto social y es el sector laboral el que sufre las mayores consecuencias adversas. De acuerdo con el Informe Global de Riesgos (2019) los avances tecnológicos han eliminado los límites entre el trabajo y la vida cotidiana. La hiperconectividad ha provocado que el horario de trabajo se extienda más allá de sus límites formales, lo que provoca una un desequilibrio entre la vida personal y el trabajo, así como elevados índices de fatiga y efectos psicológicos adversos derivados de los altos

2 Mientras el aumento de la ganancia derivado de la productividad es una consecuencia espontánea, natural a la contradicción capital-trabajo, que no requiere siquiera percibirla o entenderla, la posibilidad de que parte de ese aumento de la productividad se convierta en una mejora en las condiciones de vida de los asalariados o del resto de la población es una consecuencia no espontánea, sino política, y resultado de la lucha de clases. La economía neoclásica y las variantes keynesianas y heterodoxas consideran que las innovaciones tecnológicas abren nuevas fuentes de trabajo, y mejoran las condiciones de vida de la población en su conjunto. La historia de la distancia cuantitativa en la apropiación de la riqueza monetaria entre capitalistas y resto de la población es un indicador de que aquella afirmación es equivocada, aunque sea correcta para ciertos países, regiones o periodos. El argumento de la relación mecánica entre innovación y mejora en las condiciones de vida deriva de referirse a la producción de riqueza material; las clases sociales no se apropian de esa riqueza material directamente, sino que deben primero acceder a valores dinerarios que logran mediante la venta de su capacidad de trabajo.

índices de estrés que implica la posibilidad de sustitución de la fuerza laboral por la automatización, más acentuado aún en las mujeres (Foro Económico Mundial 2019, 15, 34-39). Todo ello se ha acentuado bajo el contexto actual de pandemia que ha acelerado los procesos de digitalización y el uso de plataformas virtuales (Lund et al. 2021); tan solo en México, más del 50 % de los empleos está en riesgo a consecuencia de la automatización (Forbes 2020).

Asimismo, la presencia cada vez mayor de inteligencia artificial y algoritmos de aprendizaje automático, tecnologías fundamentales de la Ind.4, propicia que se difunda la perspectiva de una inminente sustitución de humanos por máquinas. Ello produciría una mayor eficiencia técnica derivada del incremento de la productividad y la adopción de tecnologías. Al respecto, algunos autores argumentan que dicha presencia conduce a un mayor control sobre la fuerza de trabajo, lo cual implica una mayor rigidez social (Harvey 2014).

Considerando que, además de las grandes corporaciones, los Gobiernos también son propietarios de buena parte de la información existente, así como de los canales para su captación y distribución, y de grandes medios para generar investigación y avances científicos, el autoritarismo y el debilitamiento de los sistemas democráticos se vuelve un posible riesgo en un mundo de total visibilidad y trazabilidad. En este sentido, la inteligencia artificial y el aprendizaje automático tienen el potencial de un poder, que eventualmente, lograría radicalizar a determinados grupos sociales, pues pueden identificar patrones en el comportamiento individual, así como manipular y propiciar determinados comportamientos con potencial para desatar violencia (Foro Económico Mundial 2019).

La confluencia de tecnologías bajo la Ind.4 se beneficia tanto de las tendencias económicas previas como de la coyuntura de salud mundial para crear nuevas condiciones en las relaciones laborales. Mucho del trabajo calificado que surgió a raíz de la Ind.4, como el relacionado a la logística, implica nuevas condiciones de estrés, caracterizado por el radical enfrentamiento entre la realidad virtual y la humana. Un ejemplo de dicho enfrentamiento y del desempleo tecnológico ligado a la Ind.4 es lo que se conoce como “gemelo digital” (Gilchrist 2016); se trata de un sistema virtual que da seguimiento al funcionamiento y desgaste de las piezas de manera individual y del equipo o motor en su conjunto, pero también permite probar virtualmente alternativas de corrección para ser aplicadas a su par real cuando sea conveniente. Esto economiza trabajo físico directo, desplazamientos y transporte de piezas, pero además impulsa la necesidad de algunos trabajadores altamente calificados y con enorme responsabilidad sujetos a nuevas situaciones de estrés. El sistema de monitoreo virtual de los equipos físicos se aplica para el funcionamiento de cualquier tipo de proceso; y aunque solo se introduce allí donde una empresa logra abaratar sus costos de mantenimiento, la supuesta mayor eficiencia y predicción de potenciales fracasos de piezas y equipos obliga a los competidores a reproducir la iniciativa.

