

REPORTAJE

# Fundamentos de la cuarta revolución industrial y sus consecuencias sociales

Texto — Beñat Gallastegi  
Fotografía — Zoe Martikorena



Este reportaje pretende explicar desde un punto de vista técnico en qué consiste la denominada cuarta revolución industrial, pero además busca analizar la implicación social del nuevo paradigma productivo. Para ello, en primer lugar, se expone un breve análisis de las anteriores revoluciones industriales: cuáles han sido sus mayores rasgos tecnológicos y cómo estos han afectado en el desarrollo de las sociedades modernas. Tras esta exposición se analiza la tecnología oculta tras el nombre *Industria 4.0*, y finalmente las implicaciones sociales de su puesta en marcha a medio plazo

La primera revolución industrial comenzó en Inglaterra a finales del siglo XVIII. La tecnología más importante en dicha revolución fue la máquina de vapor (James Watt, años 80), que sustituyó los antiguos sistemas de tracción (animal, hidráulica, eólica...) por una nueva fuente de energía mecánica. El cambio permitió obtener máquinas incansables, alimentadas por carbón, lo que produjo un gran avance en la mecanización<sup>1</sup>. Este proceso de mecanización tuvo su mayor impacto en la industria textil (telar de Jacquard) y en las tecnologías de transporte; como barcos y trenes que propulsados por máquinas de vapor acortaron las distancias.

Cabe destacar que la llamada revolución agrícola (también a finales del XVIII) permitió mejorar drásticamente la eficiencia de los cultivos mediante el uso de maquinaria, las nuevas técnicas agrarias y la importación de nuevos cultivos (maíz, patata...). Por lo que la fuerza de trabajo necesaria para la producción de alimentos fue minimizada. Además, en este periodo se da la privatización de las *enclosures* (tierras comunales), obligando a aceptar trabajos asalariados. En consecuencia, grandes masas de trabajadores fueron desplazados desde el campo a las ciudades. Es la época de la formación de la clase obrera en Inglaterra.

A finales del siglo XIX nuevas fuentes de energías aplicadas como fuerza motriz para la mecanización permitieron un mayor desarrollo de las fuerzas productivas, dando paso a la segunda revolución industrial. Las nuevas fuentes de energía eran combustibles fósiles diferentes al carbón (gas, petróleo...), pero sobre todo la electricidad, que tras años en fase experimental consigue ser una energía útil para la sociedad. El primer ejemplo de esto es la lámpara incandescente (Joseph Wilson Swan recibió la patente británica para su dispositivo en 1879, alrededor de un año antes que Thomas Alva Edison). Por otro lado, el dinamo patentado por Werner von Siemens (precursor de Sie-

mens AG) en 1886 acabaría convirtiéndose en el primer motor eléctrico.

Los medios de transporte siguieron desarrollándose (avión, automóviles...) además de los sistemas de comunicación (teléfono y radio), dando paso a la denominada primera globalización. Esto condujo la apertura del sistema de producción inglés al resto del mundo (Europa, Estados Unidos y Japón).

Además de la fuente de energía y los sistemas de transporte y comunicación, lo que diferencia a esta nueva fase es la producción en masa. Con la optimización de los procesos, dieron lugar a las conocidas cadenas de montaje desarrolladas teóricamente por el Taylorismo<sup>2</sup> y puestas en marcha con gran acierto (en términos productivos) por Henry Ford (precursor del Fordismo) en la producción del Ford T.

Por otro lado, la electrificación de las fábricas dio lugar a la automatización<sup>3</sup> mediante relés (lógica cableada<sup>4</sup>). Por ejemplo, en 1892 se puso en marcha el primer sistema automático de gestión de centralitas telefónicas.

La segunda revolución industrial tuvo un impacto mucho mayor que su predecesora, social y económicamente. Los avances tecnológicos fueron innumerables. Además, gracias a los avances en transporte y medios de comunicación su alcance fue muchísimo mayor.



