



**Modelo de procesos para la educación superior que responda a las competencias  
requeridas en ingeniería por sector empresarial en el marco de la revolución industrial 4.0**

Miguel Ángel Ariza Gracia

Facultad de Ingeniería, Universidad EAN

22 de enero de 2025



**Modelo de procesos para la educación superior que responda a las competencias  
requeridas en ingeniería por sector empresarial en el marco de la revolución industrial 4.0**

Miguel Ángel Ariza Gracia

Facultad de Ingeniería, Universidad EAN

Tesis como requisito para optar al título de:

Doctor en Ingeniería de Procesos

Directores:

Ph.D. Luz Marina Sánchez Ayala y Ph.D. Milton Januario Rueda Varón, Universidad EAN

22 de enero de 2025

**Índice**

Agradecimientos-----9

Resumen ----- 10

Abstract ----- 11

Introducción ----- 12

Problema de investigación----- 16

Objetivos de la investigación ----- 19

*Objetivo general* ----- 19

*Objetivos específicos* ----- 19

Alcance de la investigación ----- 20

*Productos resultados de la investigación doctoral*----- 21

1. Sección de la fundamentación teórica de la investigación----- 22

Eje 1. Conceptualización de los procesos y la calidad ----- 23

Eje 2. Conceptualización de la cuarta revolución industrial ----- 31

Eje 3. Conceptualización de los procesos y la calidad en las instituciones de educación superior (IES)40

*Modelos de acreditación de estándares internacionales para programas de ingeniería* ----- 42

*Requisitos de acreditación de alta calidad para programas de ingeniería* ----- 46

Eje 4. Análisis bibliométrico de modelos de procesos en la educación superior ----- 48

Análisis bibliométrico----- 57

Eje 5. Integración de los procesos y la calidad en las IES----- 76

2. Sección de la metodología de la investigación----- 83

Hipótesis de la investigación----- 83

3. Sección de los resultados de la investigación ----- 95

Resultados de la investigación exploratoria ----- 95

Resultados de la investigación cuantitativa de correlación----- 98

*Resultados de la fase 1. Definición (competencias requeridas)* ----- 98

*Resultados de la fase 2. Medición (puntuación)*----- 112

*Resultados de la fase 3. Análisis (evaluar la significancia -ANOVA)* ----- 117

*Resultados de la fase 4. Mejora (diseño del modelo cuantitativo de procesos)* ----- 125

*Resultados de la fase 5. Control (caso aplicado)*----- 130

*Primera IES seleccionada para la validación del modelo cuantitativo de procesos*----- 137

*Segunda IES seleccionada para la validación del modelo cuantitativo de procesos* ----- 140

4. Sección de los aportes al campo del conocimiento y comparación con otros autores ----- 145

5. Sección de limitaciones, recomendaciones y conclusiones ----- 149

Limitaciones de la investigación----- 149

Recomendaciones ----- 150

Conclusiones -----	152
Bibliografía -----	154
ANEXO 1. -----	164
Matriz consolidada con la documentación utilizada en la investigación-----	164
ANEXO 2-----	177
Tablero ecualizador-----	177

**Listado de Figuras**

<i>Figura 1</i> _____	23
<i>Figura 2</i> _____	24
<i>Figura 3</i> _____	42
<i>Figura 4</i> _____	47
<i>Figura 5</i> _____	48
<i>Figura 6</i> _____	50
<i>Figura 7</i> _____	58
<i>Figura 8</i> _____	59
<i>Figura 9</i> _____	61
<i>Figura 10</i> _____	62
<i>Figura 11</i> _____	65
<i>Figura 12</i> _____	66
<i>Figura 13</i> _____	68
<i>Figura 14</i> _____	68
<i>Figura 15</i> _____	71
<i>Figura 16</i> _____	71
<i>Figura 17</i> _____	74
<i>Figura 18</i> _____	74
<i>Figura 19</i> _____	85
<i>Figura 20</i> _____	86
<i>Figura 21</i> _____	88
<i>Figura 22</i> _____	92
<i>Figura 23</i> _____	94
<i>Figura 24</i> _____	96
<i>Figura 25</i> _____	98
<i>Figura 26</i> _____	114
<i>Figura 27</i> _____	115
<i>Figura 28</i> _____	116
<i>Figura 29</i> _____	116
<i>Figura 30</i> _____	117
<i>Figura 31</i> _____	122
<i>Figura 32</i> _____	124
<i>Figura 33</i> _____	127
<i>Figura 34</i> _____	133

**Listado de Tablas**

<i>Tabla 1</i>	25
<i>Tabla 2</i>	36
<i>Tabla 3</i>	51
<i>Tabla 4</i>	52
<i>Tabla 5</i>	54
<i>Tabla 6</i>	55
<i>Tabla 7</i>	57
<i>Tabla 8</i>	59
<i>Tabla 9</i>	61
<i>Tabla 10</i>	63
<i>Tabla 11</i>	64
<i>Tabla 12</i>	66
<i>Tabla 13</i>	67
<i>Tabla 14</i>	69
<i>Tabla 15</i>	70
<i>Tabla 16</i>	72
<i>Tabla 17</i>	73
<i>Tabla 18</i>	75
<i>Tabla 19</i>	77
<i>Tabla 20</i>	80
<i>Tabla 21</i>	96
<i>Tabla 22</i>	100
<i>Tabla 23</i>	102
<i>Tabla 24</i>	104
<i>Tabla 25</i>	105
<i>Tabla 26</i>	106
<i>Tabla 27</i>	110
<i>Tabla 28</i>	118
<i>Tabla 29</i>	119
<i>Tabla 30</i>	120
<i>Tabla 31</i>	125
<i>Tabla 32</i>	130
<i>Tabla 33</i>	131
<i>Tabla 34</i>	132
<i>Tabla 35</i>	135
<i>Tabla 36</i>	138
<i>Tabla 37</i>	139
<i>Tabla 38</i>	141
<i>Tabla 39</i>	142
<i>Tabla 40</i>	147
<i>Tabla 39</i>	148
<i>Tabla 42</i>	165
<i>Tabla 43</i>	177

**Listado de Ecuaciones**

<i>Ecuación 1</i>	93
<i>Ecuación 2</i>	113
<i>Ecuación 3</i>	121
<i>Ecuación 4</i>	122
<i>Ecuación 5</i>	129
<i>Ecuación 6</i>	130
<i>Ecuación 7</i>	134
<i>Ecuación 8</i>	138
<i>Ecuación 9</i>	139
<i>Ecuación 10</i>	141
<i>Ecuación 11</i>	143
<i>Ecuación 12</i>	145

### Abreviaturas

Abreviaturas más utilizadas para tener en cuenta en el presente documento:

<b>Sigla</b>	<b>Significado en español</b>	<b>Significado en inglés</b>
8D	Las ocho disciplinas	Eight disciplines
ABET	Junta de Acreditación de Ingeniería y Tecnología	Accreditation Board for Engineering and Technology
ACOFIS	Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería de Sistemas, Informática y Afines	n/a
AICHE	Instituto Americano de Ingenieros Químicos	American Institute of Chemical Engineers
AIME	Instituto Americano de Ingenieros Mineros, Metalúrgicos y Petroleros	American Institute of Mining, Metallurgical, and Petroleum Engineers
AMEF	Análisis de modo y efectos de falla	Failure modes and effects analysis (FMEA)
ANOVA	Análisis de varianza	Analysis of Variance
APIM	Asociación de Programas de Ingeniería Mecánica	n/a
ARC	Centro de investigación aumentada	The Augmented Research Center
ASCE	Sociedad Estadounidense de Ingenieros Civiles	American Society of Civil Engineers
ASCUN	Asociación Colombiana de Universidades	n/a
ASEE	Sociedad para la Promoción de la Educación en Ingeniería, actual Sociedad Estadounidense para la Educación en Ingeniería	Society for the Promotion of Engineering Education, actual American Society for Engineering Education
ASME	Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos	American Society of Mechanical Engineers
BD	Base de datos	Database
BSC	Tablero estratégico de valor	Balanced Scorecard
CDIO	Concebir- Diseñar- Implementar- Operar	Conceive- Design- Implement- Operate
CEAACES	Consejo de Evaluación, Acreditación y Aseguramiento de la Calidad de la Educación Superior	n/a
CEAACES	Consejo de Evaluación, Acreditación y Aseguramiento de la Calidad de la Educación Superior	n/a
CESU	Consejo Superior de Educación	n/a
CNA	Consejo Nacional de Acreditación	n/a
CNAU	Consejo Nacional de Acreditación Universitaria	n/a
CNU	Consejo Nacional de Universidades	n/a
CONEA	Consejo de Acreditación de la Educación Superior	n/a
CONES	Consejo Nacional de Educación Superior	n/a
CONESUP	Consejo Nacional de Educación Superior	n/a
COPNIA	Consejo Profesional Nacional de Ingeniería	n/a
CSSC	El Consejo para la certificación Six Sigma	The Council for Six Sigma Certification
CTQ	Criterio crítico para la calidad	Critical to quality
DPMO	Defectos por millón de oportunidades	Defects per million opportunities
EE. UU	Estados Unidos	United States
ENAAEE	Red europea para la acreditación de la enseñanza de la ingeniería	European Network for Accreditation of Engineering Education
EUR-ACE	Acreditación Europea de Programas de Ingeniería	European Accreditation of Engineering Programs
IA	Inteligencia artificial	Artificial intelligence
ICFES	Instituto Colombiano para la Evaluación de la Educación	n/a

<b>Sigla</b>	<b>Significado en español</b>	<b>Significado en inglés</b>
IEIE	Instituto de Evaluación e Innovación	n/a
IES	Instituciones de educación superior	n/a
ISO	Organización Internacional de Normalización	International Organization for Standardization
JIT	Justo a tiempo	Just in time
MEN	Ministerio de Educación Nacional	n/a
MEN	Ministerio de Educación Nacional	n/a
MIT	n/a	Instituto Tecnológico de Massachusetts
ML	Aprendizaje automático	Machine learning
NASA	Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio de Estados Unidos	National Aeronautics and Space Administration
NCEES	Consejo Nacional de Juntas Estatales de Examinadores de Ingeniería	National Council of State Boards of Engineering Examiners
NLP	Lenguaje natural	Natural Language Processing
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico	Organisation for Economic Co-operation and Development
PEI	Planes educativos institucionales	n/a
PHVA	Planear, Hacer, Verificar y Actuar	PDCA- Plan, Do, Check, Act
QFD	Desarrollo funcional de la calidad	Quality function deployment
REDEIPI	Red Universitaria de Programas de Ingeniería Industrial	n/a
REDIPET	Red de Programas de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones	n/a
RFID	Radio frecuencia	Radio frequency identification
SMED	Cambios en menos de un minuto	Single-minute exchange of die
SNA	Sistema Nacional de Acreditación	n/a
SNIES	Sistema Nacional de Información de la Educación Superior	n/a
TPS	Sistema productivo total	Toyota production system
TQC	control de calidad total	Total quality control
URL	Dirección web de un recurso de Internet	Uniform Resource Locators
VOC	Voz del cliente	n/a
VR	Realidad virtual	Virtual reality

### **Agradecimientos**

A mi familia, iniciando con mi amada esposa Sonia Rocío González Sáenz por su invaluable amor y apoyo incondicional en los momentos de incertidumbre y donde más necesitaba un pilar de apoyo para continuar y no flaquear, y así lograr culminar mis metas personales, profesionales y académicas, entre ellas finalizar con éxito mis estudios doctorales. A mis hijas Mariana, Sarah y Catalina por ser mis impulsores, al enaltecer mi labor como padre y ejemplo para que ellas puedan construir un futuro fundamentado en los valores de la familia y logros alcanzados de manera conjunta como núcleo familiar.

A la Universidad Sergio Arboleda por todo el apoyo y disposición de recursos económicos, tiempo y espacios para desarrollar y culminar la investigación doctoral y en especial al ingeniero Luis Alejandro Angel.

A mis directores de tesis Ph.D. Luz Marina Sánchez y Ph.D. Milton Januario Rueda, por acompañarme en todo el proceso de formación doctoral y ser los mentores metodológicos y académicos durante el desarrollo de la investigación. Es de resaltar que en todo momento me tendieron la mano con la mejor disposición para lograr los objetivos propuestos en la tesis doctoral.

A mí amigo y compañero el ingeniero Ricardo Martín, quien aportó desde sus conocimientos técnicos y desde su mirada externa al modelo matemático.

A la Universidad EAN y en especial a todos los docentes del Doctorado en Ingeniería de Procesos por brindarme los espacios académicos pertinentes para lograr desarrollar mis competencias investigativas de una manera eficiente.

### Resumen

En la actualidad se observa una desalineación entre el sector académico y el empresarial en Colombia, el cual es evidenciado por los estudios realizados por el Ministerio del Trabajo, Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería ACOFI, la Federación Colombiana de Gestión Humana ACRIP y la Cámara de Comercio de Bogotá, donde se evidencia la necesidad que enfrentan las instituciones de educación superior (IES) para adaptarse a los requerimientos por competencias demandadas por el sector empresarial en el marco de la cuarta revolución industrial, lo cual es una causal del retraso en el desarrollo económico del país, al incrementar los rubros de entrenamiento por parte de las empresas como respuesta a la disminución de la productividad y competitividad de las compañías al no tener personal formado con las competencias requeridas para afrontar los retos de los procesos organizacionales en un marco de la cuarta revolución industrial. Para mitigar esta necesidad entre los actores involucrados se propone como objetivo de la investigación doctoral el diseñar un modelo cuantitativo de procesos para la educación superior en programas de ingeniería, que identifique los requerimientos por competencias demandadas por el sector empresarial en el marco de la cuarta revolución industrial, para que así las IES formen profesionales competitivos en mira a enfrentar estos retos al interior de las organizaciones. Para lograr este objetivo se desarrolla un método de investigación tipo mixto, compuesto por una investigación exploratoria, a través de un análisis bibliométrico y una metodología de investigación correlacional. Los hallazgos presentados en la presente investigación evidencian el aporte en nuevo conocimiento, el cual está orientado en el diseño, estimación y validación de un modelo cuantitativo de procesos que responda a los requerimientos por competencias demandados por el sector empresarial.

**Palabras claves:** modelo de procesos, brecha en competencias, modelo determinístico, calidad educación superior, industria 4.0.

### **Abstract**

Currently there is a misalignment between the academic and business sectors in Colombia, which is evidenced by studies conducted by the Ministry of Labor, Ministry of Information Technology and Communications, the Colombian Association of Engineering Faculties ACOFI and the Colombian Federation of Human Management ACRIP, which shows the need faced by higher education institutions (HEI) to adapt to the requirements for skills required by the business sector in the context of the fourth industrial revolution, This is a cause of the delay in the economic development of the country, by increasing the training items by companies in response to the decrease in productivity and competitiveness of the same, by not having trained personnel with the skills required to meet the challenges of organizational processes in a framework of the fourth industrial revolution. To mitigate this need among the actors involved, the objective of the doctoral research is to design a quantitative model of processes for higher education in engineering programs that identifies the requirements for competencies demanded by the business sector in the framework of the fourth industrial revolution, so that HEIs can train competitive professionals aligned to face these challenges within the organizations. In order to achieve this objective, a mixed research method is developed, composed of an exploratory research, through a bibliometric analysis and a correlational research methodology of the variables identified within the model. The findings presented in the research show the contribution in new knowledge, which is oriented in the design, estimation and validation of a quantitative model of processes that responds to the requirements by competencies demanded by the business sector.