La diferencia entre el modelo (protocolo ideal) y la realidad humana se profundiza con la Ind.4 al colocar a los trabajadores como últimos responsables de errores que, quizá, solo puedan no ocurrir de manera virtual. Gilchrist (2016, 11) ejemplifica lo anterior con el caso de las llantas de transportes pesados que usan sensores para ofrecer información a la empresa sobre los errores del motorista en la conducción del vehículo. De igual forma, el World Economic Forum ofrece un ejemplo paralelo con los gorros inteligentes (SmartCaps), utilizados en la industria minera australiana, que miden la fatiga y estrés de los empleados durante la jornada laboral a fin de garantizar límites para que no ocurran accidentes (World Economic Forum 2017, 16). Lo anterior ejemplifica cómo el uso del patrón virtual para evaluar labores humanas deviene estrategia para incrementar la intensidad del trabajo.

En la mayoría de los países y empresas, la Ind.4 está aún en ciernes, sin embargo, pueden identificarse señales de su impacto en el trabajo hasta en aquellos sectores que parecieran más lejanos de la automatización, como los que utilizan directamente la naturaleza. En el caso de la minería mexicana, la automatización avanza suplantando fuerza de trabajo mayormente tradicional. Robles, Foladori y Záyago Lau (2020) muestran los equipos y dispositivos que permiten ese avance; en lo que respecta a la extracción de oro y plata se han automatizado los malacates, el sistema de bombeo primario, el de ventilación, la trituración y molienda, el sistema de transporte por bandas y los circuitos de flotación. Si bien las tecnologías digitalizadas han estado presentes en la gran minería desde fines del siglo XX, los sistemas automatizados actuales no solo se han aplicado a la conexión entre equipos y maquinaria, sino que también lo han hecho entre trabajadores, maquinaria y condiciones de la materia en explotación. Los obreros de la Fresnillo Plc., una de las mayores minas de plata del mundo y la segunda productora de oro de México, portan sensores con GPS que reproducen sus movimientos en la pantalla virtual, con lo cual se controla la intensidad del trabajo, la ubicación y el desempeño del equipo.

Por su parte, el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México (Conacyt) ha colaborado con la empresa mexicana de telecomunicaciones Lasec para diseñar un dispositivo portable que puede ser rastreado por un sistema de espectro disperso. El trabajador puede emitir señales de emergencia. Esta información también es detectada y visualizada en el ordenador central (Rodríguez 2017). Es controvertible si estos equipos inteligentes califican o descalifican la fuerza de trabajo. La tendencia es a producir *machine-learning softwares* que corrijan la acción de los usuarios en función de lo que el sistema aprende. El software Vulcan de la empresa Maptek constituye uno de los paquetes más utilizados en minería por poseer un sistema de planificación minera y modelado 3D, que puede ser aplicado desde la exploración hasta la rehabilitación de un sitio (Maptek 2015). Puede argumentarse que ello tiende a sustituir la calificación humana por la virtual, con el consecuente potencial desempleo (Robles, Foladori y Záyago Lau 2020).

El documento del World Economic Forum (2017) en su análisis de la digitalización de los procesos en la minería e industria de metales señala otros aspectos del impacto de las tecnologías sobre el proceso de trabajo. Por ejemplo, la dificultad para calificar a trabajadores antiguos y experimentados, pero con conocimientos técnico-mecánicos en tecnologías digitales; en contraste con jóvenes más aptos para las nuevas tecnologías, pero sin el bagaje de experiencia necesaria en las diferentes etapas por las que pasa la automatización hasta alcanzar el ideal de la Ind.4. El mismo documento predecía, aún antes de la pandemia por covid-19, que en una década ocurriría la pérdida del 5% de los empleos en la minería debido a la digitalización de procesos. No sería aventurado señalar que esto podría acortarse a un par de años como resultado de la pandemia (Foladori y Delgado Wise 2020).

El Foro Económico Mundial prevé que, como resultado de la crisis de salud, la automatización y la nueva división del trabajo entre humanos y máquinas desplazarán 85 millones de trabajos a nivel mundial para 2025 (Ashworth 2021). Entrando a la tercera década del siglo XXI, se puede plantear que las teorías económicas neoclásicas que sostenían que el empleo se iría acomodando a las demandas del capital están en retroceso. Los propios analistas del Fondo Monetario Internacional y el Banco Mundial se muestran preocupados por la inevitable previsión de crecimiento del desempleo y las formas de subempleo (Berg, Buffie y Zanna 2016). Como contraparte del debilitamiento del sector laboral, tanto en cantidad como en participación de la riqueza global (Manyika et al. 2012), el sector corporativo se fortalece beneficiándose de la mayor productividad y estableciendo cambios tecnológicos irreversibles para el destino incierto de los trabajadores.

