

Capítulo I

HISTORIA DE LA INGENIERÍA INDUSTRIAL

José Luis Ruiz Meza¹
César José Vergara Rodríguez²

Resumen

En este Capítulo del libro se encuentra una revisión de los principales hitos y actores que marcaron el desarrollo de la Ingeniería Industrial a largo de la historia en el mundo y, particularmente, en Colombia. En la construcción de este documento, se estableció un diseño de investigación no experimental, de tipo transaccional o transversal, con un alcance descriptivo, en donde se revisaron diferentes tipos de trabajos de investigación, lo que se tomó como insumo para construir una línea de tiempo, en donde se describe la evolución de esta disciplina. En el aparte inicial de este Capítulo se describen cronológicamente, los trabajos de los actores que marcaron las principales tendencias en esta disciplina en el mundo. Esta revisión inicia en la última década del siglo XIX, examinando los trabajos de Frederick Taylor y Henry Metcalfe, hasta llegar al análisis de la influencia que tiene en esta disciplina las nuevas tendencias como los Negocios Electrónicos, el Internet, las Telecomunicaciones, el Broadcasting, entre otros, en la primera década del siglo XXI. En el contexto colombiano, se revisan los diferentes puntos de vista que

1 Ingeniero Industrial de la Corporación Universitaria del Caribe—CECAR, con título de Maestría en Logística Integral de la Universidad Tecnológica de Bolívar. Vinculado como docente de tiempo completo desde el año 2018 en el Programa de Ingeniería Industrial de la Facultad de Ciencias Básicas, Ingeniería y Arquitectura de la Corporación Universitaria del Caribe—CECAR. **Correo:** jose.ruizm@cecar.edu.co

2 Ingeniero Industrial de la Universidad Nacional de Colombia, con título de Especialista en Logística Integral del Instituto Tecnológico Metropolitano—ITM, y actualmente adelanta estudios de Maestría en Logística Integral en la Universidad Tecnológica de Bolívar. Vinculado como docente de tiempo completo desde el año 2014, y como Coordinador Académico desde el año 2016 en el programa de Ingeniería Industrial en la Facultad de Ciencias Básicas, Ingeniería y Arquitectura de la Corporación Universitaria del Caribe—CECAR. **Correo:** cesar.vergara@cecar.edu.co

existen acerca de los orígenes de la Ingeniería en Colombia. En esta parte, se discute el aporte realizado por las comunidades indígenas, los europeos y las comunidades afrodescendientes. Adicionalmente, se reconoce el trabajo de personajes que impulsaron a la Ingeniería Industrial en el país como profesión, así como también el origen de la enseñanza de esta ocupación en el país.

Palabras Clave: Ingeniería Industrial, Tendencias, Historia, Colombia.

Abstract

In this chapter of the book is a review of the main milestones and actors that marked the development of Industrial Engineering throughout history in the world, and particularly in Colombia. In the construction of this document, a non-experimental, transactional or transversal research design was established, with a descriptive scope, in which different types of research work were reviewed, which was taken as input to construct a timeline describing the evolution of this discipline. In the opening section of this chapter, the works of the actors who set the main trends in this discipline in the world are described chronologically. This review begins in the last decade of the 19th century, examining the work of Frederick Taylor and Henry Metcalfe, and goes on to analyse the influence that new trends such as e-Business, the Internet, Telecommunications, Broadcasting, among others, have on this discipline in the first decade of the 21st century. In the Colombian context, the different points of view on the origins of engineering in Colombia are reviewed. This part discusses the contribution made by indigenous communities, Europeans and communities of African descent. In addition, the work of people who promoted Industrial Engineering in the country as a profession is also recognized, as well as the origin of the teaching of this occupation in the country.

Keywords: Industrial Engineering, Trends, History, Colombia

Introducción

Desde la invención de las máquinas de vapor, que impulsaron el desarrollo Industrializado en Inglaterra desde el siglo XVIII y, posteriormente, su adopción y nuevas contribuciones dadas en Estados Unidos, se dio el origen de las Ingenierías Industriales y mecánicas, promovidas por los diversos aportes que se realizaron a lo largo de esta época, (Baker, 1957). Siendo el objetivo principal, el aumento de la productividad, concebida como la obtención de un mayor número de bienes y/o servicios con menores recursos empleados (Morales & Masis, 2014).

Sin embargo, el enfoque no se limitó a la invención de nuevas máquinas, sino que abarcó el diseño de nuevos métodos de trabajo, sistemas de costos y metodologías que permitían aumentar la productividad de cada trabajador y de la fábrica en general (Ferrell, 2008). Dentro de estas metodologías, las más importantes, además de la administración científica y la Ingeniería de la eficiencia, fueron los diseños de los estudios de métodos y movimientos, los cuales se convirtieron en herramientas de gran relevancia en el campo de la Ingeniería Industrial, y que se aplican en la actualidad (Niebel & Freivalds, 2009). Entre los autores principales de estos aportes, se encuentra Frederick Taylor, quien es considerado como el padre de la Ingeniería Industrial.

En este Capítulo del libro se esboza, inicialmente, una línea de tiempo que data desde los inicios de la Industrialización, hasta los aportes contemporáneos, que, a partir del valioso estudio de métodos y tiempos, dejaron sentadas las bases de la Ingeniería Industrial como disciplina y que se concretó con el surgimiento de la investigación de operaciones y los temas concernientes a la seguridad Industrial del trabajador (Zambrano & Alvarado, 2011).

Se consideran los aportes de los esposos Gilberth, de Fayol, Babbage, Harrington y otros autores importantes que nutrieron las bases de la carrera, y que, gracias a esto, hoy en día la Ingeniería Industrial adquiere una gran relevancia en las empresas de cualquier naturaleza, con un diverso campo de acción y en una pluralidad de áreas tanto administrativas, como de producción, Ingenierías de métodos, diseño de productos y procesos, administración de la calidad, administración de proyectos, la creación de

empresas, entre muchas otras (Zambrano & Alvarado, 2011; Mosquera, 2002).

En este sentido, la Ingeniería Industrial nace para abarcar todos los problemas concernientes tanto al control de la producción y la calidad, el diseño de industrias y métodos de costos, como la implementación de la investigación de operaciones que surge como consecuencia de la Segunda Guerra Mundial, y la seguridad de los trabajadores en cuanto a los riesgos y enfermedades que se pueden desencadenar de sus actividades laborales.

A lo largo de la historia mundial, la Ingeniería se ha identificado como una herramienta fundamental para el desarrollo de los pueblos y el mejoramiento de su nivel de vida. En Colombia, el desarrollo de esta disciplina ha estado presente en los últimos 180 años de su historia. Sus aportes se han evidenciado en casi todas las actividades económicas del país, desde la agricultura y la minería tradicional, hasta el moderno sector eléctrico (Valencia, 2000). Adicional al análisis de los orígenes de la Ingeniería Industrial en el contexto mundial, en este Capítulo se examinan los inicios de esta disciplina en el territorio colombiano. En este examen, se detallan los acontecimientos históricos que marcaron su desarrollo, así como también los principales personajes e instituciones que direccionaron la enseñanza de esta profesión en el país.