**Keywords:** process model, skill gap, deterministic model, quality higher education, industry 4.0.

### **Introducción**

La presente investigación doctoral contribuye al campo de la ingeniería de procesos al diseñar, estimar y validar un modelo cuantitativo de procesos para los programas académicos de ingeniería a nivel de pregrado ofertados por las IES en Colombia, con la finalidad de lograr el aseguramiento del cumplimiento de los requisitos en formación por competencias demandadas por el sector empresarial en el marco de la cuarta revolución industrial. Este modelo se construye a partir de la valoración del grado de incorporación de herramientas, metodologías, técnicas y modelos que se han desarrollado a lo largo de la historia de las cuatro revoluciones industriales y que son aplicables al sector de la educación superior en Colombia. El modelo propuesto valida las variables que hacen que se genere la brecha entre los sectores de la academia y el empresarial.

La presente investigación se fundamenta en la caracterización de la brecha que actualmente se evidencia entre el sector empresarial y el académico con respecto a las competencias que no se están desarrollando de manera alineada a las necesidades de migración tecnológica requeridas por las organizaciones en el marco de la cuarta revolución industrial en Colombia. En un estudio realizado por la (ACRIP) Federación Colombiana de Gestión Humana junto con el Ministerio de Trabajo, con el apoyo de la Cámara de Comercio de Bogotá presentaron los resultados asociados a los requerimientos de formación de personal en las organizaciones colombianas en el año 2023. En el estudio se evidencia que más del 50% de las compañías en Colombia presentan retos en los procesos de incorporación de personal que

cumpla los perfiles de cargo demandados para afrontar las necesidades al interior de los procesos productivos asociados a las competencias en el marco de la emergente cuarta revolución industrial. El estudio realizado por la ACRIP y el Ministerio de Trabajo tenía como muestra en su ficha técnica a 249 compañías del sector empresarial colombiano, donde se logró evidenciar que el 66.3% de las compañías encuestadas tienen un tiempo promedio de consecución del personal que cumpla con perfil requerido entre uno a tres meses, el 22.1% entre cuatro y seis meses, y el 11.6% entre siete y doce meses. El estudio también reveló que el 67.47% de las compañías invierte mayores rubros en formación y entrenamiento para el desarrollo de competencias digitales, liderazgo y salud mental, y lo realiza por medio de la contratación de formadores internos y/o entidades externas. *(Empresarios en Colombia, preocupados por brechas de talento humano en el país - ACRIP Nacional, s/f)*

Adicionalmente en el mes de noviembre del año 2020 el Ministerio del Trabajo, el Ministerio de las de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, el Ministerio de Educación Nacional, el Servicio Nacional de Aprendizaje – Sena, la Mesa Sectorial y la Cámara de Comercio de Bogotá presentaron un informe denominado: “*Resultado del estudio de identificación de Brechas de Capital Humano para el sector TIC*”, donde exponen los resultados asociados a la medición de las brechas de capital humano (IMBCH), donde evaluaron:

- Brecha de cantidad, con el objetivo de identificar qué programas académicos presentan ausencia o poca presencia de oferta de las IES en las regiones en estudio de Colombia y que son requeridos por las compañías para cada región del estudio.
- Brecha pertinencia, con el objetivo de identificar las competencias que se forman por las IES y que son demandadas por el sector productivo.

- Brecha de calidad, con el objetivo de identificar la calidad de las competencias desarrolladas y ofertadas por las IES versus las demandadas por el sector productivo.

En el estudio se entrevistaron: 149 compañías, 15 Head Hunters (empresas que se encargan de la consecución de personal requerido para las compañías) y 34 IES, esta ficha técnica se tomó de las regiones definidas para el estudio realizado, que fueron: Atlántico, Bogotá, Santander, Valle del Cauca, Antioquia, Eje Cafetero, Armenia, Barranquilla, Bucaramanga, Cali, Manizales, Medellín y Pereira, obteniendo como resultado del estudio que el “Top 5” de cargos críticos para consecución de personal por parte de las empresas son: desarrollador, consultor, analista de datos, arquitectos y analista de soporte. En el mismo estudio se presentó por parte de los Head Hunters que el “Top 5” que presenta mayor dificultad para la consecución de cargos son: desarrolladores, cargos gerenciales, ingenieros expertos, cargos especializados y cargos junior o de soporte. También presentan que los cargos con mayor rotación son: desarrollador, analista de soporte, consultor, diseñador y tester (personal de pruebas). Adicionalmente dentro del estudio se presenta el “Top 5” de nuevos cargos (creados en los últimos años), estos son: profesional en minería de datos, analista blockchain, entrenador de sistemas experto, especialistas en seguridad, administrador de dispositivos. Finalmente presentan los cargos que se proyectan un aumento significativo en la demanda por parte de las compañías en Colombia, como lo son: científico de datos, administrador de servicios en la nube y arquitecto TI. Es de resaltar en los resultados del estudio presentado que identifican el porcentaje del nivel de estudio requerido y demandado por las compañías para la operacionalización de sus procesos productivos así: en un 52% nivel educativo de pregrado, 33% nivel educativo tecnológico y 15% en postgrado. Finalmente, en el estudio se puede evidenciar por cada una de las regiones definidas los cargos que según su nivel de estudio son requeridos. (Ministerio del Trabajo, 2020)

Los anteriores estudios permiten evidenciar que las empresas se están auto-gestionando y sub-contratando con otras entidades distintas a las IES para suplir a través de cursos, capacitaciones y/o entrenamiento personalizado para los equipos de trabajo, las competencias que se requieren y que no se están desarrollando por parte de las IES. Esta desalineación entre los sectores en estudio genera curvas de mayor tiempo de adaptación del personal a nuevas labores operativas, tácticas y con mayor dificultad a las estratégicas en las organizaciones, debido a que el personal que se postula e ingresa cargos laborales, no cumple al 100% con las competencias demandadas por el perfil laboral, haciendo que las empresas incurran en costos adicionales para poder nivelar el personal y que esté listo para operar al interior de los procesos. (Marín Niño et al., 2013)

Las IES los últimos años están reforzando sus procesos académicos y administrativos en mira a responder a los retos que desde el sector empresarial se están demandando de cara a la cuarta revolución industrial. Lo anterior se puede evidenciar desde la asignación de recursos orientados a la investigación y extensión para consultorías y/o proyectos empresariales, donde se articulan los procesos misionales, a partir de estrategias para responder los retos del sector empresarial. (Forbes Staff, 2018)

Es por ello que las IES en Colombia están adaptando sus procesos organizacionales, con el fin de responder a las competencias requeridas por el sector empresarial, para así lograr mitigar la brecha existente de formación por competencias del personal requerido por las empresas. Estos modelos por procesos deben permear los planes educativos institucionales (PEI) y el diseño de los programas académicos de las IES, para así poder responder eficazmente a estos retos. (Salimbeni et al., 2020)

