

## La evolución tecnológica de los sistemas de fabricación y la ciencia estadística

### The technological evolution of manufacturing systems and statistical science

Isidro Jesús González Hernández<sup>a</sup>, Rosa I. Romero-Torres<sup>b</sup>, Andrik E. Castillo-Leyva<sup>c</sup>,  
Sabrina A. Fernández-Amador<sup>d</sup>, Juan A. Juárez-García<sup>e</sup>, Francisca Santana-Robles<sup>f</sup>

---

#### Abstract:

Since the first industrial revolution, manufacturing systems have continuously evolved from the development of concepts to the methods, tools, and technologies available to produce goods or services. One of the main characteristics of the fourth industrial revolution has been the development and application of information and communication technologies permeating all manufacturing systems, which has caused the generation of large volumes of data. These developments are changing the nature of applying Statistical Science. This manuscript aims to provide a general description of the technological evolution of the industrial revolutions and statistics through a qualitative description of a bibliographic and documentary nature to identify how manufacturing systems have evolved and how statistics are becoming involved in the fourth industrial revolution. This analysis shows that the transition from industrial revolutions was due to the massive implementation of technological and scientific innovations that were implemented in the different manufacturing systems. From the context of statistics, the fourth industrial revolution has created new technological and scientific trends to collect, organize, and analyze data. From the perspective of the data itself, it is shown that machine learning, operations research, methods and algorithms, and data mining, and big data techniques are aligned to address new challenges characterized by the complexity, volume, and complexity heterogeneous nature of the data.

#### Keywords:

Industrial revolutions, statistical science, technology

---

#### Resumen:

Los sistemas de manufactura han evolucionado continuamente a partir de la primera revolución industrial, desde el desarrollo de conceptos hasta los métodos, herramientas y tecnologías disponibles para la producción de bienes o servicios. Una de las principales características de la cuarta revolución industrial ha sido el desarrollo y aplicación de las tecnologías de la información y la comunicación que se están impregnando en todos los sistemas de manufactura, lo que ha provocado la generación de grandes volúmenes de datos. Estos desarrollos están cambiando la naturaleza de aplicar la Ciencia Estadística. El objetivo de este manuscrito es brindar una descripción general de la evolución tecnológica de las revoluciones industriales y de la Estadística, mediante una descripción cualitativa de carácter bibliográfico y documental para identificar cómo han evolucionado los sistemas de manufactura y como la Estadística se está involucrando en la cuarta revolución industrial. Los hallazgos de este análisis muestran que la transición de las revoluciones industriales fue por la implementación masiva de las innovaciones tecnológicas y científicas que se implementaron en los diferentes sistemas de fabricación. Desde el contexto de la Estadística se puede observar que la cuarta revolución industrial ha creado nuevas tendencias tecnológicas y científicas para recopilar, organizar y analizar datos. Desde la perspectiva de los propios datos se muestra que, el aprendizaje automático, la investigación de operaciones, los métodos y algoritmos, y las técnicas de minería de datos y big data se alinean para abordar nuevos desafíos caracterizados por la complejidad, el volumen y la naturaleza heterogénea de los datos.

---

<sup>a</sup> Autor de Correspondencia, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, <https://orcid.org/0000-0003-2805-6674>, Email: [igonzalez@uaeh.edu.mx](mailto:igonzalez@uaeh.edu.mx)

<sup>b</sup> Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, <https://orcid.org/0000-0003-4118-3512>, Email: [ro341172@uaeh.edu.mx](mailto:ro341172@uaeh.edu.mx)

<sup>c</sup> Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, <https://orcid.org/0000-0002-6416-8481>, Email: [ca434649@uaeh.edu.mx](mailto:ca434649@uaeh.edu.mx)

<sup>d</sup> Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, <https://orcid.org/0000-0003-3701-4222>, Email: [fe360980@uaeh.edu.mx](mailto:fe360980@uaeh.edu.mx)

<sup>e</sup> Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, <https://orcid.org/0000-0001-9723-2067>, Email: [ju435590@uaeh.edu.mx](mailto:ju435590@uaeh.edu.mx)

<sup>f</sup> Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, <https://orcid.org/0000-0002-3301-9790>, Email: [profe\\_7739@uaeh.edu.mx](mailto:profe_7739@uaeh.edu.mx)

**Palabras Clave:**

Revoluciones industriales, ciencia estadística, tecnología

### Introducción

La revolución industrial es el nombre histórico de los cuatro procesos de revolución tecnológica liderados por la industria, al menos en la era moderna. También el término revolución industrial se puede describir como los cambios sociales y económicos que indican la transición de una sociedad tradicional y agrícola, a una sociedad moderna e industrial. Uno de los aspectos importantes de la primera revolución industrial, desde el contexto del análisis de datos, es que propicio la necesidad de contar con información (datos) para la toma de decisiones. De tal forma que, el desarrollo y aplicación de una de las ramas de las matemáticas tuvo un gran impulso en la primera revolución industrial: La Estadística (UPPERMAN, 1985).

Fue Gottfried A. Achenwall, en 1752, quien usó la palabra "Estadística" para esta nueva rama del conocimiento. Achenwall fundó la escuela de Göttingen y es conocido por los alemanes como el padre de la estadística. Más tarde, investigadores como Karl y Egon Pearson, Gossett, Neyman y, especialmente, Ronald Fisher colaboran notablemente en el desarrollo de esta disciplina. En general, la estadística es una ciencia que se ocupa de la recopilación, organización, presentación, análisis e interpretación de datos numéricos con el fin de tomar decisiones efectivas y pertinentes (Brichni y Guedria, 2018).

Desde sus orígenes hasta toda su historia muestra que goza de una alta reputación en la estrategia de utilizar la información recopilada para analizar la información contenida en los datos. Las personas a menudo se sorprenden con los resultados de predicción de los datos estadísticos, por lo que es absurdo pensar que los datos estadísticos son inútiles.

Hoy en día, los humanos estamos usando datos estadísticos desde los cálculos más simples hasta los más complejos. Se pueden observar ejemplos de estadísticas de uso en la vida diaria como en campos tan diversos como la medicina, arquitectura, investigación de mercados, meteorología, biología y la política.