Metodología

El objetivo fundamental de este Capítulo de libro es realizar una revisión de los principales hechos que marcaron el desarrollo de la Ingeniería Industrial a largo de la historia y, particularmente, en Colombia. Metodológicamente, para realizar la construcción de este Capítulo, se estableció un diseño de investigación no experimental, de tipo transaccional o transversal, con un alcance descriptivo. Este diseño inicia con la realización de una búsqueda y un análisis de diferentes tipos de trabajos científicos que recogieran la evolución de Ingeniería Industrial en todo el mundo. Para este fin, se revisaron trabajos científicos publicados en revistas indexadas en Publindex, ISI, y Scopus, así como también Capítulos de libros que abordaran esta temática.

Seguidamente, se definieron dos líneas de trabajo diferenciables en este Capítulo para analizar la revisión realizada. La primera, apunta al análisis del origen de la profesión de la Ingeniería Industrial en el contexto mundial; y la segunda, examina los inicios de esta disciplina en Colombia. Dentro del análisis realizado en el ambiente mundial, primero se clasificaron los diferentes aportes a esta disciplina encontrados en fases, las cuales obedecen un orden cronológico. Cada una de estas fases denota un hito en la historia de esta profesión, relacionando a su vez sus principales artífices. La línea de trabajo que contempla los inicios de la Ingeniería Industrial en Colombia, inicia identificando las principales influencias que tuvo la Ingeniería prehispánica en Colombia, para luego identificar cronológicamente cuáles personajes e instituciones fueron los precursores de esta disciplina en el país. Finalmente, se presentan las discusiones y conclusiones generadas por este trabajo.

Una Mirada a los Precursores de la Ingeniería Industrial en el Mundo

La Ingeniería Industrial se puede considerar como una de las funciones administrativas más amplias, debido a la gran variedad de actividades a las que puede apuntar en la búsqueda de la optimización de los recursos y eficiencia de los sistemas, diferenciada de otras Ingenierías cuya formación se acota al objeto de su propósito, mientras que la Ingeniería Industrial abarca todas las actividades administrativas, sumadas a las de diseño, mantenimiento y control, que, por su naturaleza, no pueden ser asignadas o realizadas por otras Ingenierías (Ferrell, 2008).

Esta amplitud de actividades enmarcadas en la Ingeniería Industrial, viene dada desde los inicios de su creación como profesión, incluso, desde antes de la revolución Industrial que tuvo sus orígenes en Inglaterra durante el siglo XVIII (Martin-Vega, 2001). En este sentido, antes de la adopción de herramientas y máquinas que ayudaban al aumento de la productividad Industrializada, la elaboración de los productos se realizaba mediante un sistema “artesanal” que no generaba problemas administrativos, debido a la simplicidad del enfoque, en el cual cada trabajador podía laborar hasta que no había luz o hasta que tuviera fuerzas físicas (Baracca, 2002). Sin embargo, a partir de las invenciones que se fueron desarrollando, las empresas debían organizarse de manera que se lograra una articulación con

los nuevos aparatos y las nuevas fuentes de energías, para poder generar ventajas a partir de la innovación, diseñando y rediseñando sus líneas de producción (Ferrell, 2008).

Uno de los primeros aportantes, tanto en la invención de máquinas que aumentaban el proceso productivo y su articulación en las fábricas, fue Sir Richard Arkwright, quien inventó y patentó, en 1769, el marco giratorio para mejorar la fabricación de algodón y la implementó en las fábricas, acompañada de un control administrativo que permitía normalizar la producción y las operaciones de los trabajadores, convirtiendo a la industria algodonera en la más grande de la nación (Hiil, 1969).

Otra industria fortalecida por el desarrollo de nuevas ideas y procesos Industriales, fue la de cerámica, la cual, bajo el ingenio de Josiah Wedgwood, en 1772, logró el desarrollo de la producción masiva de cerámicas (Wedgwood Potteries) y la mejora de los canales de transporte de la mercancía de manera más simple y económica. Además, se le atribuye ser uno de los pioneros en el desarrollo y aplicación de un sistema de contabilidad de costos (Drake, 2005).

Retomando el auge de la industria algodonera, el siguiente aporte lo representa el empresario Robert Owen, quien fue denominado como el “socialista utópico”, y que, siendo el director de la fábrica más exitosa e innovadora de Gran Bretaña, generó mejores condiciones para sus trabajadores en el molino de New Lanark, luego de su adquisición en 1789, mediante la motivación y transformación de los obreros en trabajadores con mayor productividad, mayor índice de felicidad y satisfacción, apoyados de una educación proporcionada. Adicionalmente, se le atribuye ser el primer socialista proponente del día laboral de ocho horas (Santos Redondo, 2002).

A pesar de estos avances innovadores que generaron cambios en la sociedad misma, las factorías, creadas por la conveniencia del empresario de centrar en un mismo lugar los telares y que los trabajadores se desplazaran hasta allá a realizar sus labores, aún dependían de la fuerza del agua, del hombre e incluso de los animales, para poder accionar y mover estas nuevas máquinas, quedando un tanto limitadas a pesar de las diversas mejoras que se les realizaban y que, en cierta medida, retrasaron la invención del motor a vapor (Baracca, 2002).

Por esta razón, paralelamente en la época, James Watt recibe la petición de mejorar la máquina de vapor inventada por el herrero Thomas Newcomen, en 1712, hecho que, posteriormente, Watt pudo lograr y patentar en 1769, surgiendo así la primera máquina de vapor y mejorada por él mismo en 1782. Esta máquina fue un gran impulso a la era de la Industrialización y el desarrollo de la era capitalista, en donde Watt, en sociedad con Matthew Boulton, crearon una fábrica de máquinas de vapor, con las cuales se impulsó la productividad en las fábricas.

Al momento de darse este nuevo auge que caracterizó a la revolución Industrial, se inició la invención de las máquinas de vapor de otros autores; entre ellos, uno de gran relevancia fue Richard Trevithick, quien, en 1798, creó una máquina de vapor que, a diferencia de la de James Watt, era de alta presión y más pequeña, logrando albergarse casi que en cualquier lugar de la factoría, evitando así tener que construir o disponer de grandes espacios para ubicar las máquinas, (Haynes, 1998). Sin embargo, a finales de 1800, la tercera parte de las máquinas utilizadas en las industrias fueron fabricadas por Watt (Baracca, 2002).

Paralelo al avance de las factorías, se realizaron grandes aportes a la Ingeniería Industrial en cuanto al estudio del trabajo, siendo uno de los precursores el ingeniero francés Jean Rodolphe Perronet, quien, en 1760, inició la realización de estudios de tiempos en la fabricación de broches. Trabajo complementado, posteriormente, por el inglés Charles Babbage en 1820 (Niebel & Freivalds, 2009), quien, además de la máquina de diferencial, creó los sistemas analíticos cuya finalidad era la mejora de las operaciones. Su principio se enfocaba en la división del trabajo y/o los procesos productivos, para identificar las partes simples y complejas, y adjudicar estas últimas a trabajadores más capaces, con la finalidad de ahorrar capital en mano de obra (Sartelli, 1999).