## La primera revolución industrial comenzó en Inglaterra a finales del siglo XVIII. La tecnología más importante en dicha revolución fue la máquina de vapor

## En este periodo se da la privatización de las *enclosures* (tierras comunales), obligando a aceptar trabajos asalariados. [...] Es la época de la formación de la clase obrera en Inglaterra

## La segunda revolución industrial tuvo un impacto mucho mayor que su predecesora, social y económicamente. Los avances tecnológicos fueron innumerables

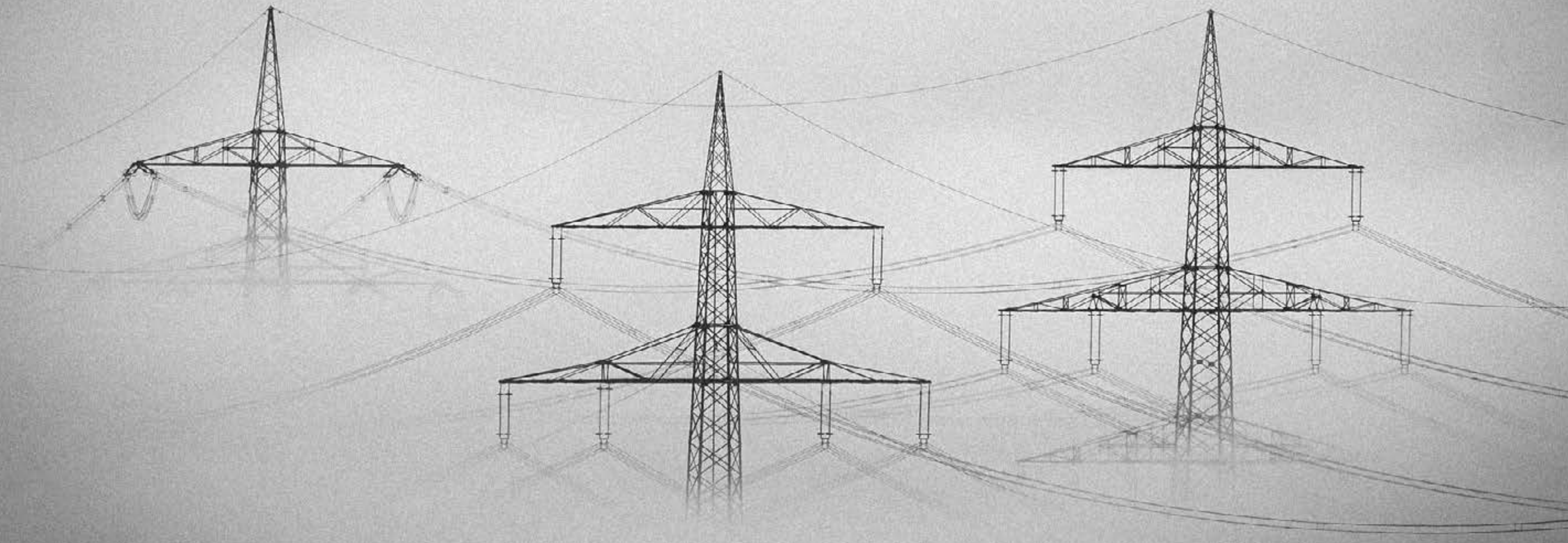
## La tercera revolución industrial, también llamada «revolución de la información», tiene como característica principal la aparición de los computadores

La tercera revolución industrial, también llamada «revolución de la información», tiene como característica principal la aparición de los computadores. En lo respectivo a los procesos productivos esto supuso un gran avance tecnológico. Ya que, aunque en los telares automáticos ya existían máquinas que trabajaban sin operarios (o de una forma asistencial) los computadores permitían una capacidad de automatización nunca imaginada.

Concretamente, la primera computadora en la industria fue uno impulsado por la General Motors. En 1968 solicitó propuestas para la sustitución de sus sistemas controlados por relés por sistemas electrónicos programables. Como resultado obtuvieron el primer PLC (Programmable Logic Controller), un dispositivo programable que podría sustituir todos los sistemas basados en lógica cableada.

Hoy en día, la mayoría de las industrias que nos rodean funcionan gracias a programas ejecutados en computado-





ras (mayormente en PLCs), capaces de fabricar automáticamente piezas complejas para naves espaciales o controlar plantas de fabricación y embotellado de refrescos<sup>5</sup>. Esto sería imposible mediante la automatización mecánica (telar de Jacquard) o la basada en lógica cableada (antiguas centralitas telefónicas).

¿Y qué hay de la cuarta revolución industrial? ¿Qué se esconde tras el nombre *Industria 4.0*?