Debido a la amplia aplicación de esta disciplina, se ha expandido de cálculos simples a métodos utilizados en el conocimiento científico y la sociedad. De igual forma, la estadística es empleada por multitud de profesionales en campos tan diversos como la medicina, la arquitectura, la investigación de mercados, la meteorología, la biología, la política, la industria, entre otros (Lin, Luo, Ieromonachou y Huang, 2018).

Por otra parte, las revoluciones industriales han generado un impacto importante en los sistemas de fabricación,

primero la mecanización de motores y procesos de vapor, luego, la producción en masa, la automatización y la robótica. Recientemente, por su potencial y beneficios relacionados con la integración de procesos, la innovación y la autonomía, se le ha denominado a la última revolución industrial como "Industria 4.0", como se muestra en la Figura 1. Los conceptos de Industria 4.0 y fabricación inteligente son relativamente nuevos y se está considerando la introducción de tecnología digital en la fabricación (Thoben, Wiesner y Wuest, 2017).

Al incorporar tecnologías como Internet de las cosas, computación móvil, nube, big data, analítica de datos, redes de sensores inalámbricos, sistemas integrados y dispositivos móviles en el entorno de fabricación. Alrededor del año 2004, algunas de estas tecnologías se han utilizado de forma aislada. Sin embargo, la integración y posibles funciones de estas tecnologías emergentes permitirán transformar la industria manufacturera a través de procesos de producción totalmente integrados, automatizados y optimizados, logrando resultados notables en la mejora de eficiencia operativa y el desempeño organizacional (Chaves-Palacios, 2004).

Gracias a todos los avances en la tecnología y a la cantidad de información que se genera constantemente, la ciencia de la estadística ha tomado un papel fundamental en la recopilación, organización y en el análisis de grandes datos para la toma de decisiones.



Figura 1. *Revoluciones industriales*  
Fuente: Accel&GROW (2021)

### Primera Revolución Industrial (1760-1870)

El siglo XVIII es conocido como el "Siglo de las Luces y del Progreso", donde se utilizaron los métodos científicos para la economía, la política y la sociedad. Se desarrollaron nuevas tecnologías avanzadas que afectaron a la agricultura, el comercio y las industria. Este

fue el periodo en el que el espíritu capitalista se expresó, primeramente, en Inglaterra y posteriormente, en menor medida, en Francia y Holanda.

La atractiva ganancia ocasionó a que los hombres adoptaran un comportamiento guiado mediante criterios racionales para conseguir objetivos que solían ser bastante arriesgados. El siglo XVIII fue también el siglo de 3 revoluciones, las cuales son:

1. La primera revolución Industrial.
2. La Revolución Francesa.
3. La Revolución Americana.

Las políticas en los mercados que fueron adoptadas por las naciones líderes condujeron a una serie de conquistas coloniales por medio del saqueo y la explotación indiscriminada de indígenas. En la segunda mitad del siglo XVIII aumentó la importación del oro y plata en América, se obtuvieron ganancias de la producción de azúcar y el uso de los esclavos estadounidenses y esclavos que fueron traídos a la fuerza desde África. Las ganancias de la producción y el comercio eran muy importantes, y las grandes empresas, sobre todo francesas e inglesas, entraron en conflictos muy violentos (Coluccia, 2012).

Norte América tenía un sistema agrícola que se basaba principalmente en la esclavitud y eso ocasionó que tuviera un considerable progreso. En esa época, Estados Unidos estaba constituido por trece colonias que tenían sistemas políticos, constitucionales y legales muy similares, los cuales fueron establecidos por colonos procedentes de Gran Bretaña. Después de 1763, las colonias inglesas empezaron a protestar por los impuestos por el país de origen, en 1774 Inglaterra decidió controlar a las colonias bajo un régimen militar, el 4 de julio de 1776 el congreso de las colonias votó por la declaración de independencia, estalló una gran guerra que duró alrededor de 6 años. Francia, España y Holanda ayudaron a los colonos y pudieron lograr su deseada independencia junto con los ideales de igualdad de los hombres, el derecho a la vida, la libertad, el autogobierno y la búsqueda de la felicidad.

La independencia de las colonias Norte Americanas inspiró a otros movimientos de liberación que en su mayoría obtuvieron un resultado positivo, por ejemplo: Argentina 1816, Colombia 1819, México 1821.

Cabe mencionar que, los conflictos sociales más importantes comenzaron a tener lugar en Francia en el siglo XVIII, donde se generó una batalla ideológica desarrollada entre la aristocracia y la clase media, esto dio lugar a la revolución francesa de 1789. A principios de 1700 en Francia, la nobleza ocupaba la mayor parte de la tierra, cobraban rentas desproporcionadas y alardeaban de poder político. El rey escogió a sus consejeros de entre los nobles, las clases medias eran excluidas de

cargos parlamentarios, pero eran elegidas para los cargos de administración, el ejército, el clero y poder judicial. En cambio, la clase media alta que solía ser comerciante, banqueros y fabricantes, incrementó su riqueza y dominó en el mundo de los negocios. Su riqueza fue relacionada con el desarrollo del comercio con las colonias americanas y con el Oriente.

Durante el siglo XVIII hubo muchas revueltas de los pobres, sin embargo, estos fueron controlados rápidamente, pero científicos y filósofos desarrollaron ideas innovadoras que contribuyeron al malestar social, con ayuda de la ciencia se hizo un gran progreso especialmente en la química, en la ingeniería mecánica y en la ingeniería en matemáticas. El pensamiento filosófico necesitaba conocimiento para poder progresar sobre la base de la evidencia y la razón. El pensamiento filosófico necesitaba conocimiento para poder progresar sobre la base de la evidencia y la razón (Coluccia, 2012). La revolución industrial se considera como un proceso complicado, largo y sistemático. Es un proceso donde provoca el cambio de la manufactura a pequeña escala y de la industria artesanal a la manufactura a gran escala. Las fábricas en la primera revolución industrial eran unidades de producción organizadas que empleaban trabajadores asalariados. También, hacían un gran uso del capital fijo y el circulante, pero sobre su tecnología eran máquinas impulsadas por energía hidráulica o vapor.