El trabajo de Babbage fue uno de los más avanzados en la época, para el aumento de la productividad en la nueva era industrializada (Ferrell, 2008). Solo años más tarde en 1881, surge uno de los aportes más importantes en la historia de la Ingeniería Industrial, siendo el estadounidense Frederick Winslow Taylor, considerado como el padre de la Ingeniería Industrial, a quien se le adjudica un nuevo sistema de trabajo que se basa en la “tarea”. Esta tarea es dividida en “elementos”, a los cuales se les realiza un estudio

de tiempos de manera individual, con miras a determinar el tiempo total de cada tarea para poder estandarizarla (Niebel & Freivalds, 2009).

Taylor no se quedó solo en esto, sino que también determinó que se debían entregar las instrucciones de las tareas a realizar a cada trabajador, las cuales eran planeadas con un día de anticipación por la gerencia. Esto, con la finalidad de lograr una mayor productividad, pero dejando a un lado los aspectos emocionales del trabajador y mirándole como una simple máquina. Publicando así, en 1903, ante la Sociedad Estadounidense de Ingenieros Mecánicos (ASME) el trabajo titulado: “Shop Management”, conformado por técnicas de estudios de tiempos, estandarización de herramientas y máquinas, uso de cálculos para determinar los tiempos, tarjetas de instrucciones, sistemas de costos, de rutas, de clasificación de productos, etc. (Niebel & Freivalds, 2009).

Adicionalmente, Taylor publicó en 1911 el libro titulado *The Principles of the Scientific Management*, considerándose también el padre de la administración científica, basada en cuatro principios, con el cual refuerza todos sus aportes: la organización científica del trabajo, la selección científica y la capacitación del trabajador, cooperación entre directivos y operarios, y división del trabajo entre administradores y operarios (Mayol, 2013).

Los aportes de estudios de métodos de Taylor obtuvieron mayor relevancia con el trabajo que realizaron los esposos Frank y Lilian Gilberth en cuanto al estudio de movimientos, en donde se identificaron todos los movimientos corporales básicos para la realización de una tarea. Estos movimientos básicos —que en total fueron 18— se denominaron “los therbligs”, categorizados como eficientes e ineficientes, siendo la finalidad la eliminación de los ineficientes, optimización de eficientes y organización del método (Niebel & Freivalds, 2009). En este punto, la industria reconoce la importancia de los movimientos corporales en el aumento de la producción, llegando a ser la base de trabajo para la realización de los estudios de tiempos, que, actualmente, son empleados por los ingenieros industriales (Ferrell, 2008).

La importancia de estos avances innovadores —tanto en la industrialización como en la organización del trabajo— que se dan paralelamente en la búsqueda de la obtención de una mayor productividad,

sin duda alguna, son el punto de nacimiento para la Ingeniería Industrial (Baker, 1957).

Estos avances y aportes en el campo de aplicación de la Ingeniería Industrial siguieron aumentando, evidenciándose trabajos importantes y publicaciones de métodos que aún se consideran e implementan en las industrias. Entre estos, el trabajo realizado por el estadounidense Harrington Emerson, el cual publicó en 1911 el libro “The Twelve Principles of Efficiency”, con el cual establece los 12 principios de la Eficiencia y los aplica en una compañía, organizando procedimientos nuevos de compras, costos, estandarizaciones y generando ahorros significativos. Este método se reconoce como la Ingeniería de la Eficiencia (Niebel & Freivalds, 2009), cuyos principios son: ideales definidos claramente; sentido común; asesoría competente; disciplina; trato justo; registros confiables, inmediatos y adecuados; distribución de las órdenes de trabajo; estándares y programas; condiciones; operaciones estándar; instrucción de la práctica estándar por escrito; y recompensa a la eficiencia (Ferrell, 2008).

El aumento de la producción que se había logrado, resultado —entre otras acciones— de los planes de incentivos que, posteriormente, sufrieron un recorte inescrupuloso por parte de las directivas, vuelve a decaer, puesto que el trabajador rechaza los efectos deshumanizantes de la Ingeniería Industrial, al sentirse como en un proceso “acelerado” para la obtención de un mayor número de productos.

A la luz de esto, el aporte de Henry Laurence Gantt, en 1917, da un nuevo giro a la administración científica, visionándola más allá de un proceso acelerado, gracias a la implementación de un nuevo sistema de pagos de salarios en donde se premiaba al trabajador con el desempeño por encima del estándar, pero dándole mucha relevancia a las relaciones humanas (Niebel & Freivalds, 2009). La medición de la productividad se realizaba mediante gráficas o diagramas denominados “diagramas de Gantt”, los cuales brindaban una comprensión rápida y efectiva para los directivos (Weaver, 2012).

Dados los efectos deshumanizantes de la Ingeniería Industrial en los trabajadores, se aprueba una ley que limitaba los estudios de tiempos, dando mayor relevancia y uso al estudio de movimientos de los Gilberth, que se encontraba un poco rezagado hasta los años comprendidos entre

1920 y 1930, en donde se generaron valiosas publicaciones que rescataban la importancia de la implementación de estas metodologías (Ferrell, 2008). En el estudio de movimientos y de tiempos estos se encontraban separados. Sin embargo, para 1934, con la publicación de Harold B. Maynard, en donde establece el término de la Ingeniería de Métodos, disminuye la polarización de estas dos metodologías, debido que, en alguna forma, ambas se complementan.

En este sentido, la Ingeniería de Métodos puede concebirse como una técnica que busca el aumento de la productividad mediante la identificación de las operaciones que hacen parte del trabajo, con el fin eliminar aquellas que no generen valor agregado y poder realizar las actividades con mayor eficiencia y de manera estándar, determinando, posteriormente, los tiempos estándares para las realizaciones de dichos procesos. Este proceso va desde el diseño de los centros y puestos de trabajo en donde se realizan las operaciones, hasta el seguimiento de las mismas y sus posteriores mejoras continuas (Ferrell, 2008; Niebel & Freivalds, 2009).

Posteriormente, Maynard y Gustave Stegemerten establecen la manera sistemática para el análisis de las condiciones para la realización de una operación, de manera que se pueda observar en qué punto se pueden efectuar mejoras, y la publican en 1939 en su libro *Operation Analysis* (Ferrell, 2008; Maynard & Stegemerten, 1939).

Con el surgimiento de todos los aportes mencionados anteriormente, se crean, además, organizaciones que permiten acercar la ciencia a la Ingeniería Industrial. Entre estas tenemos a la Taylor Society, fundada en 1915; la Sociedad de Ingenieros Industriales, fundada en 1917; que luego se fusionan, en 1936, para fundar a la Sociedad para el Avance de la Administración (SAM por sus siglas en inglés). Adicionalmente, en 1948, surge el Instituto de Ingenieros Industriales y de Sistemas (IISE), cuyo finalidad es el apoyo de la Ingeniería Industrial, de la calidad y la productividad para mantener la Ingeniería Industrial a nivel profesional (Niebel & Freivalds, 2009).

Un aporte —que sin duda no se puede dejar sin mencionar— es el padre de la producción en cadena, Henry Ford (Toma, 2005), quien tuvo como ideal la fabricación de automóviles económicos en términos de costos de producción y precio de venta. Ford fue el creador del revolucionario

“Modelo T”, en 1908, con el cual se vio casi que obligado a diseñar en 1913 una línea de ensamble que le permitiera a su compañía —la Ford Motor Company— producir un auto en casi 93 minutos, debido a la alta demanda que se generó (Zambrano & Alvarado, 2011).