### **Problema de investigación**

La problemática se aborda desde el análisis del distanciamiento entre el sector empresarial y el sector académico, lo que evidencia una brecha entre las competencias formadas por las IES y las requeridas para operar los procesos de las organizaciones del sector empresarial. Esta problemática se puede evidenciar en el estudio presentado en el año 2019 por la CEPAL, el Ministerio de Asuntos Exteriores de Noruega y las Naciones Unidas, denominado: “*La identificación y anticipación de brechas de habilidades laborales en América Latina (Experiencias y lecciones)*”. En este estudio se muestra como en los últimos años la emergente revolución 4.0 con su avance tecnológico, la inteligencia artificial, la automatización, la robótica, la conectividad, el análisis de grandes volúmenes de información entre otros avances asociados a la tecnología generan cambios fundamentales al interior de los procesos productivos en las organizaciones, y que impactan directamente en las profesiones. Este estudio evidencia que el desarrollo de competencias profesionales también se está transformado, generando una brecha entre lo que tradicionalmente se está formando en las IES latinoamericanas y lo que se está requiriendo para afrontar los nuevos retos por parte del sector empresarial en la región. El estudio afirma que América Latina es una de las regiones con mayor brecha de habilidades asociadas a las competencias requeridas en el marco de la cuarta revolución industrial, presentando como resultado la encuesta de demanda de habilidades (EDH) donde solo el 12% de las organizaciones encuestadas reporta no presentar problemas al momento de contratar al personal que cumpla con las competencias que requiere para operar sus procesos productivo y que el 80% de las organizaciones afirma que las competencias más difíciles de conseguir en el mercado laboral son las asociadas con el comportamiento y las actitudes, a estas competencias le siguen las asociadas habilidades tecnológicas, pensamiento crítico, la comunicación oral, escrita

y las “habilidades para la vida”. La ausencia de estas competencias fue un factor común en las empresas encuestadas y presentadas en el estudio, el cual también hace referencia a la empresa privada de reclutamiento de personal denominada Manpower que realizó un estudio a partir de la encuesta denominada: “*La Encuesta de Escasez de Talento*” aplicada en ocho países de América Latina (Colombia, Perú, Argentina, Costa Rica, Brasil, México, Guatemala, y Panamá). En esta encuesta evidencian que cada 4 de 10 organizaciones de América Latina presentan dificultades para el reclutamiento de personal con las habilidades adecuadas, cifras que dentro del estudio se validaron con la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE). (Gontero, 2019)

Colombia ocupa el cuarto puesto entre los países de la región de Latino Americana que tienen dificultades para llenar las vacantes de empleo en las organizaciones tal y como se evidencia en el estudio realizado por la OCDE, a través de la aplicación de una encuesta a una muestra de 39.195 empresas en 43 países, donde algunas de las preguntas fueron:

- “¿Cuánta dificultad tiene para llenar vacantes comparado con el año anterior?”
- “¿Cuáles son las habilidades (técnicas y humanas) más difíciles de encontrar y por qué?”
- “¿Qué hace para solucionar la escasez de habilidades?”. Al analizar las

respuestas presentadas en el estudio, se evidencia que Colombia es uno de los países que se ve afectado por la brecha entre la formación recibida por parte de las IES y las demandadas por el sector productivo, generando esto un obstáculo para el desarrollo de negocios en América Latina y el Caribe. (Gontero, 2019)

Para el caso de Colombia, se cuenta con el Observatorio Laboral del SENA, quienes dentro de sus funciones tienen la generación boletines que permiten evidenciar las tendencias

ocupacionales, a partir de la información reportada por las empresas, donde ellos deben informar: postulados a empleos, vacantes ofertadas y el listado de registrados en la Agencia Pública de Empleo (APE). Ya que según la Ley 1636 de 2016 y el Decreto 1072 de 2015 todas las personas jurídicas (empresas) están obligadas a reportar sus vacantes al Servicio Público de Empleo. (*Observatorio Laboral y Ocupacional Colombiano, s/f*)

También es de resaltar el análisis realizado por la ACRIP en el mes de febrero del año 2024, donde dieron a conocer la preocupación de las empresas por la ampliación de la brecha existente entre la formación del talento humano en Colombia y la requerida para operar los procesos productivos, lo que se refleja en la dificultad para la empleabilidad y la consecución de personal que cumpla las competencias requeridas, tal como se evidenció en la semana del talento de ACRIP Bogotá y Región Central en el año 2018, donde se concluyó que una de las posibles soluciones para mitigar la brecha existente entre el sector empresarial y académico es el establecer un trabajo conjunto y de co-creación entre Gobierno Nacional, las IES y las organizaciones del sector empresarial. (*Empresarios en Colombia, preocupados por brechas de talento humano en el país - ACRIP Nacional, s/f*)

Las IES de manera interna también evidencian la necesidad de identificar y caracterizar los requerimientos que actualmente son demandados por parte del sector empresarial. Ya que esto genera un desenfoco de las competencias que se están desarrollando en los egresados de los programas académicos de ingeniería a nivel de pregrado y las demandas por el empresarial. (Pineda Márquez et al., 2011)

Es en este sentido que se parte de las siguientes preguntas problema para el desarrollo de la investigación:

Pregunta de investigación principal:

- ¿Cómo diseñar un modelo cuantitativo de procesos para la educación superior en programas de ingeniería de Colombia, que identifique los requerimientos por competencias demandadas por el sector empresarial en el marco de la cuarta revolución industrial?

Preguntas de investigación complementarias:

- ¿Cómo diagnosticar las competencias requeridas por el sector empresarial en el marco de la cuarta revolución industrial en Colombia?
- ¿Cómo identificar las variables significativas que inciden en la brecha existente entre el sector empresarial y el sector académico en el marco del desarrollo de competencias demandadas por la cuarta revolución industrial en Colombia?

### **Objetivos de la investigación**

#### ***Objetivo general***

Diseñar un modelo cuantitativo de procesos para la educación superior en programas de ingeniería en Colombia, que identifique los requerimientos por competencias demandadas por el sector empresarial en el marco de la cuarta revolución industrial para el año 2024.

#### ***Objetivos específicos***

- Identificar las competencias requeridas por el sector empresarial en el marco de la cuarta revolución industrial en Colombia.
- Analizar las variables significativas relacionadas con las competencias que inciden directamente en la brecha entre el sector académico y el empresarial en el contexto de la cuarta revolución industrial en Colombia.
- Estimar un modelo de procesos para las IES, que incorpore las variables significativas identificadas, para que responda a los requerimientos por competencias del sector empresarial en el marco de la cuarta revolución industrial.

- Validar el modelo cuantitativo de procesos propuesto, a través de una prueba piloto en una IES seleccionada.

### **Alcance de la investigación**

La investigación doctoral inicia con la *Sección de la fundamentación teórica*, donde se realiza un análisis documental en fuentes primarias, para identificar los aportes desde diferentes escuelas y autores que son pertinentes para el diseño del modelo de procesos propuesto. Y finaliza con la *Sección de limitaciones, recomendaciones y conclusiones*, donde se presentan las limitaciones, recomendaciones y conclusiones de la investigación alineadas a los resultados y hallazgos obtenidos.

Es importante detallar que el diseño del modelo cuantitativo de procesos propuesto está delimitado así:

- Orientado a programas de ingeniería a nivel profesional en las IES de Colombia.
- Orientado a identificar las competencias requeridas en el marco de la cuarta revolución industrial de las organizaciones del sector empresarial colombiano.
- Orientado a identificar y analizar cuantitativamente las variables significativas, que están relacionadas con las competencias que inciden directamente en la brecha entre el sector académico y el empresarial, en el contexto de la cuarta revolución industrial en Colombia.

Dentro del alcance de la investigación, el modelo cuantitativo de procesos propuesto será una herramienta estratégica para que las IES puedan diseñar sus directrices al interior de sus programas académicos de ingeniería. Ya que este modelo brinda información de cuáles son las variables significativas que afectan el cumplimiento de los requerimientos del sector empresarial, y de cuál es su configuración óptima para responder a estos requerimientos.

### *Productos resultados de la investigación doctoral*

El producto principal de la presente tesis doctoral para optar por el título de *Doctor en Ingeniería de Procesos de la Universidad EAN*, es el diseño, estimación y validación del modelo cuantitativo de procesos que permite identificar y responder a las necesidades por competencias del sector empresarial en el marco de la cuarta revolución industrial.