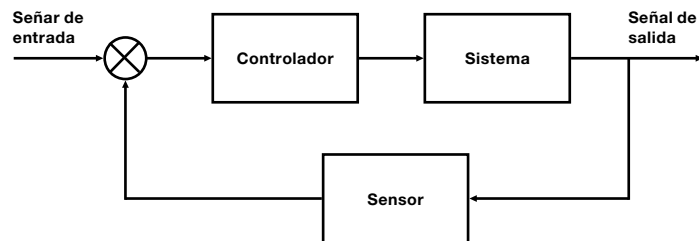
El término *Industria 4.0* se utilizó por primera vez en la feria de Hannover del 2011, uno de los mayores encuentros de la máquina herramienta a nivel mundial. Muchos hablan de la Industria 4.0 como un conjunto de tecnologías: fabricación aditiva, ciberseguridad, computación en la nube, Internet de las cosas, robótica colaborativa, realidad virtual y aumentada, *Big Data* y analítica... Lo cierto es que todas estas tecnologías están implicadas en la transformación hacia la nueva era industrial, pero tras todas ellas existe un fin común: la optimización de los procesos productivos para la extracción de mayor plusvalor.

Para entender cómo se llega a dicho fin es necesario entender cómo funciona un sistema automático simple; por ejemplo, un sistema de calefacción. Un sistema de calefacción se controla mediante un termostato (más simple o moderno, aunque en sus entrañas es lo mismo), donde se marca la temperatura que se desea alcanzar. El dispositivo accionará el sistema de calentamiento (radiador, cañón de aire...) hasta que haya sido obtenida la temperatura deseada; entonces, dejará de calentar. Cuando la temperatura baje del nivel deseado, el sistema de calentamiento se volverá a conectar, y así sucesivamente.

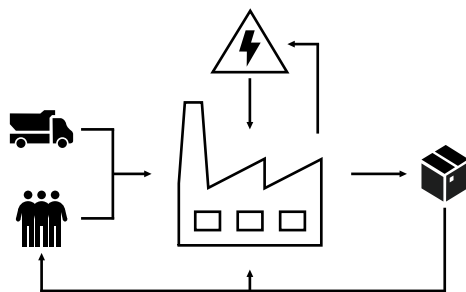
Para este propósito tenemos cuatro elementos: (1) un controlador (el termostato), un sistema de accionamiento (capaz de realizar una acción física: calentar una habitación), sensorica (en este ejemplo, un sensor de temperatura integrado en el termostato) y una forma de comunicación con el usuario



**Hoy en día, la mayoría de las industrias que nos rodean funcionan gracias a programas ejecutados en computadoras (mayormente en PLCs)**



**1. ILUSTRACIÓN** — Sistema automático controlado por lazo cerrado



**2. ILUSTRACIÓN** — Fábrica en lazo cerrado

(la ruleta o pantalla del termostato). A esta forma de controlar un sistema, se le denomina control en lazo cerrado (ilustración 1), donde el mismo sistema automático es capaz de autorregularse gracias a un *feedback loop*<sup>6</sup>.

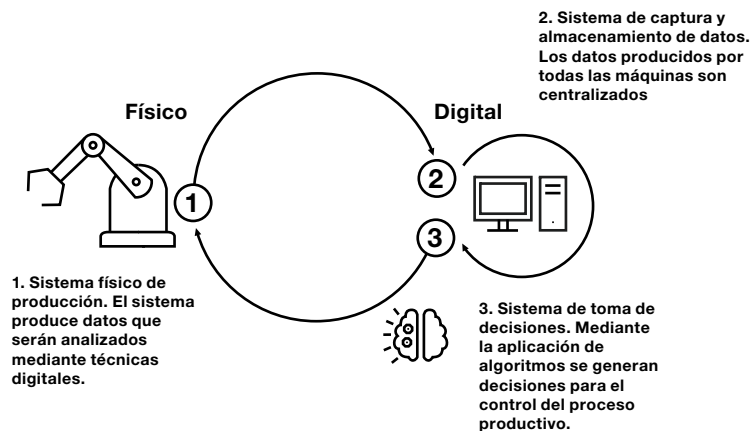
En la industria moderna ininidad de dispositivos y máquinas funcionan gracias a este esquema de control. Son, por ejemplo, aquellas que cumplen funciones relativamente simples para el desarrollo actual de la técnica: embotellado automático, ensamblado de vehículos, cosechadoras gigantes... Pero también nos encontramos con sistemas mucho más complejos como los vehículos autónomos, capaces de decidir en caso de un fallo en los frenos a quién debe salvar<sup>7</sup>.