Los factores que provocaron la transformación del sistema socioeconómico son los siguientes:

- El primer factor es el desarrollo de la ciencia y la tecnología. Como se mencionó anteriormente, el siglo XVIII es el periodo de la ilustración, la racionalidad y el análisis de problemas.
- En todo el continente europeo fue considerable el progreso científico, así como, el avance de la tecnología sobre todo en Inglaterra especialmente en la aplicación de principios científicos a los procesos de producción.
- Los avances tecnológicos se ocuparon tanto en la manufactura como en la agricultura, esto ocasionó que muchos autores escribieron sobre una revolución industrial como de una revolución agrícola.

En 1700, hubo una transformación en la agricultura, por ejemplo, el sistema Norfolk es un sistema de rotación de cultivos desarrollado entre los años 1730-1740 en Inglaterra, como se muestra en la Figura 2. Además, se innovaron las formas de manejo de cría y el ganado, construyeron puestos y almacenes agrícolas. Estas mejoras ocasionaron que se ocuparan más las máquinas impulsadas por vapor o agua.

Por otro lado, en la manufactura, en el inicio de la revolución industrial, la técnica y organización económica de la producción industrial, se estructuró de la siguiente manera:

1. Artesanos que habitualmente trabajaban con un maestro artesano emprendedor o con un comerciante que financiaba y organizaba la producción con el objetivo de vender los productos.
2. Industria artesanal realizada en zonas rurales, distribuida en aldeas y ocupada por familias que también se dedicaban a la agricultura. Este tipo de fabricación también se realizaba normalmente bajo la supervisión de un comerciante que organizaba y financiaba la producción y venta.
3. Instalaciones de fabricación que eran propiedad de un comerciante empresario que empleaba a trabajadores asalariados, que realizan principalmente trabajos manuales.

Según Coluccia (2012), los principales incrementos de proceso de la aplicación de la ciencia en la actividad productiva en Inglaterra son los siguientes:

- El importante incremento demográfico durante el siglo XVIII y un fuerte aumento de la urbanización.
- La mejora para los medios de transporte para lograr que sean más rápidos y eficientes.
- El desarrollo del comercio en las materias primas y productos de manufactura.
- El desarrollo del mercado financiero en Londres, que ocasionó que llegará más capital extranjero y así poder financiar minas, industrias y el comercio.
- Incremento significativo en la demanda de cereales, algodón y lana.
- El establecimiento del espíritu capitalista en las fábricas y en el sistema económico en su conjunto.



Figura 2. Sistema de agricultura Norfolk

Fuente: Montagut Contreras (2018)

### La segunda revolución industrial (1870-1914)

En la segunda mitad del siglo XIX, todo fue una era totalmente nueva. Todo tipo de logros industriales, por ejemplo, la energía eléctrica, el acero, los automóviles, los aviones, fueron grandes cambios a la estructura de la industria y también ayudó al mejoramiento del nivel de vida de las personas. La segunda revolución industrial inició aproximadamente en la década de 1860 y terminó a principios del siglo XX. Esta revolución extendió los éxitos bastante limitados y localizados de la primera revolución a una gama mucho más amplia de actividades y nuevos productos. Los niveles de vida y el poder adquisitivo del dinero aumentaron rápidamente, ya que las nuevas tecnologías llegaron como nunca antes a la vida cotidiana de las clases media y trabajadora.

Antecedentes de las necesidades sociales. Pasando la primera revolución industrial, la energía a vapor ayudó demasiado a la producción. Sin embargo, con el desarrollo de la producción en masa y la mecanización en la industria, las deficiencias de la energía de vapor se volvieron notables, por ejemplo, las máquinas a vapor eran enormes y muy difíciles de reducirlos. Un mayor desempeño industrial necesitaba una fuente de energía más conveniente y esto fue el avance de la segunda guerra industrial.

Por otra parte, en la primera revolución industrial, el hierro reemplazó a la madera y este fue un material muy importante para las máquinas. Sin embargo, los procesos de fabricación de acero avanzaron poco. La aplicación de las grandes máquinas a vapor ocasionó que creciera demasiado la velocidad operativa de las máquinas y las cargas sobre ellas, exigiendo mayor cantidad de acero y de mejor calidad.

El trasfondo científico: en 1820, Hans Ørsted que era un físico danés, descubrió el magnetismo ocasionado por la corriente eléctrica. En 1831, Michael Faraday que era un científico británico, reveló el comienzo de la inducción electromagnética. Ambos descubrimientos encontraron el camino para la invención de los motores y generadores eléctricos. Más tarde, en la década de 1860, sobre la base del descubrimiento de Faraday, James Maxwell, un gran científico escocés, propuso una teoría completa del campo electromagnético. Maxwell y Faraday sentaron las bases teóricas para que la sociedad humana entrara en la era de la electricidad (Zhang y Yang, 2020).

El trasfondo político: en 1870, los movimientos democráticos en los principales países occidentales se acercaban a su finalización. La esclavitud fue prohibida en los Estados Unidos, la servidumbre en Rusia fue

abolida, la unificación se logró en Alemania e Italia, la democracia británica avanzó aún más, el sistema de la República se estableció en Francia después de un caos político a largo plazo. Alemania, en particular, inició el proceso de reforma y unificación a principios del siglo XIX. Como resultado, se desarrolló rápidamente en economía, ciencia, tecnología y educación, convirtiéndose en un rival de Gran Bretaña como la principal nación industrial de Europa durante la segunda revolución industrial.