Luego del Fordismo —que puede ser concebido como un sistema de trabajo en línea continua, con organización parcializada del trabajo y estandarizada— surge el Toyotismo, en la década de 1980, tomando mayor relevancia que el modelo de Ford, debido a la implementación del sistema justo a tiempo (JIT por sus siglas en inglés), con el cual se abandona el sistema masivo de producción y se atendían las necesidades de los clientes, sumados a un control total de la calidad (Zuccarino, 2012).

El control total de la calidad surge en la década de 1960 gracias a los aportes de William Edwards Deming, quien acuñó los 14 Principios de la Calidad, considerándose como el máximo exponente de la calidad, y Joseph Juran, quien expuso la trilogía de Juran, que consta de tres procesos: planificación, control y mejora de la calidad, y además aplicó el concepto de la “Ley de Pareto”, diseñada por el economista Vilfredo Pareto en 1906 (Sales, 2013; Barroso, 2007). En este sentido, la calidad ha sido y será uno de los aspectos más importantes a considerar dentro del campo de acción de la Ingeniería Industrial, y que ha tenido una evolución a través del tiempo desde su responsabilidad a cargo de cada trabajador, luego de los inspectores de calidad, hasta su direccionamiento hacia los procesos, denominándose como Gestión de la Calidad Total (TQM por sus siglas en inglés) (Zambrano & Alvarado, 2011).

Sin duda alguna, otro aspecto importante de la Ingeniería Industrial es la investigación de operaciones, la cual surge gracias al direccionamiento a la industria de los modelos empleados en la resolución de los problemas militares en la Segunda Guerra Mundial. Con este nuevo enfoque, se buscó la solución de problemas para la asignación de los recursos disponibles de la manera más eficiente para la organización, (Hillier & Lieberman, 2010).

Uno de los autores de mayor relevancia fue George Dantzig, quien desarrolló en 1947 el Método Simplex, empleado para la resolución de problemas de programación lineal (Hillier & Lieberman, 2010; Zambrano & Alvarado, 2011). Sin embargo, la aplicación de la investigación de operaciones solo florece con el apoyo de los recursos computacionales,

debido a la complejidad de los problemas que se presentan en la asignación de recursos, como transportes, inventarios, localizaciones, entre otros.

En este sentido, a la luz de la evolución de la Ingeniería Industrial en el mundo, se han considerado diversos aportes que hoy en día sustentan la base de los diversos campos de esta carrera. Así como los estudios de tiempos, movimientos, calidad, e investigación de operaciones, otro campo que fue generando valiosos aportes durante el desarrollo de la Industrialización fueron los procesos de manufactura.

En este campo se evidenciaron los aportes de sistemas para la planeación de requerimientos de materiales (MRP por sus siglas en inglés) formalizada por Joseph Orlicky y George Plossi, (1994), al igual que la planeación de los recursos empresariales (ERP por sus siglas en inglés), promovida en la década de 1980 por la Sociedad Americana de Producción y Control de Inventarios (Yeh, Yang, & Lin, 2007), y que, en esencia, son apoyadas por software y sistemas computacionales (Zambrano & Alvarado, 2011).

El desarrollo de software para facilitar la aplicación de diversas metodologías y la consecución de resultados en términos de optimización y/o eficiencia, marca un eslabón de suma importancia en la Ingeniería Industrial. Con la introducción de las computadoras, se desarrollaron aplicaciones sistematizadas de estudios del trabajo, tales como la Técnica Maynard de Operaciones en Secuencia (MOST por sus siglas en inglés), propuesta en 1960 por Maynard para establecer estándares mediante actividades lógicas definidas en modelos secuenciales, y que superaba los inconvenientes que presentó la técnica de Medición de Métodos y Tiempos (MTM, por sus siglas en inglés) desarrollada en 1948, en cuanto al manejo de una gran cantidad de datos detallados durante su aplicación (Karim, Emrul Kays, Amin, & Hasan, 2014).

Tabla 1

Aportes en la conceptualización de la Ingeniería Industrial a través de la historia

Fases	Año/Hito	Herramientas	Autor
Administración Científica	Finales de 1800 y primera década de 1900	Registro para el control de costos y fichas para pago de remuneraciones	Henry Metcalfe
		Administración científica del trabajo. Estudio de trabajo, programación de producción, Productividad. micromovimientos	Frederick Taylor
Primera fase: amplio desarrollo de las bases de la administración científica	Años 1910 a 1920	Estudio de micromovimientos	Esposos Gilberth
		Gráfica de línea de ensamble	Henry Ford
		Gráfica de programación de actividades	Henry Gantt
		Modelo de lote económico en gestión de stocks	F. W. Harris
Segunda fase: aparición del enfoque humano como opuesto y complemento de la administración científica	Años 1930 *corresponde a esta fase	Muestreo de inspección y tablas estadísticas de control	Shewhart, Dodge y Romig
		Estudio de condiciones de trabajo	Elton Mayo
		Los equipos de trabajo afectados por la tecnología	Trist-Instituto Tavistock
Tercera fase: desarrollo de las ciencias formales en la solución de problemas de las organizaciones	Años 1940	Método simplex para la solución de problemas dentro de sistemas complejos	Grupos IO de UK y Dantzig
	Años 1950 -1960	Simulación, teoría de colas, líneas de espera, teoría de las decisiones, programación matemática, PERT -CPM	Investigadores y académicos de USA y Europa
		Cibernética, tecnología, teoría matemática, teoría de sistemas	von Bertalanffy

Fases	Año/Hito	Herramientas	Autor
Cuarta fase: desarrollo de las ciencias formales en la solución de problemas de las organizaciones	Años 1970	Programación y control de taller, MRP, pronósticos, gestión de inventario, gestión proyectos.	IBM, Orlicky, Wight
	Años 1980	Kanban, poka-Jokes, filosofía de la calidad, ciclo PDCA	Tai-Ichi Ohno, Deming y Juran
		Control de Manufactura: CIM, FMS, CAD/CAM, robótica	Empresas al-tec
		Teoría de restricciones, análisis de cuello de botella	Goldratt
	Años 1990	Administración de la Calidad Total: Premio Baldrige, ISO 9000, Ingeniería valor, mejora continua.	ANSI, ISO
		ReIngeniería: Análisis de procesos, análisis de valor, outsourcing, resizing	Hammer
		Cadena de Suministro: Software SAP/R3 cliente/servidor	SAP, Oracle
	Primera década del siglo XXI	Negocios electrónicos: Internet, telecomunicaciones, broadcasting	Amazon, eBay, América Online, Yahoo!.

Otro aporte importante, fueron los sistemas de diseños asistidos por computadoras y fabricación asistida por computadoras CAD/CAM (Desing Computer Aided / Design Computer Aided Manufacturing) los cuales facilitaron el diseño y el cálculo de ecuaciones matemáticas complejas, generando resultados muy rápidos, ahorrando recursos en tiempo y costos (Páramo, 1998).