Los productos obtenidos de la investigación asociados al modelo de procesos son:

- La publicación de un capítulo de libro denominado: “*Metodologías de calidad fundamentadas en herramientas de mejora continua para optimizar procesos académicos y administrativos.*” Escrito bajo la editorial UPTC. La denominación del libro en el que se publicó el capítulo es: “*El Impacto de la Calidad en el Éxito de la Gerencia de Proyectos*” (Sarmiento-Rojas et al. 2022). Con un ISBN (impreso) 978-958-660-611-0 y un ISBN (ePub) 978-958-660-612-7. En este capítulo del libro se desarrolló una muestra piloto para identificar variables significativas a ser tenidas en cuenta para el modelo de procesos propuesto en la presente investigación.

- Dos artículos sobre los resultados de la investigación doctoral, el primero evidenciando los resultados parciales y el segundo evidenciando los resultados finales obtenidos mediante el modelo de procesos propuesto en la investigación:

- “*Modelo matemático de procesos para responder las necesidades de la industria 4.0*” (presentado en ponencia el día 24 de septiembre 2024 en el *Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería ACOFI 2024 - Ingeniería: una transición hacia el futuro* en la ciudad de Cartagena Colombia, con ISSN: 2954-7288. DOI:

<https://doi.org/10.26507/paper.3689>)

- “Lean academy a mathematical model “understanding of needs between universities and industry” (presentado en ponencia el día 5 de septiembre 2024 en el evento: *International Conference on Project Management 2024 (ICPM2024)*, con una publicación estimada del artículo en el mes de diciembre 2024.)

### 1. Sección de la fundamentación teórica de la investigación

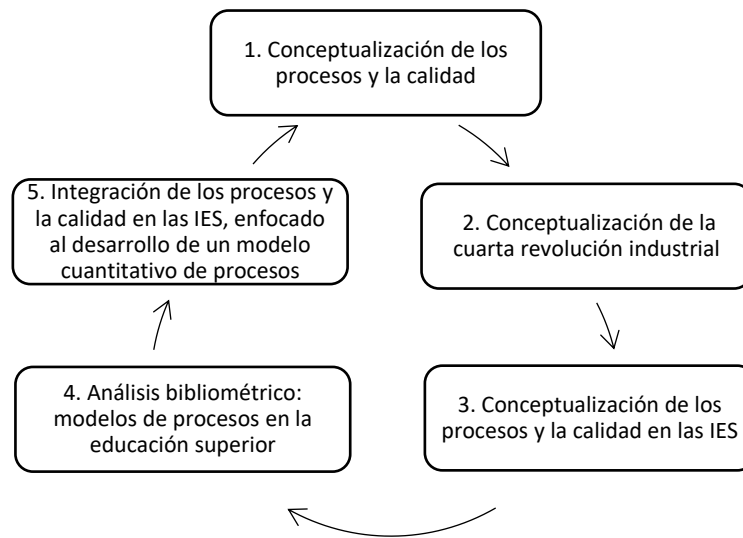
La fundamentación teórica de la investigación se aborda, a partir de los siguientes cinco ejes (véase *Figura 1*):

- **Eje 1.** Conceptualización de los procesos y la calidad. Se realiza mediante un análisis cronológico de las tres primeras revoluciones industriales, a partir de los diferentes autores que han desarrollado herramientas, metodologías y técnicas, asociadas a los conceptos de procesos y a la calidad al interior de las organizaciones para responder a los requerimientos de los clientes.
- **Eje 2.** Conceptualización de la cuarta revolución industrial. Enfatizando en los conceptos asociados a las competencias requeridas por la cuarta revolución industrial en el sector empresarial.
- **Eje 3.** Conceptualización de los procesos y la calidad en las instituciones de educación superior (IES). Enfatizando en las certificaciones, acreditaciones y mecanismos de alta calidad, para el aseguramiento del cumplimiento de requisitos de los stakeholders, teniendo como eje principal los requerimientos del sector empresarial.
- **Eje 4.** Análisis bibliométrico de modelos de procesos en la educación superior, con enfoque a la identificación de modelos cuantitativos que respondan a las competencias requeridas por el sector empresarial en el marco de la cuarta revolución industrial.

- **Eje 5.** Integración de los procesos y la calidad en las IES. Enfocado al desarrollo de un modelo cuantitativo de procesos que responda a los requerimientos por competencias del sector empresarial en el marco de la cuarta revolución industrial en Colombia.

**Figura 1**

*Ejes de la fundamentación teórica de la investigación*



*Nota.* Se presenta la forma de cómo se aborda la fundamentación teórica, iniciando con la conceptualización de procesos y calidad. Finalizando con la integración de los procesos y la calidad en las IES.

**Eje 1. Conceptualización de los procesos y la calidad**

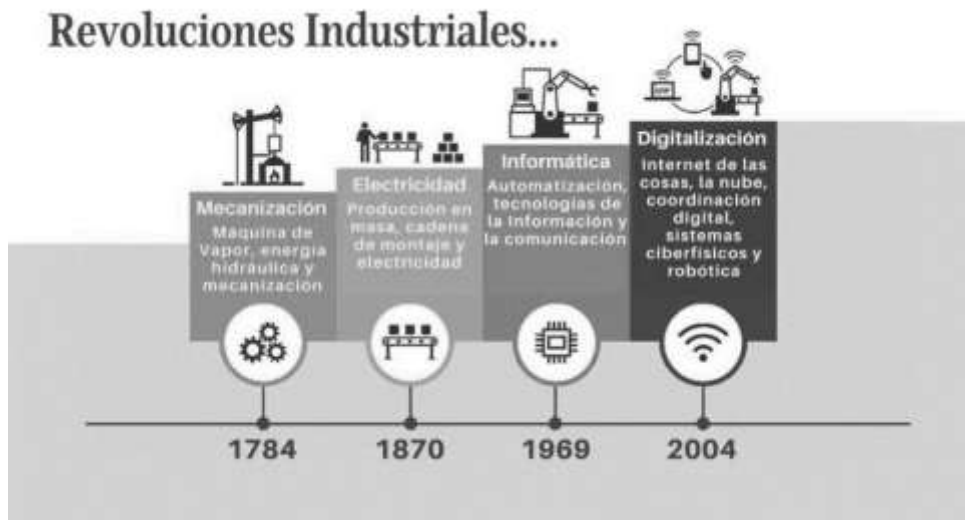
Varios autores a lo largo de la historia han desarrollado los conceptos de procesos y calidad, pero la Organización Internacional de Normalización (ISO, por siglas en inglés) es la encargada a nivel mundial de establecer los estándares básicos para apoyar el entendimiento de los conceptos y principios asociados a los procesos y la calidad. En Colombia según el decreto 2269 del año 1993, el cual indica que el organismo encargado de la reglamentación y que hace parte de los comités de ISO es el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación

(ICONTEC). Quien a través de la norma técnica colombiana (NTC -9000 (1)) conceptualiza las definiciones de procesos como el “conjunto de actividades mutuamente relacionadas o que interactúan, que utilizan las entradas para proporcionar un resultado previsto.” y de la calidad como el “grado en el que un conjunto de características inherentes de un objeto cumple con los requisitos.” (ISO, 2022)

Para desarrollar estos dos conceptos a lo largo de la historia, se presenta en la **Tabla 1** los aportes de cada uno de los autores más representativos y que generaron contribuciones a la madurez conceptual y de su usabilidad al interior de las operaciones en las organizaciones. Este análisis se realiza por medio del recorrido cronológico de los aportes en cada una de las revoluciones industriales que se han presentado en la historia, tal como se ilustra en la **Figura 2**.