La era de la electricidad: la amplia aplicación de la electricidad fue el símbolo principal de la segunda revolución industrial. Basándose en el descubrimiento de Faraday de la inducción electromagnética, muchas personas en Francia, Gran Bretaña, Dinamarca y Alemania, intentaron construir generadores eléctricos durante el período de 1830 a 1860. Entre ellos, el más famoso fue un alemán, Werner Siemens quien hizo un generador de DC autoexcitado en 1866 que fue expuesta en la exposición universal de París en 1867. La invención de las máquinas de vapor fue iniciada por D. Papin en 1690 y completada por J. Watt en 1790, cubriendo 100 años. Sin embargo, solo pasaron 35 años desde el descubrimiento de Faraday de la inducción electromagnética hasta la invención del generador por parte de Siemens. El tiempo de la ciencia a la tecnología se redujo considerablemente. En 1882, Thomas Edison, el gran inventor estadounidense, construyó el generador más grande del mundo en ese momento, la primera central eléctrica de DC y el primer sistema de iluminación eléctrica en Nueva York. En 1869, Zenobe Gramme, un ingeniero belga, desarrolló un generador de DC. En la exposición universal de Viena de 1873, dos generadores se conectan por error. La corriente generada por una máquina voló hacia la bobina de armadura de la otra, que de repente comenzó a girar por sí sola (Zhang y Yang, 2020).

El generador de Siemens simbolizó la era de la electricidad y marcó el comienzo de la segunda revolución industrial. La electricidad comenzó a usarse para impulsar máquinas, tomando la posición del vapor, la electricidad supera al vapor de muchas maneras. Los motores cambiaron considerablemente la imagen de los talleres durante los 20 años a partir de finales del siglo XIX. Las máquinas y herramientas individuales comenzaron a funcionar con motores eléctricos, eliminando los ejes de las líneas aéreas y las máquinas de vapor y se hizo posible la fabricación a gran escala. Para proporcionar suficiente energía, se construyeron más centrales eléctricas. En consecuencia, las turbinas de vapor e hidráulicas, que eran equipos críticos en las centrales eléctricas, estaban creciendo rápidamente, formando un nuevo sector de maquinaria eléctrica.

Era de acero. En 1856, Henry Bessemer, un ingeniero británico, inventó un nuevo proceso de fabricación de acero con convertidor (el proceso Bessemer), el primer proceso industrial para fabricar acero directamente a partir de arrabio fundido. Este proceso es conocido como el proceso de hogar abierto. El nuevo proceso tiene una serie de ventajas, como: bajo costo y gran capacidad de horno. La fabricación de acero es un proceso de fundición por oxidación. En ese momento, el metal en el convertidor se fundía con oxígeno en el aire y el nitrógeno quitaba mucho calor. Con el avance de la tecnología de fundición, la producción de acero creció rápidamente y la calidad mejoró significativamente también. Este proceso permitió producir un acero con mejor tenacidad y resistencia, además, tenía mayor vida útil, reemplazando gradualmente el hierro forjado y convirtiéndose en el nuevo material para la maquinaria, ferrocarriles, construcción y muchos otros campos.

Introducción al desarrollo de la tecnología mecánica. En la segunda revolución industrial, los motores eléctricos y los motores de combustión interna reemplazaron a los motores de vapor, convirtiéndose en los motores principales dominantes, como se muestra en la Figura 3. En la era de la electricidad, las turbinas hidráulicas y de vapor se desarrollaron rápidamente y se utilizaron ampliamente. También se lograron grandes avances en las transmisiones mecánicas e hidráulicas. El diseño de máquinas entró en una etapa semi-teórica y semi-empírica. En este período, se desarrollaron varias máquinas herramientas de precisión, como rectificadoras y máquinas de procesamiento de engranajes. Apareció la producción en masa y se estableció por primera vez un sistema de gestión moderno en las empresas de construcción de maquinaria. En toda la segunda revolución industrial, la velocidad de la máquina siguió aumentando continuamente; aparecen automóviles y aviones. La mejora de la productividad y la precisión del mecanizado se convirtió en el tema central de la fabricación. Se hicieron grandes avances en materiales para herramientas de corte; una variedad de máquinas herramienta generales y especiales formaron una gran familia. Se desarrolló la producción en masa y en serie se estandarizó y se mejoraron gradualmente. La industria de fabricación de maquinaria estaba saliendo de la infancia y avanzaba paso a paso hacia la modernización. En 1896, Ford fabricó su primer automóvil. En 1908, se lanzó el famoso Ford Modelo T ("T" representa un tipo de los coches desarrollados en Ford Motor). En 1918, la mitad de los automóviles que viajaban en los EE. UU. Eran el modelo T. Además, en 1913, Ford Motor Company desarrolló la primera línea de montaje del mundo en la que se produjeron un total de 15 millones del Model T en 1927, esto estableció un récord mundial (Zhang y Yang, 2020).

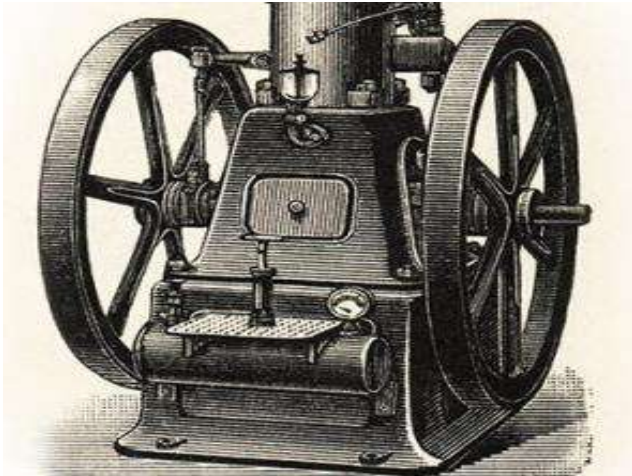


Figura 3. Motor de combustión interna

Fuente: Moyer (2012)

### La tercera revolución industrial (1970)

La Tercera Revolución Industrial es un proceso que viene definido por los cambios que se han operado en sectores tan presentes en la vida cotidiana de muchas personas, tales como las comunicaciones o la energía. Esta revolución industrial fue un proceso multipolar, liderado por Estados Unidos, Japón y la Unión Europea. Sus inicios datan de mediados del siglo XX y se vincula con el término "Sociedad de la Información". No existe consenso en una fecha concreta para determinar su fin. Este concepto fue lanzado por el sociólogo y economista norteamericano Jeremy Rifkin. Posteriormente, lo recogieron y avalaron entidades e instituciones, como, por ejemplo, el Parlamento Europeo en el 2006. Su base es la confluencia y complementariedad de las nuevas tecnologías de comunicación y energía (Clark y Grant Cooke, 2010).