La expansión de la Ind.4 para el capital es, simultáneamente, una fuente de beneficios individuales y un desafío global. Aquellas empresas que consigan avanzar en las etapas de la digitalización e integración virtual de las cadenas de producción tendrán ganancias extraordinarias mientras compitan con otras menos tecnificadas. Son ventajas que se podrán presentar aun cuando los costos de producción por unidad de producto sean iguales o algo mayores que en empresas menos tecnificadas porque acortarán sus ciclos de rotación del capital y, por tanto, amortizarán más rápidamente su capital y lograrán aumentar su ganancia global incluso a expensas de alguna reducción en la ganancia por producto. Hay que tener en cuenta que la automatización integrada, como se plantea en la Ind.4, significa la posibilidad de trabajar siete días a la semana, y no cinco o seis como ocurre donde existen empleos humanos, como es el caso de la empresa australiana de extracción y procesamiento de cobre Rio Tinto, la cual está altamente automatizada: trabaja 24 horas por día, los 365 días del año (Rio Tinto 2021).

Además de la tendencia a la concentración en corporaciones, está la tendencia al cambio de jerarquía en el control de las cadenas de producción. Los análisis de las cadenas de producción de las últimas décadas han mostrado que algunas están

controladas por las empresas productoras de la parte central (*producer driven*), otras por el comprador mayorista (*buyer driven*) y otras por quien posee la marca (Gereffi, Humphrey y Sturgeon 2005; Park, Nayyar y Low 2013). Asimismo, la crisis económica relacionada con la pandemia ha mostrado, a lo largo del 2020, cómo los sectores anclados en el comercio por Internet han salido ampliamente favorecidos (Lund et al. 2021).

A medida que crecen las necesidades del uso de bandas de frecuencia del espectro electromagnético, su control es esencial, y esto requiere de regulaciones internacionales (Unión Internacional de Telecomunicaciones, ONU), nacionales y regionales, lo cual conlleva la participación del Estado en la Ind.4. Muchas bandas son usadas de manera privada, por empresas o por el sector militar, y esto compite con la utilización de tales espectros para otros usos, como públicos o independientes. Como todo el tráfico por internet está privatizado desde 1994, el acceso a las bandas es también una barrera política y de costos, aunque no hay que olvidar que todo ese proceso de potencial hegemonía de las telecomunicaciones sobre la producción material depende de los equipos físicos en los que, en última instancia, se deposita la información y las posibilidades de acceder a ella.

La lucha económica y política de la producción material al control de las comunicaciones se exagera y las promesas de que tecnologías más avanzadas constituyen una ventaja para la población resultan engañosas. Es muy probable que el avance de la 5G, por ejemplo, aumente la distancia entre países y regiones en lugar de acortarla. Cualquier registro de las velocidades actuales, que en muchos casos combinan 3G, 4G y 5G, muestra esta gran desigualdad. Una medición indicativa de velocidad en países y ciudades para 2014 mostró que mientras Hong Kong tenía una velocidad de 80 Mbps, los Estados Unidos apenas alcanzaban 24 Mbps (Lee 2014, mapa 12). Para un usuario individual la distancia del servidor donde se deposita la información de internet que utiliza es clave y aunque en muchos casos esta información es secreta, lo que se conoce evidencia enormes diferencias regionales (Lee 2014, mapa 28). La conclusión general del avance de la conectividad y de la Ind.4 no es diferente de lo promovido desde los inicios de la Revolución Industrial: la tendencia a la concentración del capital, el monopolio y el control del sector público por parte de los grandes consorcios.

#### 4. Conclusiones

El término Ind.4 con frecuencia aparece como difuso e impreciso, y a primera vista, el concepto es más político que económico, ya que todas las tecnologías que lo sostienen son modalidades preexistentes. La Ind.4 involucra una gran conectividad y la implementación de tecnologías disruptivas encaminadas a una alta automatización



de procesos. Sin embargo, no siempre la suma de las partes hace a la totalidad, como en el caso que hemos examinado, donde la reunión de aquellas tecnologías supone un salto cualitativo imprevisible en el análisis discreto de cada una de ellas. La novedad está dada no solo por la profundización y expansión de cada una de estas tecnologías, sino por la eliminación significativa de los tiempos muertos existentes entre empresas individuales y a lo largo de todas las cadenas de producción.