De aquí en adelante, el uso de la automatización y de la inteligencia artificial en las grandes líneas, se fue consolidando teniendo en cuenta su aplicación a las líneas de producción que representan tareas repetitivas, además de su limitación por el alto costo y su vulnerabilidad en tiempos improductivos (Ferrell, 2008).

Por otra parte, la gestión humana toma una gran relevancia dentro de la Ingeniería Industrial, que va evolucionando a través del tiempo, desde la creación del Departamento de Relaciones Industriales; la creación del concepto del concepto de administración de recursos humanos en 1970, la gerencia del talento humano, hasta la gestión humana, el cual es el enfoque actual (Saunders, 1991; Zambrano & Alvarado, 2011).

Como hemos podido apreciar a lo largo de la historia, las bases que cimientan a la Ingeniería Industrial son muchas y en diversos campos de acción (Tabla 1). Los cuales condujeron a su conceptualización, siendo el más completo y asertivo el dado por el IISE, quien define a la Ingeniería Industrial como:

La Ingeniería Industrial se ocupa del diseño, la mejora y la instalación de sistemas integrados de personas, materiales, información, equipos y energía. Se basa en conocimientos especializados y habilidades en las ciencias matemáticas, físicas y sociales, junto con los principios y métodos de análisis y diseño de Ingeniería, para especificar, predecir y evaluar los resultados que se obtendrán de dichos sistemas. (Ferrell, 2008; IISE, 2016).

En este punto, teniendo ya claridad acerca de los principales hitos que marcaron el desarrollo de la Ingeniería Industrial en el mundo a lo largo de la historia, a continuación, se encuentra una síntesis de los inicios de la Ingeniería en Colombia, haciendo especial énfasis en la disciplina de la Ingeniería Industrial.

El Desarrollo de la Ingeniería Industrial en Colombia

Al igual que cualquier manifestación cultural, los orígenes de la Ingeniería en Colombia se pueden relacionar al menos con tres raíces diferentes. Uno de estos orígenes es el indígena, otro es el negro y el último aporte es el europeo. Esta postura es ampliamente debatida por Bateman

(1978) y Poveda (1993), quienes afirman que la cultura indígena en el territorio colombiano poseía pocos conocimientos en matemáticas, y solo destacaban obras de Ingeniería, como la construcción de caminos con la utilización de metodologías primitivas, y las técnicas de separación del oro de aluviones, así como también su fundición y manufactura. Por otro lado, Mora (1990) señala que:

Resulta curioso que se emplee un término que se refiere al arte de aplicar los conocimientos científicos a la técnica Industrial, cuando se habla de sociedades del periodo prehispánico. Sin embargo, se justifica esto último al ampliar la acepción del término, incluyendo dentro de la categoría aquellos procesos de experimentación y acumulación de conocimiento que dieron como resultado un procedimiento sistemático de manejo y aplicación de técnicas que transformen profundamente el paisaje (p. 37).

De igual forma, Lechtman (1986) reconoce que actividades como el hilado, el tejido, o el vaciado de vasos representan tecnologías de poder. Con este punto de vista se puede entender que los avances tecnológicos en el área de la metalurgia en las Américas, eran tecnologías fuertes. Retomando los planteamientos iniciales realizados por Valencia (2000), se tiene que la Ingeniería Prehispánica en Colombia tuvo dos manifestaciones significativas: uno en la Ingeniería de Materiales, y la otra en la Ingeniería Civil. Es claro que en el continente americano no existió el trabajo del hierro hasta la llegada de los europeos, pero, ya en ese momento, los habitantes del continente americano tenían conocimientos acerca del manejo de metales como el bronce, el cobre y el oro. Por otra parte, los conocimientos que se poseían en el continente americano en el área de la Ingeniería Civil, se basaban esencialmente en la construcción y las intervenciones del paisaje. Estas intervenciones se veían reflejadas principalmente en las redes de caminos, las transformaciones del suelo con propósitos agrícolas y en los sistemas de uso hidráulico.

Asimismo, Valencia (2000) asegura que el termino Ingeniería Prehispánica se clarifica en el momento que se analizan demostraciones como las construcciones realizadas en el Alto Magdalena agustiniano, los trazados de caminos prehispánicos y las construcciones en la Sierra Nevada

de Santa Marta, las técnicas agrícolas en las comunidades amazónicas, el manejo hidráulico realizado por los zenúes en los ríos San Jorge y Sinú, entre otras demostraciones.

Los aportes europeos realizados a la nascente Ingeniería en el territorio colombiano vinieron con las primeras misiones científicas, como la realizada por Jorge Juan y Antonio Ulloa denominada “Condamine”. Particularmente, en esta misión se descubrió platino en territorio colombiano y se escribieron las Memorias Secretas, las cuales hoy en día son consultadas como fuente de información acerca del contexto colonial. Sin lugar a dudas, la misión que ha tenido mayor relevancia dentro de las realizadas en esta época fue la ejecutada por Mutis, la cual dejó trabajos como La Flora del Nuevo Reino, y contribuyó en el entrenamiento de científicos criollos como Francisco José de caldas y Francisco Javier Matiz (Valencia, 2000).

La influencia tecnológica que tuvo lugar en los periodos de la conquista y la colonia, se mantuvo hasta la época de la Ilustración, a mediados del siglo XVIII. Luego de la Independencia, la aparición de la Ingeniería Civil Moderna en el Nueva Granada se dio a partir del año 1840. Otro hecho importante se dio a finales de la década de 1830, con los señores Lino de Pombo, José Ignacio de Márquez y el general Herrán, los cuales defendieron la utilización de ingenieros nacionales en la realización de obras públicas. Esta posición se mantuvo en la administración de Mosquera, la cual tuvo lugar a partir del año 1845. Con todo este panorama, a partir del año 1850 se acreditó como tal el concepto de Ingeniería como profesión dentro de las clases dirigentes en el país (Valencia, 2000).

En la década de 1850, se inicia en el país la incorporación de instructores extranjeros y el envío de jóvenes pertenecientes a familias presentantes a centros científicos en el exterior, todo esto de la mano de los señores Pedro Alcántara Herrán y Mariano Ospina Rodríguez, quienes tenían como objetivo esencial, establecer un grupo de técnicos capaces de actualizar, a través de la implementación de tecnologías de vanguardia, los diferentes sectores económicos del país (Safford, 1989). La construcción de ferrocarriles en el país, durante las décadas de 1870 y 1880, trajo consigo una gran oportunidad para ejercer profesionalmente a los nuevos ingenieros egresados del Colegio Militar. La falta de oportunidades para el desempeño laboral de estos profesionales, fue debido a que aún existía en este periodo una clara dependencia con los centros científicos de Occidente. Cabe

resaltar que, para estos años, ya existía la Escuela de Minas de Medellín, la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Cauca y la Facultad de Matemáticas e Ingeniería de la Universidad Nacional en Bogotá (Poveda, 1986).