La tercera revolución industrial se asienta sobre nuevas tecnologías de la información y la comunicación, así como en las innovaciones que permiten el desarrollo de energías renovables. Como consecuencia, las potencialidades de estos dos elementos actuando conjuntamente, se generaron grandes cambios en diversas áreas. Nunca antes se había llegado a unas cotas tan altas de interactividad e intercomunicación, al tiempo que las innovaciones en materia energética podían significar un cambio tan sustancial como el que se prevé con el desarrollo y explotación de fuentes renovables de energía.

Las innovaciones de esta revolución industrial se basan en la convergencia de las nuevas tecnologías en materia de comunicación y energía, como se muestra en la Figura 4.

Según Economipedia (2016), La Tercera Revolución Industrial: cómo internet, la electricidad ecológica, y las impresoras 3D están marcando el comienzo de una era de capitalismo distribuido, establece que los cinco pilares de esta revolución son:

- La transformación de las energías renovables.
- Utilizar los edificios de cada continente en microcentrales para generar energía renovable.
- Expandir el hidrógeno y otras tecnologías de almacenamiento en cada edificio, así como en toda la infraestructura para almacenar energía.
- Utilizar internet para transformar la red eléctrica a nivel mundial en una red de energía que actúe como la conexión a internet.
- Transición de los vehículos que utilizan combustibles fósiles hacia los vehículos eléctricos enchufables y de celdas de combustible que pueden comprar y vender electricidad ecológica mediante un sistema de red eléctrica inteligente, continental e interactivo.

Estos pilares, sobre los que se ha asentado el proceso, han obtenido algunos frutos, concretando en algunas innovaciones que están presentes en la vida cotidiana de las personas y que cuentan con gran importancia desde una perspectiva económica. Entre ellas podemos señalar Internet, la fibra óptica, la fibra de vidrio o los avances en nanotecnología.

Como todo cambio de carácter socioeconómico, existen aspectos favorables, desfavorables o que suponen un reto para las sociedades en los que ocurren. Las revoluciones industriales anteriores alteraban la realidad social y económica, pero también aspectos políticos, culturales e institucionales. Uno de los principales riesgos es, por tanto, que se acreciente la desigualdad, fruto de los desequilibrios en el acceso a las nuevas tecnologías. Estos desequilibrios pueden suceder en el ámbito interno de las sociedades, pero también entre sociedades. Con ello, sin una adecuada gestión de la nueva realidad, se pueden acrecentar las diferencias sociales entre los miembros de una determinada sociedad, pero también las diferencias de poder entre diferentes naciones.

Una forma óptima de gestión puede servir para aliviar situaciones de crisis con el fin de mejorar el bienestar general. Por ejemplo, con el desarrollo de estas nuevas tecnologías se ha conseguido innovaciones en el campo de la medicina. Se han desarrollado formas de comunicación eficaces como nunca antes había existido. También en la configuración de herramientas energéticas menos contaminantes y sostenibles. Se puede dinamizar una economía o lograr nuevos puestos de trabajo y reducir el desempleo e incluso, puede avanzarse hacia lograr una gestión óptima de recursos limitados, sin poner en riesgo, o al menos minimizando, el futuro de las

próximas generaciones. En definitiva, parece necesario ser conscientes de que los avances tecnológicos no son buenos o malos en sí mismos, sino en función de lo que con ello se pueda lograr (Clark y Grant Cooke, 2010).



Figura 4. Tercera revolución industrial

Fuente: Economipedia (2016)

### La cuarta revolución industrial (2011)

Hasta ahora, tres revoluciones industriales han llevado a cambios de paradigma en el dominio de la manufactura: mecanización mediante energía de agua y vapor, producción en masa en líneas de montaje y automatización mediante tecnología de la información. Sin embargo, en los últimos años, la industria, junto con los investigadores y los responsables políticos de todo el mundo, han abogado cada vez más por la próxima cuarta revolución industrial. La transformación industrial asociada con la revolución de la fabricación inteligente y la introducción de Sistemas Ciber-Físicos (CPS, por sus siglas en inglés) crea numerosos desafíos para las organizaciones, la tecnología y los empleados.

Los fundamentos de la cuarta revolución industrial suponen el último capítulo, hasta el momento, de las diferentes revoluciones industriales (primera, segunda y tercera) que ha vivido la humanidad. En este cuarto caso, los fundamentos sobre los que se levanta son:

- El internet de las cosas.
- Robótica.
- Dispositivos conectados.
- Los sistemas ciber-físicos.
- El "hágalo usted mismo" (cultura maker).
- La fábrica 4.0. (ciber fábrica o industrias inteligentes).

La robótica, como una de las ramas más vanguardistas e innovadoras del ámbito de la ingeniería, juega en este contexto un papel de primera magnitud. Se espera que la nanotecnología, la inteligencia artificial, los drones y las impresoras 3D sirvan para modificar diferentes aspectos de nuestras sociedades actuales. Espacios como la medicina, la industria de alta precisión o las relaciones laborales sufrirán un importante impacto con esta nueva

revolución industrial. Sin embargo, la realidad es que, aunque estos elementos suponen la base de la cuarta revolución industrial, no podemos entender que se tratan de elementos que se encuentran consolidados. De hecho, cabe interpretar que actualmente estamos inmersos en este proceso, con la variabilidad y la impredecibilidad que ello supone en relación con el resultado del mismo.

En el mundo del trabajo y la configuración del mercado laboral serán algunos de los ámbitos donde las repercusiones serán más importantes. Según algunas previsiones, se perderán 5 millones de puestos de trabajo en 15 países industrializados en los próximos años, como consecuencia de la robotización y mecanización de cada vez más tareas. Esta posibilidad crea un espacio de incertidumbre, dado que serán muchos los trabajadores y trabajadoras a los que afectará la expansión de un nuevo modelo productivo. Especialmente podrá aumentar el desempleo en sectores vinculados a mano de obra no cualificada y cuyas tareas son más mecánicas y manuales, así como las de carácter administrativo.