No puede perderse de vista el carácter integrador de los procesos parciales de producción y servicios (Technopolis group Belgium 2016). Si suponemos que la materia prima y medios de producción están dados para una empresa de cualquier sector productivo o de servicios, al igual que el mercado y los precios finales, la forma de aumentar su ganancia se reduce a dos alternativas: aumentar el volumen de producción en el mismo tiempo (productividad del trabajo), o reducir los tiempos muertos entre las fases parciales de los procesos (ritmo de circulación del capital). Las cadenas de montaje son un ejemplo de ambos; los estudios de las cadenas globales de producción muestran la lucha de las diferentes empresas dentro de la cadena por apropiarse del control y de la parte estratégica y relativamente mayor del valor final producido (Foladori 2018; Gereffi 2014).

A diferencia de las revoluciones tecnológicas anteriores que, en términos marxistas, consistían en aumentar el plusvalor absoluto y relativo a nivel empresarial y desde ahí su generalización a nivel social, la Ind.4 suma a esto la reducción de los tiempos muertos entre las cadenas de producción y el consumidor en las diferentes empresas; el centro está en reducir el tiempo de rotación del capital acelerando directamente la productividad del proceso social desde la I&D pasando por la producción, distribución, transporte, ventas y consumo.

Paralelamente, las crisis económicas que durante el siglo XIX y XX se sucedían cada 20 o 25 años (Mandel 1986), lo hacen cada diez años (o menos) a partir del siglo XXI: la crisis de las empresas.com en 2001, la de vivienda en 2008-2009 y la de covid-19 en 2020, que han ocurrido a pesar de la sucesión y superposición de nuevas tecnologías (bio, nano, IoT, Ind.4.0), o quizá como resultado de ellas por su carácter facilitador. Esto último se explica por el aumento de las capacidades productivas, a la vez que se reduce el empleo en tiempo y cantidad, y con ello la capacidad de compra de enormes masas de población desocupada, subocupada o de empleos ocasionales que conlleva una superproducción difícil de evitar sin periódicas crisis.

La paradoja de la expansión de la Ind.4 es que permitiría que la población mundial tuviera a su disposición la suficiente riqueza material para reproducirse sin necesidad de trabajo productivo invertido, o con una reducción del empleo a pocas horas al día, pero generando millones de sub- y desempleados. Esta paradoja se mantiene en tanto la forma de la apropiación de la riqueza material dependa del salario para la inmensa mayoría de la población mundial.



## Apoyos

Esta investigación forma parte del Proyecto del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) Ciencia de Frontera 2019, n.º 304320 “Una revisión crítica del desarrollo de las nanotecnologías en México acorde a las prioridades socio-económicas nacionales”, financiado por Conacyt y ejecutado por la Unidad Académica en Estudios del Desarrollo (UAED), Universidad Autónoma de Zacatecas (UAZ), México. El periodo del proyecto es 2020-2023.