Asimismo, se puede afirmar que, durante las décadas de 1870 y 1880, ya existía un número significativo de ingenieros antioqueños, capaces de soportar una comunidad científica propia, con ideas que diferían, por mucho, con las expuestas por la Sociedad de Ingenieros de Bogotá. Esta sociedad gozaba de los empleos técnicos que suministraba el gobierno, mientras que los ingenieros de Antioquia y Cauca realizaban sus apuestas en la empresa privada. Algunas de las diferencias más significativas entre estas dos corrientes de la Ingeniería en el país en estos años, se presenta en el hecho de que los ingenieros de provincia apostaban por la utilización de materiales nativos y adaptaciones mecánicas pensadas para el país, mientras que los ingenieros de Bogotá apostaron por la originalidad en el área de las matemáticas puras. Con el devenir de la Segunda Guerra Mundial, se experimentó una expansión en el área de la Ingeniería en el país, lo que trajo consigo el nacimiento de nuevas facultades de Ingeniería por todo el territorio colombiano (Valencia, 2000).

Con el aumento de la Industrialización, los impactos generados por la segunda guerra mundial, y la diversidad de aportes generados para el aumento de la productividad, se generó un encarecimiento de la mano de obra, de manera que, alrededor de los años 60, se impulsó la migración de industrias a países subdesarrollados en búsqueda de mano de obra económica, lo que conllevó a la necesidad de la formación de ingenieros industriales en estos países (Gutarra, 2015).

Referirse al área de la Ingeniería, en la década de 1950, en Colombia, era hablar de la Ingeniería Civil y la Ingeniería de Minas, las cuales eran las profesiones con más auge en el país en estos años. En este periodo de tiempo ya se podía encontrar en el país a grupos pequeños de egresados de programas de Ingeniería Química, como también de Ingeniería Mecánica. Los Ingenieros Químicos egresaban de las universidades Bolivariana y de Antioquia, mientras que los Ingenieros Mecánicos que se encontraban en el país eran formados en universidades extranjeras (Poveda, 1993). Los inicios de la Ingeniería Industrial en Colombia se remontan al año de 1958, con la creación de la Facultad de Ingeniería Industrial en la Universidad

Industrial de Santander (UIS), a cargo del Ingeniero Químico Guillermo Camacho Caro. Esta facultad graduó a su primera cohorte en el año de 1961 y, desde entonces, en Colombia han obtenido este título más de cien mil ingenieros en esta área en el país (Zambrano & Alvarado, 2011).

La necesidad de formación de Ingenieros Industriales en Colombia tiene el mismo origen que en otros países, el cual era la necesidad de integrar los diferentes aspectos humanos en el mejoramiento de las industrias, que hasta ese momento de la historia lo estaban realizando otro tipo de ingenieros en las empresas (Zambrano & Alvarado, 2011). Entre los años 1954 y 1955, en Antioquia, se registraron varias misiones de Ingenieros Industriales estadounidenses a empresas fabriles de esta región, las cuales tuvieron como fin realizaran estudios de tiempos y movimientos, y compensación laboral en estas empresas. Estas metodologías fueron acogidas inmediatamente por los ingenieros químicos, civiles y mecánicos que se encontraban a cargo de estas actividades en las empresas (Poveda, 1993).

Dentro de las labores que desempeñaban los Ingenieros Industriales en la década de 1960, en Colombia, se destacaban esencialmente la evaluación de proyectos, el diseño de plantas, la logística, la ergonomía, y la valoración de máquinas. Debido al protagonismo que tuvieron las ciencias administrativas en este periodo, sumado al crecimiento acelerado de los programas de Ingeniería Industrial en Colombia, las facultades de Ingeniería Industrial en Colombia incluyeron en sus propuestas curriculares el perfil administrativo, fortaleciendo así las competencias en el campo administrativo, financiero y gerencial de estos profesionales, tanto en el sector manufacturero como en el prestador de servicios.

En esta misma década, el número de facultades de Ingeniería Industrial en el país había llegado a doce. En ellas, el enfoque los programas estaba dirigido a dos aspectos fundamentales: uno orientado al estudio de las ciencias básicas como la física, las matemáticas, los cálculos integral y diferencial, la estadística, la programación lineal, la investigación de operaciones y las matemáticas especiales; y el otro aspecto estaba orientado al diseño de plantas, los sistemas de transporte, la ergonomía, el estudio de tiempos y movimientos, el control de la calidad y toda la parte de métodos y sistemas (Poveda, 1993).

Desde la creación de la facultad de Ingeniería Industrial de la UIS, en el año 1958, las estructuras curriculares de los programas en esta Ingeniería en Colombia se han estructurado en cinco áreas básicas, las cuales son: 1) Ciencias Básicas, 2) Científico-Tecnológica, 3) Económico-Administrativa, 4) Socio-Humanística, y 5) Profesional. Para el año de 1989, existían en Colombia solo 24 programas de Ingeniería Industrial aprobados, de los cuales 9 se encontraban en Instituciones de Educación Superior (IES) ubicadas en Bogotá, 3 en Medellín, 3 en Cali, y el resto en otras ciudades del país. Asimismo, en este mismo año, en lo referente a estudios de posgrado, solo existían dos programas de maestría en el área de Ingeniería Industrial; uno de ellos era el programa de Maestría en Ingeniería Industrial y Sistemas ofrecido por la Universidad del Valle, y el otro era el programa de Maestría en Investigación de Operaciones y Estadística de la Universidad Tecnológica de Pereira (Rodríguez, 2012).

Para la década de 1990, la aparición de tecnologías emergentes y de nuevos modelos de manufactura flexible, marcaron el inicio de un nuevo cambio en la forma de enfocar la Ingeniería Industrial en Colombia. De aquí en adelante, todo este nuevo conocimiento tecnológico, sería tenido en cuenta dentro de los procesos de formación de estos programas académicos, tarea que hasta el día de hoy sigue vigente en nuestro país (Rodríguez, 2012).

Resultados y Discusión

La pluralidad de áreas de la Ingeniería Industrial evidencia diversos autores que generan los aportes que la cimientan en la historia. Estos aportes van desde el surgimiento de los métodos de estudios de movimientos y tiempos de Taylor, los Gilberth, hasta la aplicación de sistemas, software y plataformas computacionales que facilitan las aplicaciones de metodologías y herramientas de Ingeniería.

Para llegar al concepto que conocemos en la actualidad de la Ingeniería Industrial, fue necesaria la labor de diferentes autores que, a través de sus trabajos, marcaron las tendencias en esta disciplina. Todos estos trabajos se pueden enmarcar históricamente en diferentes fases. En una fase inicial — la cual se enmarca entre finales de 1800 y la primera década de 1900— está

definida por los trabajos de Registro para el Control de Costos y Fichas para Pago de Remuneraciones de Henry Metcalfe, y la Administración Científica del Trabajo de Frederick Taylor. En la década siguiente, se destacan aportes en el Estudio de los Micromovimientos, la Gráfica de Línea de Ensamble y la Programación de Actividades, el Modelo de Lote Económico, los estudios de Condiciones de Trabajo y los Equipos de Trabajos Afectados por la Tecnología, realizados por los esposos Gilberth, Henry Ford, Henry Gantt y Harris, respectivamente.