**Figura 2**

*Revoluciones industriales a lo largo del tiempo*



*Nota.* Esta figura ilustra las cuatro revoluciones industriales, donde se muestran los hitos representativos de cada una de ellas; iniciando desde la primera revolución, con la incorporación de la máquina de vapor a la industria y al transporte en el año 1784. En la segunda imagen, se incorporan los avances en el desarrollo de la electricidad con su inclusión en el sector industrial y de transporte en el año 1870. En la tercera imagen, se incorpora la informática, la automatización y los avances significativos en comunicaciones para el año 1969. Finalmente, se presenta la

cuarta revolución, en la que nos encontramos actualmente y que está marcada por la digitalización, inteligencia artificial y la conectividad. (Pascual, 2022)

A continuación, se presenta la **Tabla 1**, donde se evidencian los autores en orden cronológico con sus respectivos aportes, identificando la revolución industrial donde generaron sus desarrollos conceptuales, metodológicos, herramientas y/o técnicas asociadas a los procesos y a la calidad.

**Tabla 1**

*Identificación de variables asociadas a los conceptos: procesos y calidad*

Año	Autor	Escuela	Aportes	Propósito y variables identificadas	Cita
1784			<b>Inicio de la primera revolución industrial</b>		
			Incorporación de la máquina de vapor a la industria y al transporte (en el año de 1769 se patentó la máquina de vapor por parte de James Watt) (Spear, 2008)		
1868	Frank B. y Lillian Gilbreth	Americana	Realizan un análisis de los movimientos de los operarios en sus puestos de trabajo. Ellos los agruparon en 17 movimientos básicos para la ejecución de labores en puestos de trabajo, a los cuales denominaron therblig.	Utilizaron la tecnología cinematográfica para realizar el análisis de las labores en el trabajo cotidiano.  <b>Variable:</b> Gestión por procesos	(Hazarika et al., 2019)
1870			<b>Inicio de segunda revolución industrial</b>		
			Se incorporan los avances en el desarrollo de la electricidad con su inclusión en el sector industrial y de transporte (Friedman, 1995)		
1885	Karl Friedrich Benz	Europa	Diseño el primer vehículo con motor de combustión interna en 1886, y fue considerado como uno de los primeros vehículos de producción en serie.	Diseño de operaciones para producción de vehículos.  <b>Variable:</b> Gestión por procesos	(Dietsche & Kuhlitz, 2014)
1891	Sakichi Toyoda	Japonesa	Fundador de grupo Toyota. Precursor del primer pensamiento de lean manufacturing, por medio del desarrollo de un dispositivo que identificaba las fallas en los telares (ruptura de un hilo), generando así un aviso a los operarios. Este dispositivo se denominó: “jidoka”.	Establecer los principios base para el desarrollo de la metodología TPS (Toyota Producción System) por medio del “jidoka”.  <b>Variable:</b> Herramientas de mejora continua	(Paladugu & Grau, 2020)

Año	Autor	Escuela	Aportes	Propósito y variables identificadas	Cita
1894	Taylor Frederick	Americana	Generó una categorización de los procesos de una organización en dos áreas de trabajo: la operativa y la organizacional. El objetivo de esta clasificación obedeció a una optimización del trabajador, al disminuir así los desperdicios en la ejecución de sus deberes.	Establecer las bases de la organización científica del trabajo, se puede evidenciar en su libro <i>The Principles of Scientific Management</i> .  <b>Variable:</b> Gestión por procesos	(Taylor, 2017)
1900	Edward Deming	Americana	Aporte con el ciclo de mejora continua (ciclo de Deming - PHVA) que se desarrolló en las fases: planear (P), hacer (H), verificar (V) y actuar (A).	Implantar la mejora continua de los procesos organizacionales como lo presentó en su libro <i>Out of the Crisis</i> .  <b>Variable:</b> Herramientas de mejora continua	(MTCT, 2023)
1902	Kiichiro Toyoda y Eiji Toyoda.	Japonesa	Fundadores de la corporación Toyota. Ellos establecieron la metodología TPS (Toyota Production System), un método avanzado de diseño, control y gestión de los procesos, enfocado a gestionar la calidad de una manera iterativa agregando valor al cliente por medios de sus procesos y productos, por medio de la mitigación de limitantes de la productividad.	Establecer los principios base para el desarrollo de la metodología TPS (Toyota Producción System), que fundamentó el desarrollo de las herramientas del mejoramiento continuo.  <b>Variable:</b> Herramientas de mejora continua	(Toyoda, 1998)
1903	Henry Ford	Americana	Estableció las cadenas de fabricación en masa y en línea (modelo de vehículo “T”).	La producción del modelo “T” en cadena, permitió bajar los costos de producción, lo que hizo más asequible la compra de vehículos en los Estados Unidos de América.  <b>Variable:</b> Gestión por procesos	(Tomac et al., 2019)
1910	Henry Gantt	Americana	Diseñó una tipología de gráfico, que sirve como herramienta para la planificación de operaciones que requieren un control en el tiempo al interior de los proyectos.	Desarrolló los diagramas de Gantt, que permiten evidenciar de manera visual el avance de las actividades al interior de los proyectos.  <b>Variable:</b> Gestión por procesos	(Gras, 1917)

Año	Autor	Escuela	Aportes	Propósito y variables identificadas	Cita
1920	Joseph Juran	Americana	Desarrolló la teoría de la gestión de calidad, empleando un sistema de aceptación de productos, por medio del muestreo, gráficas y tablas de control (diagrama de JMS y Pareto.)	Desarrolló la teoría de la gestión de calidad, dejando evidencia en su libro <i>Quality Control Handbook</i> .  <b>Variable:</b> Metodologías de calidad	(Ziegel et al., 1990)
1925	Henry Fayol	Americana	El aporte de Fayol se fundamentó en tres ejes: primero con la división del trabajo, segundo con la aplicación del proceso administrativo y tercero con la formulación de criterios técnicos, orientados a la definición de las labores al interior de los procesos organizacionales.	Generó una serie de principios para la empresa, orientados a la fragmentar las actividades a ejecutar en el trabajo, disciplina de los trabajadores, definición de la unidad y jerárquica de mando, pago justo en concordancia a la labor realizada, estabilidad laboral y el trabajo orientado a lo co-creación en equipo.  <b>Variable:</b> Gestión por procesos	(Fayol, 1916)
1927	Elton Mayo	Americana	Estudió la motivación de los trabajadores para poder optimizar las labores al interior de las compañías.	Aportó al estudio y entendimiento del impacto de la motivación de los trabajadores al interior de los procesos en las compañías.  <b>Variable:</b> Metodologías de calidad	(Mayo, 1946)
1931	Walter Shewhart	Americana	Aportó al desarrollo del análisis por inspección, a través del uso del muestreo y de las tablas estadísticas para el aseguramiento de la calidad.  Trabajó en el desarrollo de los gráficos de control estadístico por medio de la aplicación de experimentos.	Estudió el control de calidad por muestreo.  <b>Variable:</b> Metodologías de calidad	(W. & Shewhart, 1940)
1940	George Dantzing	Americana	Desarrolló el método simplex utilizado como fundamento de la programación lineal. Método analítico cuantitativo de solución de problemas de optimización.	Desarrolló el método matemático para optimizar problemas lineales.  <b>Variable:</b> Metodologías de calidad	(Vajda & Dantzig, 1964)