Sin embargo, al analizar una fábrica en su totalidad se observa cómo, aunque esté formada por máquinas automáticas, en su conjunto no funciona de forma automática (hablando en términos tecnológicos). Es decir, la fábrica tiene una serie de entradas (materia prima, energía, fuerza de trabajo) y mediante los procesos de transformación obtiene mercancías. Hasta ahora este era un proceso lineal de entradas y salidas, no obstante, la *Industria 4.0* se propuso cerrar los ciclos para la automatización a un nivel mayor (véase la ilustración 2). Esto es, para la perfección de la técnica siguiendo las pautas del Toyotismo<sup>8</sup> hacia la optimización total de los procesos productivos.

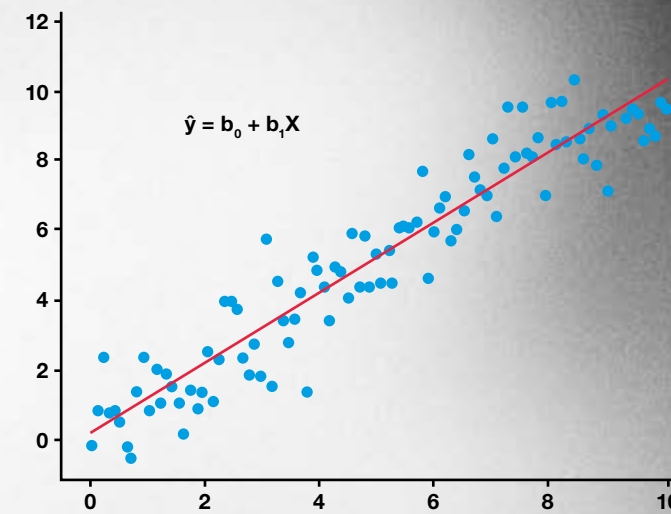
Tecnológicamente hablando, esto se realiza a través de los denominados sistemas ciber físicos. Es decir, dispositivos que además de su capa física o *hardware* tienen una capa digital controlable mediante computadoras centralizadas. En la ilustración 3 se puede observar el esquema de funcionamiento de los sistemas ciber físicos. En dicho esquema se observan tres fases fundamentales. Por un lado, el sistema físico durante las acciones que ejecuta genera gran cantidad de datos (piezas por minuto, velocidades, potencia consumida, estado del sistema...). Por otro lado, un sistema central captura y al-



**Lo cierto es que todas estas tecnologías están implicadas en la transformación hacia la nueva era industrial, pero tras todas ellas existe un fin común: la optimización de los procesos productivos para la extracción de mayor plusvalor**



**3. ILUSTRACIÓN** — Esquema de los sistemas ciber físicos



**4. ILUSTRACIÓN**  
Regresión lineal. Fuente: Didactalia

**La inteligencia artificial es una combinación de algoritmos que tiene como propósito obtener máquinas que puedan sustituir las capacidades humanas**

macena los datos de los dispositivos en la red (por ejemplo, todas las máquinas, sistemas de iluminación... de una fábrica). Finalmente, mediante la aplicación de algoritmos (mayoritariamente modelos de aprendizaje automático<sup>9</sup>) se generan decisiones para el control del proceso productivo.

La tecnología que merece una explicación más profunda, por las implicaciones sociales y económicas que puede suponer, es la Inteligencia Artificial (AI, *Artificial Intelligence*), y en concreto, el aprendizaje automático (ML, *Machine Learning*). Esta es la tecnología que permite cerrar el lazo de una fábrica en su totalidad, permitiendo tener un control total de lo que pasa y podría pasar. ¿Pero cómo se hace esto?

La inteligencia artificial es una combinación de algoritmos que tiene como propósito obtener máquinas que puedan sustituir las capacidades humanas. Sin embargo, hay formas diferentes de poder hacer esto. La forma habitual es crear reglas (algoritmos) que, en base a unas señales, de entrada realizan una serie de acciones. En el caso del termostato, en base a la temperatura ambiente y la deseada se acciona el sistema de calefacción, por lo que podríamos decir que alberga algo de inteligencia. Pero la nueva línea de trabajo en la inteligencia artificial es la creación de máquinas que aprenden de forma automática (ML).

Para este propósito se emplean modelos matemáticos basados en datos. Por ejemplo, en el caso de tener una nube de puntos en un espacio bidimensional como se muestra en la ilustración 4, mediante una regresión lineal, se puede obtener un modelo donde mediante el valor de X se puede obtener el valor de Y. Este es el modelo basado en datos más simple que podamos encontrar; aun así, sirve para entender el concepto. Lo que se ha conseguido es extraer la regla interna de los datos de forma automática, en el caso de la regresión, la ecuación de una recta.