No obstante, gracias a la cuarta revolución industrial, también se abrirán nuevas ventanas de oportunidad, con la aparición de nuevos mercados para la mano de obra. En este sentido, se espera que con los nuevos avances aparezcan nuevas profesiones cuyas tareas se centren en la producción de estas nuevas tecnologías, en los análisis de datos, relacionadas con capacidades digitales o en tareas comerciales especializadas en los nuevos productos. También en ámbitos de dirección, donde será clave la creatividad y la creación de nuevas ideas y productos, en un mercado en constante cambio y rápida obsolescencia.

Además de los cambios en el ámbito laboral, los avances se dejarán sentir, y en algunos casos ya lo ha hecho, en muy diferentes aspectos. La nueva economía que se avecina tendrá un alto componente de digitalización. De tal modo que, se considera que algunos de los impactos que ya se pueden percibir están relacionados con la volatilidad geopolítica, la expansión de internet, el cómputo en la nube, los avances en la computación y el big data, la popularización de la economía colaborativa, la flexibilidad del mercado laboral o la transición a unas economías más verdes, conscientes de las limitaciones de los recursos naturales.

Se espera, junto a estas repercusiones, que aparezcan otras, como el desarrollo de nuevas formas de energía más limpias, la proliferación de robótica y automoción autónoma o, incluso, aspectos relacionados con la ciberseguridad y los ciberataques, como se muestra en la Figura 5. Evidentemente, todas estas particularidades que se desarrollarán en los próximos años, o al menos así se espera, implicarán cambios, retos, posibilidades y peligros. Lograr minimizar los aspectos más negativos, al

mismo tiempo que se maximizan los elementos positivos, será una de las principales prioridades que tendrán que gestionarse (Thoben, Wiesner y Wuest, 2017).



Figura 5. Cuarta revolución industrial

Fuente: Tiscareno, K. (2020)

## Evolución de la Estadística

La revolución Industrial ha dado un gran impulso hacia la Estadística, hoy en día esta ciencia es una de las más influyentes y útiles en la mayoría de los campos del conocimiento, ya que permite comunicar información basada en datos cuantitativos, así como resumir resultados de una manera significativa para la toma de decisiones.

A inicios de la Edad Antigua la estadística se representaba en formas sencillas, utilizaban símbolos en rocas, palos y paredes de cueva para poder contar las personas o animales. El origen de la estadística comenzó en la Isla de Cerdeña; ya que existen monumentos prehistóricos que constan de bloques de basalto superpuestos sin mortero cuyas paredes se encontraban grabados grandes signos que servían para llevar la cuenta de la caza y del ganado pertenecientes a los Nuragas. En el año 3000 a.C., los babilonios utilizaban tablillas de arcilla donde recopilaban los géneros vendidos o cambiados mediante trueque y datos sobre producción agrícola. En China en el año 2200 a.C. efectuaban censos ordenados por Tao, con fines sociales y tributarios y así, determinaban los impuestos, derechos de votos y ponderar la potencia guerrera. De igual manera, en Grecia en el año 540 a.C. realizaban censos, pero para fines tributarios, sociales y militares, así mismo en Roma en el año 500 a.C. se realizaban censos cada cinco años para así conocer la población existente en aquellos tiempos.

Durante la Edad media, aproximadamente en el año 1069 d.C., fue el inicio de la estadística oficial en Inglaterra, tiempo después el Rey Xólotl ordenó censar a los súbditos en América prehispánica, en el año 1150 d.C. fue iniciado el primer procedimiento estadístico para

garantizar un estándar hecho por el Rey Eduardo I, donde establecía una prueba anual de la pureza de las monedas de oro que se realizaban en Inglaterra. En los tiempos modernos, Jacob Bernoulli hace la primera "ley de los grandes números", gracias a esto es considerado el iniciador de la teoría de probabilidad.

Pascal en el año 1654, llevó al primer razonamiento explícito sobre un valor esperado, tres años después; Huygens publicó "razonamientos sobre los juegos del azar", poco después John Graunt considerado uno de los fundadores de la estadística utilizó registros parroquiales para estimar la población de Londres. El astrónomo Edmund Halley preparó las primeras tablas de mortalidad que se consideraban como base de los estudios contemporáneos, también hizo un mapa de la trayectoria de un eclipse solar sobre Inglaterra; uno de los primeros mapas de visualización de datos (Champkin, 2013).

A mediados del año 1674, John Graunt junto con William Petty desarrollaron los primeros métodos estadísticos y censales humanos. Abraham de Moivre durante el año 1718 d.C. formuló la "Ley de probabilidad normal". Sin embargo, el matemático francés Pierre Simón Laplace hizo una misma formulación sobre la "Ley de probabilidad normal" en el año 1774 d.C.

La estadística proviene del vocablo "Status" que significa estado; esto acuñado por Gottfried Achenwall en el año 1760 d.C. En 1761 d.C., Thomas Bayes demuestra el Teorema de Bayes, para después Ronald Fisher lo acuñara alrededor de 1950. En el año 1786 fue inventado el Polígono de frecuencia y el Diagrama de barras por William Playfair.

Durante la edad contemporánea Gauss deriva la distribución normal o la curva en forma de campana que alcanza su punto máximo alrededor del valor medio y cae rápidamente hacia más o menos infinito (Gupta, Mandal y Parsad, 2021).

Gracias a John Sinclair se comenzó a utilizar el término Estadística alrededor del año 1801 para referirse a la colección y clasificación de datos.

En 1835 surge el concepto de Mediana. En el año 1855, Gauss introdujo lo que ahora se conoce como la distribución de Gauss, la función gaussiana y la curva de error gaussiana (Gupta, Mandal y Parsad, 2021).