Año	Autor	Escuela	Aportes	Propósito y variables identificadas	Cita
1940	Kaoru Ishikawa	Japonesa	Desarrolló el sistema de gestión de calidad adecuado al valor de los procesos empresariales - CTC (control total de la calidad.) También fue el pionero en el análisis riguroso de las causas que originan problemas al interior de los procesos en las organizaciones, por medio del diseño del diagrama causa efecto, denominado Ishikawa.	<p>Diseñó el diagrama causa efecto – Ishikawa.</p> <p><b>Variable:</b> Metodologías de calidad</p>	(Ishikawa, 1981)
1940	Armand V. Feigenbaum	Americana	Desarrolló la metodología del control total de la calidad (TQC por sus siglas en inglés de: <i>Total Quality Control</i> .)	<p>Desarrolló la metodología <i>Total Quality Control</i> (TQC).</p> <p><b>Variable:</b> Herramientas de mejora continua</p>	(Feigenbaum, 1983)
1945	Shigeo Shingo	Japonesa	Desarrolló la metodología de gestión de inventarios, a través del control estadístico denominada kanban. Este método se fundamenta en la optimización de inventarios, utilizando la metodología justo a tiempo (JIT). Adicionalmente diseñó las metodologías de cambios en menos de un dígito SMED, para optimizar los tiempos productivos de las máquinas y equipos, al igual que la técnica de calidad denominada Poka-Yoke, que se diseñó con la fin de mitigar los errores al interior de los procesos.	<p>Desarrolló la metodología de gestión de inventarios y técnicas con la finalidad de mitigar los errores al interior de los procesos.</p> <p><b>Variable:</b> Herramientas de mejora continua</p>	<p>(Shingo &amp; Bodek, 2019)</p> <p>(Shingo, 2019b)</p> <p>(Shingo, 2019a)</p>
1950	Gen'ichi Taguchi	Japonesa	Desarrolló una metodología estadística, enfocada en el diseño de experimentos, denominada: <i>Taguchi</i> , a través del diseño de una matriz que incorpora los factores de ruido que no se pueden controlar al interior del experimento en estudio.	<p>Diseñó la metodología estadística incorporando los factores de ruido del experimento en estudio.</p> <p><b>Variable:</b> Metodologías de calidad</p>	
1960	NASA Agencia espacial independiente del gobierno federal de los Estados Unidos	Americana	La agencia espacial independiente del gobierno federal de los Estados Unidos desarrolló la metodología de análisis del modalidad de efecto y falla (AMEF) para la gestión de riesgos.	<p>Diseñó la metodología para identificar, medir, evaluar y mitigar los riesgos asociados a los procesos.</p> <p><b>Variable:</b> Metodologías de calidad</p>	(Fernandez Mozo, 2019)

Año	Autor	Escuela	Aportes	Propósito y variables identificadas	Cita
1964	Phillip B. Crosby	Americana	Desarrolló el concepto de cero defectos, al implementar dentro de los procesos de la industria militar estadounidense la metodología de hacerlo bien desde la primera vez DIRFT, lo que permitió mitigar el reproceso en las operaciones.	Enfoque a cero defectos al interior de los procesos organizacionales.  <b>Variable:</b> Metodologías de calidad	(Philip, 1989)
1969	<b>Inicio de la tercera revolución industrial</b>				
	Se incorpora la informática, la automatización y los avances significativos en comunicaciones (Humanística & 1994, s/f)				
1978	Yoji Akao	Japonesa	Desarrollador de la metodología de gestión estratégica de las organizaciones denominada <i>Hoshin Kanri</i> y del QFD - <i>Quality Function Deployments</i> , que es un análisis de los requerimientos básicos de los clientes, para así poder identificar las oportunidades de mejora al interior de los procesos y productos de una compañía.	Desarrolla el tablero estratégico de mando para las empresas, denominado: <i>Hoshin Kanri</i> y el análisis funcional de la calidad QFD.  <b>Variable:</b> Metodologías de calidad	(English, 1993)  (Nicholas, 2016)
1980	Bill Smith	Americana	La compañía Motorola desarrolla la metodología six sigma, fundamentada en la distribución estadística de la normal, con enfoque a la mitigación de las fuentes de variabilidad al interior de los procesos de las compañías.	Diseño de una metodología con enfoque a la mitigación de las fuentes de variabilidad al interior de los procesos.  <b>Variable:</b> Metodologías de calidad	(Adams et al., 2020)  (LeanSolutions, 2018)
1985	Tai-chi Ohno	Japonesa	Diseñó las metodologías asociadas al control total de la calidad (TQC por sus siglas en inglés) y a la automatización industrial de las actividades al interior de los procesos.	Diseño metodologías asociadas al control total de la calidad (TQC) y a la automatización industrial.  <b>Variable:</b> Herramientas de mejora continua	(Imai, 2016)  (Gupta & Gupta, 1989)
1985	Masaaki Imai	Japón	Fundó el instituto Kaizen Institute Consulting Group.	Instituto con enfoque al mejoramiento continuo de los procesos.  <b>Variable:</b> Herramientas de mejora continua	(Imai, 2016)

Año	Autor	Escuela	Aportes	Propósito y variables identificadas	Cita
1987	ISO - Internatio nal Organizati on for Standardiz ation	Americana	Se publica la primera versión de la norma ISO 9000 y 9001 orientada a los sistemas de gestión de la calidad.	Normaliza los conceptos básicos asociados a los procesos y a la calidad.  <b>Variable:</b> Gestión por procesos	(Ost & Silveira, 2018)  (ISO, 2022)
1990	Robert S. Kaplan y David P. Norton	Americana	Desarrollan el cuadro de mando integral que se denominó: <i>Balanced Score Card</i> (BSC), estructurado bajo cuatro perspectivas: - financiera - procesos - formación - cliente.	Desarrollo de un tablero con enfoque a gestionar de manera integrada el monitoreo y control de operaciones al interior de las organizaciones.  <b>Variable:</b> Metodologías de calidad	(Kaplan & Norton, 1992)
2001	Compañía Technicolor	Americana	Implementó en su producción el uso de la metodología de las 8D, para lograr la identificación, formulación y solución de novedades al interior de sus procesos operacionales.	Metodología para identificación, formulación y solución de novedades en la producción, a partir del desarrollo de soluciones factibles a la necesidad identificada.  <b>Variable:</b> Herramientas de mejora continua	(Kaplík et al., 2013)
2005	Craig Setter	Americana	The Council for Six-Sigma Certification (CSSC). Tiene el objetivo definir el conjunto de estándares para las empresas que ofertan cursos de certificación de lean manufacturing y six sigma.	Entrenamiento en metodologías de lean manufacturing y six sigma.  <b>Variable:</b> Herramientas de mejora continua	(Delahoz-Dominguez et al., 2023)  (Tsong & Wang, 2023)
2015	ISO - Internatio nal Organizati on for Standardiz ation	Americana	Se realiza la última actualización de las normas ISO 9000 y 9001, incorporando la gestión de riesgo como un eje principal al interior de los procesos de las compañías.	Enfoque en la gestión de riesgos de los procesos organizacionales.  <b>Variable:</b> Gestión por procesos	(Ost & Silveira, 2018)  (ISO, 2022)

*Nota.* Esta tabla muestra los autores con sus aportes significativos a los procesos y a la calidad. En la primera columna se presenta el año, que corresponde a la fecha donde se generó el aporte por parte del autor. En la segunda columna está el nombre o los nombres de los autores que generaron el aporte. En la tercera columna se presenta la escuela (esta clasificación por escuela se genera a partir de la ubicación geográfica de donde el autor es originario.) En la cuarta columna se presenta el aporte del autor, el cual está asociado a los desarrollos metodológicos, conceptuales, herramientas y/o técnicas generadas por los autores. En la quinta columna, se

presenta el propósito del aporte y a su vez se presenta la variable que resume el contenido de la contribución del autor, para así poderlas agrupar los aportes de los autores (esta agrupación obedece a conceptos asociados a los procesos y a la calidad y que son insumo para el modelo cuantitativo de procesos propuesto en la presente investigación). Finalmente, en la sexta columna se presenta la citación de la fuente primaria de obtención de los datos para la construcción de la tabla.