En el aprendizaje automático encontramos dos grandes tipos de pro-



**La revolución industrial que nos espera augura una época en la cual el conocimiento de los técnicos será transferido a cerebros digitales.**

blemas: aprendizaje supervisado y no supervisado. El supervisado es como enseñar a un niño de forma guiada. Por ejemplo, podríamos enseñarle a distinguir manzanas de naranjas. Para dicho propósito le enseñaríamos datos etiquetados<sup>10</sup>, una serie de manzanas diciéndole que son manzanas y una serie de naranjas diciéndole que son naranjas, hasta que sea capaz de diferenciarlas por sí mismo. Por el contrario, en el caso del aprendizaje no supervisado tenemos una serie de datos nuevos (sin etiquetar) y el objetivo es encontrar patrones que permitan agruparlos<sup>11</sup>.

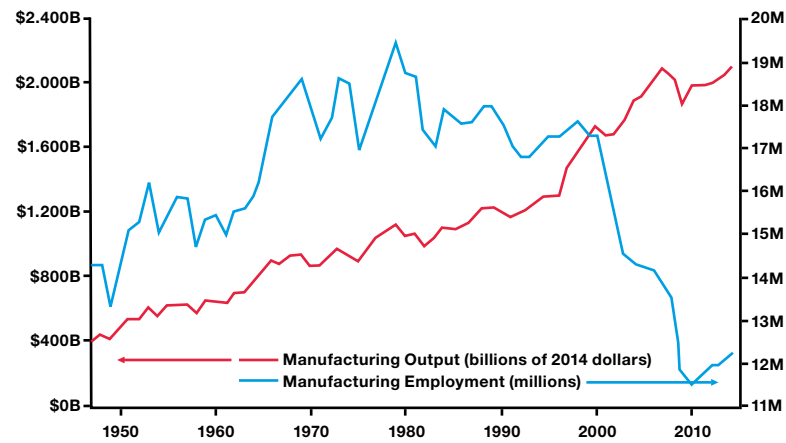
Hacer esto mediante la programación de reglas de forma manual, para intentar sustituir el conocimiento humano, exige muchísimo trabajo, llegando a ser imposible. Por el contrario, este nuevo paradigma permite eliminar el trabajo manual; solo basta con nutrir al sistema con datos para que apren-

da por sí solo.

La mayor expresión de esta forma de inferir conocimiento a las máquinas son las redes neuronales, y en concreto, las denominadas redes profundas (*Deep Neural Networks*). Estos modelos se basan en la arquitectura de nuestro cerebro. Son sucesiones de capas de neuronas (donde cada una realiza una operación matemática simple) cuyos pesos se ajustan para obtener la salida deseada. Por ejemplo, dada una imagen de una naranja, una red neuronal debería decir que es una naranja; de lo contrario, las operaciones neuronales se reajustan hasta que cumpla adecuadamente con su cometido. Cabe decir, que en 2015 una red neuronal de tipo *Deep* fue capaz de clasificar una serie de imágenes mejor que un grupo de humanos<sup>12</sup>.

Las tecnologías de *Machine Learning* son las encargadas de cerrar los lazos a mayor escala. A través de los datos de entrada (parámetros de fabricación, información sobre la materia prima, eficiencia de los operarios...) y el comportamiento de salida obtenido (cantidad de averías, cantidad y calidad de la mercancía... es decir, la ganancia) es capaz de crear reglas que optimizan el sistema de producción. Por eso, se puede afirmar que el concepto de sistema ciber físico junto a las tecnologías ML son las más importantes en la nue-





**5. ILUSTRACIÓN** — Salidas de la manufactura vs empleo en los Estados Unidos de América, 1947-2014. Fuente: Daniel Miessler (2014)

va era industrial.

¿Pero, qué puede suponer esto a nivel social?

Como ocurre con todos los avances tecnológicos en la industria, el objetivo es el incremento del plusvalor mediante la reducción de la fuerza de trabajo necesaria para la producción de mercancías. En este caso, la revolución industrial que nos espera augura una época en la cual el conocimiento de los técnicos será transferido a cerebros digitales.