Ronald Fisher fue uno de los científicos más influyentes de la estadística, pues es considerado como el padre de la estadística moderna, así mismo desarrolló técnicas claves para la experimentación como la construcción de estimadores, los criterios de eficiencia del estimador, el método de estimación de máxima verosimilitud, los intervalos de confianza, los contrastes de significación, la noción de grados de libertad, la teoría del diseño de experimentos, el análisis de varianza y covarianza y el análisis discriminante. Poco después Harold Hotelling es conocido por desarrollar el análisis de correlaciones



canónicas y el análisis de componentes principales y de generalizar la prueba de la *t* de Student a varias dimensiones (de Oliveira Neto, Torkar, Feldt, Gren, Furia y Huang, 2019).

Abraham Wald, fundó la teoría de muestreo secuencial y la teoría de decisión para tomar decisiones bajo condiciones de incertidumbre. En 1934, Jerzy Neyman fortaleció la teoría de intervalos de confianza de pruebas estadísticas, desarrolló la teoría del muestreo de poblaciones finitas, formuló los diseños de muestreo estratificado y creó el lema de Neyman Pearson.

Según Sagaró del Campo y Zamora Matamoros (2019), George Box acuñó el término robustez para designar métodos estadísticos que procuran asegurar resultados aceptables, cuando no se cumplen totalmente los supuestos estándares en que se basan los métodos estadísticos regulares.

La estadística es una disciplina científica, cuyo objetivo es recopilar, organizar análisis de datos concerniente a individuos, series de hecho o grupos, entre otros; todo esto para deducir decisiones efectivas y pertinentes, como se muestra en la Figura 6 (Barreto-Villanueva, 2012) en su trabajo definen la Estadística como la ciencia que tiene por objeto aplicar las leyes de la cantidad a los hechos sociales para medir su intensidad, deducir las leyes que los rigen y hacer predicciones.



Figura 6. Evolución de la estadística

Fuente: Zapata (2020)

La estadística se divide en dos grandes ramas: 1) Estadística Descriptiva se refiere a los métodos que implican recopilación, organización y presentación de un conjunto de datos con el fin principal de describir varias de sus características fundamentales de los datos, para eso a veces se suele usar gráficos, tablas o indicadores; y 2) Estadística Inferencial, la cual se refiere a todos aquellos métodos que permiten hacer una estimación de una característica de la población respecto a una población, con base sólo en los resultados analizados y

obtenidos de una muestra, teniendo en cuenta el grado de incertidumbre existente (Barreto-Villanueva, 2012).

Los métodos estadísticos son una serie de procedimientos para manejo de datos cualitativos y cuantitativos; ambos recopilan y procesan información para su análisis.

El método estadístico consta de cinco etapas: la primera etapa es la recolección de datos que es la medición de variables y recoge información que se especifica en diseño de investigación; la segunda etapa es el recuento que consiste en utilizar la información y someterla a revisión, clasificación y a procesar en paquetes de software estadísticos; la tercera etapa que es la presentación de resultados que es la realización de cuadros, tablas y gráficos que permiten una visualización precisa de datos obtenidos, este acomoda los datos de manera que se pueda efectuar una revisión numérica precisa; la cuarta etapa que es la síntesis es resumir la información en forma de medidas que permiten expresar de manera sintética las principales propiedades numéricas de grandes series o agrupamiento de datos; y por último, la quinta etapa el análisis que es la comparación de las medidas de resumen previamente calculada a través de fórmulas estadísticas y el uso de tablas específicamente diseñadas (Burgos-Martínez, Argüelles-Pascual y Palacios, 2021).

## Tendencias de la estadística en la Industria

### 4.0

La Industria 4.0 o cuarta revolución industrial establece el marco de referencia en la excelencia digital, facilitando el día a día de los trabajadores, al tiempo que se reducen los costos de producción. Se ha producido un aumento en las soluciones de la tecnología inmerso con múltiples aplicaciones que facilitan tanto la gestión del mantenimiento remoto de los productos y equipos, así como la autogestión. En este sentido, la cantidad masiva de datos ha dado pauta a que ciencias como la estadística, informática y matemáticas; permitan manejar la parte de algoritmos de hardware y software de predicción y reconocimiento de tendencias.

La frase "No puede administrar lo que no mide", es atribuida a W. Deming y Peter Drucker, la cual hace referencia a la gran cantidad de datos que se generan por minuto. De tal forma, que la estadística juega uno de los roles más importantes, pues con todos los datos recabados optimiza la toma de decisiones, analiza las tendencias y los sistemas de producción, mejorando radicalmente el manejo de los datos (McAfee y Brynjolfsson, 2012).

Sabemos que la Industria 4.0 se caracteriza por la implementación de técnicas avanzadas de producción, combinada con operaciones inteligentes; esto ha dado paso a que los algoritmos se vuelvan indispensables para

emular las decisiones del mundo digital, estos son creados a partir de la captura de información del mundo físico, creando un registro digital de la misma. Posteriormente, la información se comparte y se interpreta utilizando analítica avanzada, análisis de escenarios e inteligencia artificial para descubrir información relevante. Finalmente, se crean los algoritmos para la toma de decisiones del mundo digital a datos efectivos, estimulando acciones y dando paso a cambios en el mundo físico.

Las empresas que se basan en la recopilación de datos tienen un mejor desempeño, pues mediante su administración organizativa y tecnológica han demostrado en sus informes anuales que han sido más productivas y que su desempeño ha sido más sólido en comparación con empresas que aún no adoptan la toma de decisiones basada en los macro datos (McAfee y Brynjolfsson, 2012).

Una de las tendencias más importantes de la Industria 4.0 es la velocidad con la que se manejan los datos, la obtención de información en tiempo real hace que la empresa que pone en práctica estos conocimientos tenga ventaja sobre las otras empresas que aún no las usan; pues brinda agilidad significativa al conocer los datos, una ventaja es que no se cierra a un solo campo de información; esto dependerá de los fines y la información que busque la empresa, gracias a la obtención de datos rápidos, eficaces y precisos es posible tener una ventaja competitiva y siempre ir un paso adelante (McAfee y Brynjolfsson, 2012).