Entre la década de 1930 y 1980, se pueden relacionar los trabajos de Muestreo de Inspección y Tablas Estadísticas de Control de Shewhart, Dodge y Romig, realizados en la década de 1930; el Método Simplex, estudiado por un grupo de investigación de operaciones del Reino Unido y Dantzig en la década de 1940; las investigaciones en Simulación, Teoría de Colas, Líneas de Espera, Teoría de las Decisiones, Programación Matemática y PERT-CPM ejecutadas por académicos estadounidenses y europeos, entre las décadas de 1950 y 1960; el nacimiento de la Filosofía de la Calidad, Kamban, Poka-Yokes y el Ciclo PDCA establecido por Tai - Ichi Ohno, Deming y Juran en los años 1980; y, por último, la Administración de la Calidad Total y la Mejora Continua propuesta por la ANSI y la ISO en la década de 1990. Ya en los inicios del siglo XXI, las tendencias en la Ingeniería Industrial se encuentran influenciadas.

Luego de documentar los hechos que marcaron el desarrollo de la Ingeniería Industrial en el Colombia, se evidencia la existencia de diferentes posiciones respecto a los inicios de esta disciplina en este país. Mientras Bateman (1978) y Poveda (1993), mantienen una postura en donde no se reconocen los desarrollos en Ingeniería realizados por las poblaciones indígenas que habitaban el territorio colombiano en la época prehispánica, Valencia (2000) rescata los aportes realizados por estas comunidades, previos a la conquista y colonización española, dentro de los que se encuentran obras importantes en las áreas de la Ingeniería Civil y el agrícola.

Dentro de los principales personajes que impulsaron el desarrollo de la Ingeniería en el país se encuentran Lino de Pombo, José Ignacio de Márquez y el general Herrán quienes promovieron el uso de ingenieros colombianos en el desarrollo de obras públicas en el país. Asimismo, se destacan los aportes a esta disciplina en Colombia de Pedro Alcántara Herrán y Mariano Ospina Rodríguez, los cuales iniciaron el establecimiento

de grupos técnicos especializados que tenían como objetivo actualizar los sectores económicos del país con tecnologías de vanguardia a nivel mundial.

En los inicios de la Ingeniería en Colombia, se podían identificar dos corrientes de pensamiento claramente diferenciables. Por un lado, se encontraban los ingenieros pertenecientes a la Sociedad de Ingenieros de Bogotá, quienes eran los encargados de ejecutar la gran mayoría de obras públicas de la nación. El enfoque de los ingenieros pertenecientes a esta sociedad, impulsaba especialmente la creatividad desde el área de las matemáticas puras. Por otro lado, se encontraban los ingenieros de las provincias, donde se hallaban los ingenieros antioqueños y los vallunos. Estos ingenieros apostaban más por la utilización de materiales autóctonos y el diseño mecánico adaptado a las necesidades de estas regiones.

En lo referente a los inicios de la formación de la Ingeniería Industrial en el país, este hecho se remonta al año 1958, con la creación de la primera facultad de Ingeniería Industrial en el país, la cual tuvo lugar en la Universidad Industrial de Santander—UIS. Esto no quiere decir que, previo a este acontecimiento, no existían profesionales de esta disciplina laborando en las empresas del país. Ya desde los años de 1954 y 1955, se encuentran documentadas, en diferentes empresas antioqueñas, varias misiones de Ingenieros Industriales estadounidenses que llegaban a realizar estudios de tiempos y movimientos, y programas de compensación laboral esencialmente. Estas metodologías fueron rápidamente captadas e implementadas por ingenieros civiles, químicos y mecánicos que se encontraban a cargo de esta empresa.

Una característica especial de los programas de Ingeniería Industrial en Colombia es que, desde el inicio de estos en el país, en la estructura de los programas siempre se han encontrado cinco áreas, las cuales son: un área de Ciencias Básicas, un área Científico-Técnica, un área Económico-Administrativa, un área Socio-Humanística y un área Profesional. En consonancia con la tendencia en la Ingeniería Industrial evidenciada en el contexto global, esta disciplina, a principios del XXI en Colombia, acoge en sus propuestas curriculares todas las nuevas tecnologías y filosofías nacientes, como los son la Administración Total de la Calidad, los Negocios Electrónicos, la Cadena de Suministros, la Reingeniería, entre otras.

Conclusiones

La Ingeniería Industrial considera un amplio portafolio de ramas que permiten el direccionamiento de cualquier sistema desde diversas aristas, tales como la gestión del talento humano, gestión de calidad, la producción, la logística, entre otras. Esta consolidación de ramas dentro de un mismo perfil, se logró con los aportes suministrados a lo largo de la historia de los precursores de la Ingeniería Industrial que vienen anteriores a los inicios de la Revolución Industrial hasta los aportes de la época moderna.

Sin duda, uno de los aportes más importantes que ayudaron a consolidar la Ingeniería Industrial y a diferenciarla de la Ingeniería Mecánica que también tuvo sus principios en esa época, fueron los estudios de métodos y tiempos, que surgen bajo la necesidad de dar una mejor orientación organizativa en las industrias emergentes.

En este sentido, el crecimiento de las factorías trajo consigo diversos problemas que iban más allá de la sola fabricación de nuevas máquinas. Los problemas por organización del personal, métodos de trabajo, métodos de producción, inventarios, remuneraciones, generaron la necesidad de crear nuevas metodologías y herramientas con la participación de diversos autores, que poco a poco consolidaron el surgimiento de la Ingeniería Industrial como disciplina.

Sin duda alguna, el aporte de la administración científica de Taylor, considerado como el padre de la Ingeniería Industrial, fue el más importante de la época, sumado a los aportes posteriores de los esposos Gilberth, los modelos de producción de Ford y los sistemas justo a tiempo del Toyotismo. Sin embargo, con la introducción de los métodos de programación lineal aplicados inicialmente en la Segunda Guerra Mundial y la evolución de los sistemas computacionales, la Ingeniería toma un mayor auge.

En Colombia, particularmente, existen diferentes posturas por parte de los historiadores, referentes al origen de la Ingeniería. Mientras algunos exponentes no le dieron valor al aporte indígena previo a la conquista española, otros autores destacan el desarrollo de redes de caminos, y técnicas para la agricultura y la hidráulica por parte de estas comunidades. El crecimiento de la Ingeniería Industrial en Colombia, como disciplina, nace de la necesidad de los diferentes sectores económicos

del país en implementar metodologías científicas en el mejoramiento de la productividad de las empresas. Inicialmente en el país se contaba con el apoyo de diferentes misiones internacionales que capacitaban a ingenieros de diferentes ramas, en la implementación de estas metodologías.

Con la apertura en la UIS de la primera facultad de Ingeniería Industrial, en el año de 1958, nace en Colombia la enseñanza de esta disciplina, la cual siempre ha mantenido a lo largo de la historia, una estructura curricular enfocada hacia las áreas de Ciencias Básicas, las áreas Económico-Administrativas, las áreas Científico-Técnicas, y al área Profesional. La llegada del siglo XXI, trajo consigo nuevos retos para la Ingeniería Industrial en Colombia. El nacimiento de nuevas tecnologías, así como también a las nuevas filosofías, marcaron las nuevas tendencias de esta disciplina, obligando a las Instituciones de Educación Superior a actualizar la forma de enseñar la Ingeniería Industrial en el país. Dicho lo anterior, podemos resaltar que la Ingeniería Industrial como disciplina presenta unas bases sólidas que la constituyen como rama profesional consolidada de las Ingenierías en Colombia.