## Referencias

- Alcácer, Vitor, y Virgilio Cruz-Machado. 2019. “Scanning the Industry 4.0: A Literature Review on Technologies for Manufacturing Systems”. *Engineering Science and Technology, an International Journal* 22 (3): 899-919. <https://dx.doi.org/10.1016/j.jestch.2019.01.006>
- ACATECH (Deutsche Akademie der Technikwissenschaften). 2013. *Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0*. Frankfurt: ACATECH. <https://bit.ly/3qdsol5>
- Ashworth, Anne. 2021. “Rise of the machines: Robots are here and it could be time to add them to your portfolio- here’s how... without terminating your cash”. *This Is Money*, 8 de enero. Acceso el 15 de julio de 2021. <https://bit.ly/3GeKzft>
- Basir, Rabeea, Saad Qaisar, Mudassar Ali, Monther Aldwairi, Muhammad Ikram Ashraf, Aamir Mahmood y Mikael Gidlund. 2019. “Fog Computing Enabling Industrial Internet of Things: State-of-the-Art and Research Challenges”. *Sensors* 19 (21): 1-38. <https://dx.doi.org/10.3390/s19214807>
- Berg, Andrew, Edward F. Buffie y Luis Felipe Zanna. 2016. “Robots, Growth, and Inequality”. *Finance & Development* 53 (3): 10-13. <https://bit.ly/3u9WkBA>
- Bongomin, Ocident, Aregawi Yemane, Brendah Kembabazi, Clement Malanda, Mwewa Chikonkolo Mwape, Nonsikelelo Sheron Mpopu y Dan Tigalana. 2020. “Industry 4.0 Disruption and Its Neologisms in Major Industrial Sectors: A State of the Art”. *Journal of Engineering* 20: 1-45. <https://dx.doi.org/10.1155/2020/8090521>
- Bresnahan, Timothy, y Manuel Trajtenberg. 1995. “General Purpose Technologies ‘Engines of Growth?’”. *Journal of Econometrics* 65 (1): 83-108. [https://dx.doi.org/10.1016/0304-4076\(94\)01598-T](https://dx.doi.org/10.1016/0304-4076(94)01598-T)
- Cano Olivera, Luís Eduardo, y José Nelson Pérez Castillo. 2008. “Simulación de nanosensores para detectar partículas contaminantes utilizando sistemas de información”. *Ingeniería* 13 (2): 29-35. <https://bit.ly/3ok47ZQ>
- Castillo, Mario. 2017. *La internet industrial para el cambio estructural en América Latina*. Barcelona: Institut Barcelona d’Estudis Internacionals. <http://www.jstor.org/stable/resrep14197>
- Eslava, Sandra. 2021. “Keynote. Transformación digital de las industrias”. En 8vo. Congreso Latinoamericano de Transformación Digital. 18-28 de octubre. Acceso en enero de 2022. <https://cltd.lat/>

- Foladori, Guillermo. 2009. "La gobernanza de las nanotecnologías". *Sociológica* 24 (71): 125-153. <https://bit.ly/3okspmj>
- Foladori, Guillermo. 2018. "Las nanotecnologías en la cadena de producción". En *Cadenas de producción en las nanotecnologías en América Latina*, editado por Guillermo Foladori, Noela Invernizzi, Johann F. Osma y Edgar Záyo Lau, 17-62. Bogotá: Universidad de los Andes.
- Foladori, Guillermo, y Raúl Delgado Wise. 2020. "Para comprender el impacto disruptivo del covid-19, un análisis desde la crítica de la economía política". *Migración y Desarrollo* 18 (34): 161-178. <https://bit.ly/3AQaWb>
- Foladori, Guillermo, y Ángeles Ortiz-Espinoza. 2022. "De las nanotecnologías a la Industria 4.0: Una evolución de términos". *Nómadas* 55: 63-73. <https://dx.doi.org/10.30578/nomadas.n55a4>
- Forbes. 2020. "Automatización pone en riesgo más del 50% de empleos en México: BM", 28 de septiembre. Acceso el 24 de mayo de 2021. <https://bit.ly/3IT8UsZ>
- Foro Económico Mundial. 2019. *Informe Global de Riesgos 2019*. Ginebra: Foro Económico Mundial.
- Gereffi, Gary. 2014. "Global Value Chains in a Post-Washington Consensus World". *Review of International Political Economy* 21 (1): 9-37. <https://dx.doi.org/10.1080/09692290.2012.756414>
- Gereffi, Gary, John Humphrey y Timothy Sturgeon. 2005. "The Governance of Global Value Chains". *Review of International Political Economy* 12 (1): 78-104. <https://dx.doi.org/10.1080/09692290500049805>
- Gilchrist, Alasdair. 2016. *Industry 4.0: The Industrial Internet of Things*. Berkeley: Apress. <https://doi.org/10.1007/978-1-4842-2047-4>
- Görmüş, Ayhan. 2020. "Future of Work in Industry 4.0". En *International Congress on Social Sciences*, editado por Ayhan Görmüş, 317-323. Ankara: Sageya Yayıncılık.
- Harvey, David. 2014. *Diecisiete contradicciones y el fin del capitalismo*. Quito: Traficantes de Sueños / IAEN.
- Lee, Timothy B. 2014. "40 Maps That Explain the Internet". *Vox*, 2 de junio. <https://bit.ly/34qzXNI>
- Mandel, Ernest. 1986. *Las ondas largas del desarrollo capitalista: la interpretación marxista*. Madrid: Siglo Veintiuno.
- Manyika, James, Jeff Sinclair, Richard Dobbs, Gernot Strube, Louis Rassey, Jan Mischke y Jaana Remes. 2012. "Manufacturing the Future: The next Era of Global Growth and Innovation McKinsey & Company". *McKinsey & Company*, 1 de noviembre. <https://mck.co/344k3Zr>
- Maptek. 2015. "Maptek Vulcan. Software de planificación minera y modelado en 3D". <https://bit.ly/3olptWF>
- Materials Modification Inc. 2004. "Frequently Asked Questions". Acceso el 20 de mayo de 2021. <http://www.matmod.com>
- Lund, Susan, Anu Madgavkar, James Manyika, Sven Smit, Kweilin Ellingrud y Olivia Robinson. 2021. "The Future of Work after COVID-19". *McKinsey Global Institute*, 18 de febrero. <https://mck.co/3AQutHM>
- Oztemel, Ercan, y Samet Gursev. 2020. "Literature Review of Industry 4.0 and Related Technologies". *Journal of Intelligent Manufacturing* 31 (1): 127-182. <https://dx.doi.org/10.1007/s10845-018-1433-8>