Figura 7. Tendencias de la estadística en la industria 4.0  
Fuente: Penta Analytics (2018)

En resumen, la Ciencia Estadística es clave en el proceso de reconocimiento de datos e interpretación, se apoya de las habilidades de limpieza, organización y orden siendo herramientas y técnicas que han aumentado de valor, como se muestra en la Figura 7. Esta nueva generación trabaja día a día con procesos informáticos con tecnologías que fueron creadas con la finalidad de establecer el manejo de conjuntos de grandes datos, conocidos como big data. En este sentido, la integración de Ciencia Estadística con las nuevas tecnologías de la

Industria 4.0 han permitido descubrir correlaciones, patrones, tendencias y preferencias valiosas para que las empresas tomen mejores decisiones (Berinato, 2019).

## Conclusiones

Las revoluciones industriales del pasado se han caracterizado por varias innovaciones tecnológicas y científicas, las cuales han sido aprovechadas por las industrias o empresas para resistir la competencia en la capacidad de producción, la calidad y la eficiencia. Sin embargo, en la cuarta revolución industrial, el big data industrial y los sistemas ciber-físicos se están desarrollando continuamente generando varios desafíos. En este sentido, los sistemas de fabricación suelen generar una gran cantidad de datos de varios dispositivos, sistemas y aplicaciones que se pueden aplicar a varios procesos para lograr la personalización y mejorar la robustez y la eficiencia de un producto o servicio. La ciencia de datos se ha establecido como un importante campo científico emergente y un paradigma que impulsa la evolución de la investigación en disciplinas como la estadística, ciencias de la computación y la inteligencia artificial. También, la nueva revolución ha provocado nuevos desafíos científicos relacionados, que van desde la captura, creación, almacenamiento, recuperación, intercambio, análisis, optimización y visualización de datos, hasta el análisis e integrador de los datos a través de recursos complejos heterogéneos e interdependientes para una mejor toma de decisiones, colaboración y para la creación de valor. En este sentido, la Ciencia Estadística está jugando un papel fundamental en la cuarta revolución industrial.

## Referencias

- Accel&GROW. (2021). Tecnología 4.0 y la cuarta revolución industrial. Recuperado el 24 de marzo de 2021, de <https://www.accelgrow.com/2019/01/25/tecnologia-4-0-y-la-cuarta-revolucion-industrial/>.
- Barreto-Villanueva, A. (2012). El progreso de la estadística y su utilidad en la evaluación del desarrollo. *Papeles de Poblacion*, 18(73), 1–31.
- Berinato, S. (2019). Data science and the art of persuasion, 1-3.
- Brichni, M. & Guedria, W. (2018). Data analytics challenges in industry 4.0: A case-based approach. In *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics): Vol. 11230 LNCS*. Springer International Publishing.
- Burgos-Martínez, R., Argüelles-Pascual, V. & Palacios, R. H. (2021). Etapas del método estadístico. 9(17), 35–36.
- Chaves-Palacios, J. (2004). Desarrollo tecnológico en la Primera Revolución Industrial. *Norba. Revista de Historia*, 17(17), 93–109.
- Champkin, J. (2013). Timeline of statistics. *Significance*, 10(6), 23-26.
- Clark, W. W. & Grant Cooke, M. J. (2010). The Third Industrial Revolution. In *Sustainable Communities Design Handbook*. Elsevier Inc.

- Coluccia, D. (2012). The First Industrial Revolution (c1760-c1870) The application of the scientific method to economic, social and political problems. 41–51.
- de Oliveira Neto, F. G., Torkar, R., Feldt, R., Gren, L., Fúria, C. A., & Huang, Z. (2019). Evolution of statistical analysis in empirical software engineering research: Current state and steps forward. *Journal of Systems and Software*, 156, 246–267.
- Economipedia. (2016). Las innovaciones de la tercera revolución Industrial. Recuperado el 25 de marzo de 2021, de Economipedia.com.
- Gupta, V. K., Mandal, B. N. & Parsad R. (2021). History of Statistics on Timeline. ICAR-Indian Agricultural Statistics Research Institute Library Avenue, Pusa, New Delhi – 110012, INDIA.
- Lin, Y., Luo, J., Ieromonachou, P. & Huang, L. (2018). Manufacturing System Evolution. *2018 15th International Conference on Service Systems and Service Management, ICSSSM 2018*, 1–6.
- McAfee, A., & Brynjolfsson, E. (2012). Big Data The management revolution. *Harvard Business Review*, 1-8.
- Montagut Contreras, E. (2018). Revolución agrícola y revolución agraria en la ilustración española. Andalán. Recuperado el 26 de abril de 2021, de <http://www.andalan.es/?p=14437>.
- Moyer, M. (2012). El motor de combustión interna. Investigación y ciencia. Recuperado el 27 de abril de 2021, de <https://www.investigacionyciencia.es/revistas/investigacion-y-ciencia/la-unificacion-de-las-fuerzas-554/el-motor-de-combustion-interna-9302>.
- Penta Analytics. (2018). 5 claves para el uso de analytics & big data. Recuperado el 25 de marzo de 2021, de <https://www.analytics.cl/analytics/5-claves-uso-analytics-big-data/>.
- Sagaró del Campo, N. M., & Zamora Matamoros, L. (2019). Evolución histórica de las técnicas estadísticas y las metodologías para el estudio de la causalidad en ciencias médicas. *Medisan*, 23(3), 534–556.
- Tiscareno, K. (2017). México puede ser líder en la cuarta revolución industrial. Recuperado el 25 de marzo de 2021, de <https://expansion.mx/opinion/2020/01/27/mexico-puede-ser-lider-en-la-cuarta-revolucion-industrial>.
- Thoben, K. D., Wiesner, S. A., & Wuest, T. (2017). “Industrie 4.0” and smart manufacturing-a review of research issues and application examples. *International Journal of Automation Technology*, 11(1), 4–16.
- Upperman, P.M. (1985). Industrial Statistics. *Statistica Neerlandica*, 39(2), 203-217.
- Zapata, F. (2020). Estadística descriptiva: historia, características, ejemplos, conceptos. Lifereder. Recuperado el 26 de abril de 2021, de <https://www.lifereder.com/estadistica-descriptiva>.
- Zhang, C., Yang, J. (2020). A History of Mechanical Engineering. In *A History of Mechanical Engineering*.