Bibliografía

- Baker, D. F. (1957). *A Study of the Evolution of Industrial Engineering*. The Ohio State University. Recuperado de https://etd.ohiolink.edu/!etd.send_file?accession=osu1486464627807783&disposition=inline
- Baracca, A. (2002). El desarrollo de los conceptos energéticos en la mecánica y la termodinámica desde mediados del siglo XVIII hasta mediados del siglo XIX. *LUL*, 25, 285 - 325. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/300385.pdf>
- Barroso, F. (2007). La regla 80-20 (Pareto). *Management Today en español*, 12 - 14. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/315767915_La_regla_80-20_Pareto
- Bateman, A. D. (1978). Historia de las matemáticas y la ingeniería. En F. Chaparro & F. Sagasti (eds.). *Ciencia y Tecnología en Colombia*. Bogotá: Colcultura, 107.
- Drake, D. (2005). The Story of Josiah Wedgwood: Potter and Cost Accountant. *HQ FINANCIAL VIEWS: Volume I*, 1-3.

- Ferrell, M. (2008). Historia, desarrollo y alcance de la Ingeniería Industrial. En W. Hodson, *Manual del Ingeniero Industrial, Cuarta Edición. Tomo I* (págs. 19 - 27). Pittsburgh: Mc. Graw Hill.
- Gutarra, F. (2015). *Introducción a la Ingeniería Industrial*. Huancayo: Fondo Editorial de la Universidad Continental.
- Haynes, J. (1998). Richard Trevithick : Cornwall's Pioneer Of Steam. *Supplement To The Histelec News. (S10)*, 1-3.
- Hiil, W. (1969). Richard Arkwright and the Water Frame. *Proceedings of the Institution of the Mechanical Engineers, 184*(1), 1175-1178. https://doi.org/10.1243/PIME_PROC_1969_184_088_02
- Hillier, F., & Lieberman, G. (2010). *Introducción a la Investigación de Operaciones* (9na ed.). México: McGraw Hill.
- Institute of Industrial & Systems Engineers [IISE]. (2016). *The Industrial Engineering Body of Knowledge*. Norcross, GA: Institute of Industrial Engineers.
- Karim, A., Emrul Kays, H., Amin, A., & Hasan, M. (2014). Improvement of Workflow and Productivity through Application of Maynard Operation Sequence Technique (MOST). *Proceedings of the 2014 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, 2162 - 2171. Recuperado de <http://ieomsociety.org/ieom2014/pdfs/463.pdf>
- Lechtman, H. (1986). *Perspectivas de la Metalurgia Precolombiana de las Américas*. Bogotá: Banco de la Republica.
- Maynard, H. B., & Stegemerten, G. (1939). *Operation Analysis* (L. U. Madison, Ed.). New York: McGraw-Hill.
- Mayol, D. (2013). Taylor: Cien años después. *Revista Venezolana de Análisis de Coyuntura, XIX*(2), 195-209. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/364/36430103010.pdf>
- Mora, S. (1990). *Ingenierías Prehispánicas*. Bogotá: Fondo FEN- Instituto Colombiano de Antropología-Colcultura.
- Morales Sandoval, C., & Masis Arce, A. (2014). Measuring value added productivity: an empirical application in an agroalimentary cooperative in Costa Rica. *Tec Empresarial, 8*(2), 41-49. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4808514>

- Mosquera, F. (2002). *Introducción a la Ingeniería Industrial: un enfoque humanístico*. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.
- Niebel, B., & Freivalds, A. (2009). *Ingeniería Industrial. Métodos, estándares y diseño del trabajo* (12 ed.). Ciudad de México: Mc Graw Hill.
- Orlicky, J., & Plosi, G. (1994). *Orlicky's material requirements planning*. New York: McGraw-Hill.
- Páramo, J. (1998). Aplicaciones de los sistemas CAD/CAM en la manufactura moderna. *Revista Universidad Eafit*. 34(110), 11-15. Recuperado de <http://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/revista-universidad-eafit/article/view/1110>
- Poveda, G. (1986). Los Ferrocarriles y la Ingeniería. *Revista Universidad de Antioquia* (206), 5.
- Poveda, G. (1993). *Historia Social de la Ciencia en Colombia. Tomo IV. Ingeniería e Historia de las Técnicas*. Bogotá: Tercer Mundo Editores. Recuperado el 18 de Junio de 2018, de <http://repositorio.colciencias.gov.co/handle/11146/687>
- Rodríguez, L. (2012). Algunos cuestionamientos a la enseñanza de Ingeniería Industrial en Colombia. *Cuadernos de Administracion*, 28(48) 91-103.
- Safford, F. (1989). *El Ideal de lo Practico*. Bogota: El Áncora Editores.
- Sales, M. (2013). Diagrama de Pareto. EALDE Business School. Recuperado de https://www.academia.edu/23719178/Diagrama_de_Pareto
- Santos Redondo, M. (2002). Robert Owen, pionero del managment. *Sociología del Trabajo*, VI(1/03), 97 - 124. Recuperado de <https://eprints.ucm.es/6708/1/0027.pdf>
- Sartelli, E. (1999). El principio de Babbage, la educación y el trabajo. *Reunión* (3). Recuperado de <http://www.razonyrevolucion.org/textos/esartelli/Babbage.pdf>
- Saunders, B. (1991). *La profesión del ingeniero Industrial*. En G. Salvendi *Manual de Ingeniería Industrial* (29-50). México: Limusa.
- Toma, S. G. (2005). Fordism, Postfordism and Globalization. *Amfiteatru Economic*, (17), 135 - 137.
- Valencia, A. (2000). Breve Historia de la Ingeniería. *Revista Facultad de Ingeniería* (20), 119-136. Recuperado de <http://aprendeenlinea.udea.edu.co/revistas/index.php/ingenieria/article/view/325852>

- Martin-Vega, L. A. (2001). The Purpose and Evolution of Industrial Engineering. En H. Maynard *Industrial Engineering Handbook*, 4 - 20.
- Weaver, P. (2012). Henry L Gantt, 1861 - 1919. Debunking the myths, a retrospective view of his work. *PM World Journal*, I(V), 1 - 19.
- Yeh, T., Yang, C., & Lin, W. (2007). Service quality and ERP implementation: a conceptual and empirical study of semiconductor-related industries in Taiwan. *Computer in Industry*, 58(8-9), 844-845. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2007.03.002>
- Zambrano, S., & Alvarado, F (2011). Surgimiento y evolución de la Ingeniería Industrial. *Revista In Vestigium Ire*, 4, 19 - 28. Recuperado de <http://revistas.ustatunja.edu.co/index.php/ivestigium/article/download/177/161>
- Zuccarino, M. (2012). Modelos estadounidense-fordista y japonés-toyotista: ¿Dos formas de organización productiva contrapuestas?. Un estudio de caso: trabajadores bolivianos afiliados a la Federación Obrera Local (FOL) en la primera mitad del siglo XX. *Historia Caribe*, VII (21), 197-215. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/hisca/v7n21/v7n21a09.pdf>