En los centros imperialistas la aplicación de estas tecnologías supondrá un decremento del empleo, ya que la misma producción se podrá llevar a cabo con menos trabajadores. Además, las fábricas que no sean capaces de aplicar estas tecnologías perderán su competitividad y no serán rentables; por consecuencia, estos trabajos serán desplazados a lugares donde la mano de obra es más barata. Esto ya ha pasado antes; y es que, aunque las dos primeras revoluciones industriales (la primera por la aparición de las industrias y la segunda por el trabajo en masa) trajeron un incremento de los

puestos de trabajo, a partir de la tercera (allí donde haya sido aplicada), existe una tendencia negativa en la cantidad de trabajadores necesarios en la industria. Como ejemplo se puede analizar la ilustración 5, donde se observa que en Estados Unidos, al alcanzar un nivel tecnológico avanzado, el empleo decreció drásticamente.

Por otro lado, y aunque en el desarrollo del reportaje no se ha mencionado, en el proceso industrial el trabajador es una pieza más del puzzle, por lo que su control también será necesario. Esto ya se realiza mediante los sistemas de fichaje, pero ya se están utilizando las primeras pulseras para controlar la actividad de los trabajadores: localización, registro de datos biométricos... Por otro lado, los puestos de trabajo obtienen muchísima información relativa a la productividad de los trabajadores. Al centralizar toda esa información, los cerebros virtuales podrán señalar a trabajadores menos productivos con todas las consecuencias que esto puede suponer.

Además, el control sobre las mercancías también es necesario para op-

timizar el proceso productivo: el tipo de uso, origen de las averías... Esto ya está totalmente aplicado en la industria de la telefonía móvil o los ordenadores personales. Los fabricantes reciben datos de sus mercancías para poder mejorar sus dispositivos en base a la experiencia de los usuarios, sus costumbres y demás. Otra vez más, el control sobre los trabajadores se pone al servicio del Capital.

La implicación real de los avances tecnológicos que se avecinan está aún por ver, y posiblemente sea todavía mayor a lo aquí expuesto. Aun así, estas son algunas de las claves a tener en cuenta. Mientras tanto, seguiremos atentos a los avances tecnológicos para así poder prepararnos para frenar las consecuencias de éstos. /

## NOTAS

**1** Empleo de máquinas para realizar una actividad (fabril, agrícola, etc.), con objeto de emplear menor fuerza de trabajo y recursos materiales.

**2** Sistema de organización de la producción y sus tiempos de ejecución propuesto por Frederick Taylor (1856-1915). El objetivo es optimizar los procesos productivos para reducir los costes de fabricación.

**3** Automatización: ciencia dedicada a crear sistemas de producción sin necesidad de o con muy baja intervención humana.

**4** La lógica cableada emplea relés (aparato que, mediante el empleo de una corriente auxiliar, permite la regulación y dirección de la corriente principal de un circuito. RAE) o válvulas (neumáticas e hidráulicas) para crear diseñar automatismos. Estos sistemas se diseñan para realizar una única función y son difícilmente modificables. Además, requieren gran dedicación para su diseño, desarrollo y fabricación. Por otro lado, la automatización de procesos simples conlleva la utilización de muchos elementos provocando grandes costes.

**5** La planta de Coca-Cola en Galdakao produce y embotella un millón de litros diarios (32 botellas y 25 latas por segundo) con solo 215 trabajadores. (Fuente: Alimarket y finanzas)

**6** El *feedback loop* o bucle de retroalimentación permite a los sistemas automáticos la autorregulación mediante la captación de información del proceso.

**7** En la página del MIT (Massachusetts Institute of Technology) [moralmachine.mit.edu](http://moralmachine.mit.edu) se exponen dilemas morales a los cuales un vehículo autónomo deberá hacer frente.

**8** Nuevo método de producción en cadena que reemplazó al fordismo en los años 70 del siglo XIX. Es un sistema capaz de adaptarse a las demandas del mercado: producir solamente lo que se vende. Hoy día su predecesor, el *Lean Manufacturing*, es el modelo de fabricación que guía a las grandes compañías.

**9** El aprendizaje automático o *machine learning* es un tipo de inteligencia artificial que permite a las computadoras aprender directamente desde los datos.

**10** Los datos etiquetados tienen un nombre (o etiqueta) llamada variable objetivo. En el caso de la regresión lineal la Y, o en el caso del problema de las frutas el tipo de fruta.

**11** Los sistemas de recomendación de mercancías (películas, ropa, libros...) funcionan de esta forma. Crean grupos de clientes con gustos parecidos para recomendar lo que otros han comprado.

**12** ImageNet es una base de datos con más de 14 millones de imágenes referentes a 20.000 categorías (fresa, coche, persona...). Anualmente se celebra una competición (ILSVRC) donde el objetivo es obtener sistemas que cataloguen las imágenes de forma automática.