- Park, Albert, Gaurav Nayyar y Patrick Low. 2013. *Supply Chain Perspectives and Issues: A Literature Review*. Ginebra / Hong Kong: World Trade Organization / Fung Global Institute. <https://bit.ly/3gdyOLM>
- Piro, Giuseppe, Luigi Alfredo Grieco, Gennaro Boggia y Pietro Camarda. 2013. "Simulating Wireless Nano Sensor Networks in the NS-3 Platform". En *27th International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops*, editado por Leonard Barolli, Fatos Xhafa, Makoto Takizawa, Tomoya Enokido y Hui-Huang Hsu, 67-74. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya.
- Plunkett, Jack. 2010. *Plunkett's Nanotechnology & Memos Industry Almanac*. Houston: Plunkett Research Ltd.
- Rio Tinto. 2021. "Automation". Acceso el 12 de abril de 2021. <https://bit.ly/3AMWfVz>
- Robles, Ruth, Guillermo Foladori y Édgar Záyago Lau. 2020. "Industria 4.0 en la minería mexicana". *Revista de El Colegio de San Luis* 10 (21): 1-32. <https://dx.doi.org/10.21696/rcsl102120201167>
- Rodríguez, Érika. 2017. "Diseñan sistema inteligente para seguridad en mina". *Cienciamx*, 22 de marzo. Acceso el 20 de mayo de 2021. <https://bit.ly/3rjPU0F>
- Royal Society, y Royal Academy of Engineering. 2004. *Nanoscience and Nanotechnologies: Opportunities and Uncertainties*. Londres: Royal Society / Royal Academy of Engineering.
- Schütze, Andreas, Nikolai Helwig y Tizian Schneider. 2018. "Sensors 4.0 - Smart Sensors and Measurement Technology Enable Industry 4.0". *Journal of Sensors and Sensor Systems* 7 (1): 359-371. <https://dx.doi.org/10.5194/jsss-7-359-2018>
- Schwab, Klaus. 2017. *La cuarta revolución industrial*. Ginebra: Foro Económico Mundial. <https://bit.ly/3ggz7VZ>
- Shea, Christine M., Roger Grinde y Bruce Elmslie. 2011. "Nanotechnology as General-Purpose Technology: Empirical Evidence and Implications". *Technology Analysis & Strategic Management* 23 (2): 175-192. <https://dx.doi.org/10.1080/09537325.2011.543336>
- Sneader, Kevin, y Shubham Singhal. 2020. "The Future Is Not What It Used to Be. Thoughts on the Shape of next Normal". *McKinsey & Company*, 20 de abril. <https://mck.co/3rligYz>
- Technopolis group Belgium. 2016. "Industry 4.0, Advanced Materials (Nanotechnology)". Documento de trabajo, Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research ISI. Regional Innovation.
- Tsuzuki, Takuya. 2009. "Commercial Scale Production of Inorganic Nanoparticles". *International Journal of Nanotechnology* 6 (5): 567-578. <https://dx.doi.org/10.1504/IJNT.2009.024647>
- World Economic Forum. 2017. *Digital Transformation Initiative. Mining and Metals Industry*. Ginebra: World Economic Forum. <https://bit.ly/3AKRmwi>
- Zafra, Zakarías. 2021. "Precariedad hiperconectada: el teletrabajo no es tan bueno como lo pintaban". *The Washington Post*, 7 de enero. <https://wapo.st/3KXC63Y>

Cómo citar este artículo:

Foladori, Guillermo, y Ángeles Ortiz-Espinoza. 2022. "La relación capital-trabajo en la Industria 4.0". *Íconos. Revista de Ciencias Sociales* 73: 161-177. <https://doi.org/10.17141/iconos.73.2022.5198>