## **Eje 2. Conceptualización de la cuarta revolución industrial**

En este eje se enfatizan los conceptos asociados a las competencias requeridas por la cuarta revolución industrial del sector empresarial.

La cuarta revolución industrial tiene sus inicios aproximadamente en el año 2011, donde el término de “*industria 4.0*” fue propuesto y acuñado por el gobierno alemán en la feria de Hannover (Klaus Schwab, 2017). Esta feria es un punto de encuentro clave para la industria europea, donde el eje central son los negocios y la tecnología. Esta feria tiene el enfoque en los desarrollos más recientes de los campos de la automatización industrial, la robótica, la energía y la tecnología digital. (Aguilar, 2017)

En el año 2012 Klaus Schwab, fundador y presidente ejecutivo del Foro Económico Mundial, propuso el concepto de cuarta revolución Industrial en su libro “*La Cuarta Revolución Industrial*”. Adicionalmente en Foro Económico Mundial del año 2017, se lanza el centro de la cuarta revolución industrial en la ciudad de San Francisco en California (USA), para motivar la aceptación de la tecnología en la sociedad. (Schwab, 2019)

Paralelamente el gobierno del país de China lanza el plan “*Made in China 2025*” para transformar el país en una potencia mundial de la tecnología y de la automatización. En el año 2018 la organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) publica el informe “*La Economía Digital y la Cuarta Revolución Industrial*”, que analiza los impactos económicos, sociales y políticos de la cuarta revolución industrial. (Schwab, 2019)

Para el año 2020, se vive a nivel mundial la pandemia del COVID-19, que tiene una duración de dos años aproximadamente, generando una aceleración en la aplicación e incorporación de tecnologías digitales en las organizaciones. Posterior a esta pandemia las tecnologías asociadas a la cuarta revolución industrial continúan con su desarrollo y mejoramiento al interior de las compañías y de los gobiernos a nivel mundial. (Aguilar & Terán, 2021)

Es en esta cuarta revolución industrial que se acuñan varios términos asociados a las competencias requeridas por el sector empresarial:

- **Internet de las cosas (IoT):** es la interconexión de dispositivos electrónicos a través de internet, que permite la transmisión de datos y la automatización de procesos. El término (IoT) se atribuye al empresario y experto en tecnología británico Kevin Ashton, quien lo acuñó este término en el año 1999 mientras trabajaba para Procter & Gamble, investigando formas de utilizar tecnología de identificación por radiofrecuencia (RFID) para mejorar la eficiencia en la cadena de suministro. Fue durante ese proceso que desarrolló el término de internet de las cosas para describir la conexión de objetos cotidianos, a través de internet para mejorar su funcionalidad y eficiencia. (Ashton, 2009)

- **Inteligencia artificial (IA):** capacidad de las máquinas para aprender utilizando algoritmos y técnicas de procesamiento de datos. En la actualidad se evidencian aportes de varios autores que han contribuido a la evolución de la inteligencia artificial. Se identifican como autores iniciales en el campo de la inteligencia artificial a: John McCarthy, Marvin Minsky, Claude Shannon, Alan Turing y McCarthy, este último quien propuso el término de IA en la conferencia de Dartmouth en el año de 1956. El objetivo de la conferencia fue reunir a expertos en diversas áreas, como la psicología, la lógica, la teoría de la información y la cibernética, para

discutir la posibilidad de crear máquinas que pudieran realizar tareas que requieren inteligencia humana. (Moor, 2006)

- **Blockchain:** es una herramienta para el procesamiento de datos y la autenticación de transacciones. Los creadores de blockchain, son un grupo de personas que operan bajo el seudónimo de Satoshi Nakamoto. En el año 2008 se publicó el libro denominado: "*Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System*", en que se desarrolló el concepto de blockchain como base del sistema de criptomoneda Bitcoin.

Nakamoto define a blockchain como una tecnología que permite el registro seguro y descentralizado de transacciones y datos en una red distribuida. (Berentsen, 2019)

- **Realidad virtual (VR):** se refiere a la tecnología que permite a los usuarios sumergirse en un entorno virtual creado por computadora. El concepto de realidad virtual fue acuñado por el escritor de ciencia ficción Jaron Lanier en la década de 1980. Uno de los pioneros en el campo de la realidad virtual fue el científico estadounidense de la computación Ivan Sutherland, quien en el año de 1968 diseñó el primer sistema de visualización de realidad virtual, el cual denominó: "*The Sword of Damocles*." (Botosan & Plumlee, 2001)

Otro autor importante en el campo de la realidad virtual fue el ingeniero e inventor estadounidense Douglas Engelbart, quien en la década de 1960 desarrolló un sistema de realidad virtual llamado "*The Augmented Research Center*." (Brown, 2019)

- **Fabricación aditiva (impresión 3D):** es la creación de objetos tridimensionales, que permite una producción más rápida y personalizada de objetos. Esta tecnología ha sido desarrollada entre varios investigadores y empresas. Uno de los primeros sistemas de impresión 3D fue desarrollado en el año de 1986 por el ingeniero estadounidense Chuck Hull, quien fundó la compañía 3D Systems e inventó el proceso denominado estereolitografía, que permite crear

modelos físicos de objetos digitales mediante la adición sucesiva de capas de material. (Trevejo-Bocanegra et al., 2015)

También se evidencia los aportes del empresario estadounidense S. Scott Crump, a través de la invención de la tecnología de modelado por depósito fundido (FDM), que es una de las técnicas más comunes de impresión 3D. (Marcillo Parrales et al., 2021)

- **Big Data:** es la gestión y análisis de grandes volúmenes de datos complejos, por medio de herramientas o dispositivos computacionales con una alta capacidad de almacenamiento y procesamiento de datos. Big Data no puede ser acuñado a un solo individuo, ya que es el resultado de una evolución histórica de la tecnología y la investigación del tratamiento de grandes volúmenes de datos. Se resalta como uno de los pioneros al científico de la computación estadounidense Doug Cutting, quien en 2006 creó el marco de trabajo de procesamiento distribuido Apache Hadoop. (Vavilapalli et al., 2013).

Otro autor significativo, que aportó al desarrollo del concepto de Big Data fue el científico de datos y emprendedor estadounidense Jeff Hammerbacher, quien fue uno de los primeros científicos de datos en Facebook, y a Nate Silver. Él ha utilizado el análisis de datos para predecir resultados políticos y deportivos. Hammerbacher cofundó Cloudera, una empresa de tecnología que se enfoca en la gestión de Big Data. (Cloudera, 2009)

- **El metaverso:** término empleado para describir un espacio virtual compartido y en tiempo real, en el que las personas pueden interactuar entre sí, a través de avatares. El concepto de "*metaverso*" fue desarrollado por Neal Stephenson, quien lo acuñó en su novela de ciencia ficción "*Snow Crash*" de 1992. Varias compañías, como Facebook, Google y Microsoft, están trabajando en el desarrollo de plataformas de metaverso que permitan a los usuarios interactuar en un entorno virtual compartido. (Ng, 2022)

- **Ciberseguridad:** es la red contra amenazas cibernéticas, como lo pueden ser: virus, hackers y phishing. El término "ciberseguridad" se acuñó a partir de la combinación de las palabras "cibernética" y "seguridad". (Maroto, 2009)

- **Cloud computing:** este concepto hace referencia a la capacidad de acceder a recursos informáticos utilizando el internet, sin necesidad de interactuar físicamente con un computador o servidor, con la finalidad de almacenar información o para procesarla.

El término se atribuye comúnmente a Ramnath Chellappa, un profesor de la Universidad de Emory, quien lo usó por primera vez en una conferencia en 1997, para describir una nueva forma de proporcionar servicios de tecnología de la información. Hoy en día compañías como Amazon, Microsoft y Google han liderado el desarrollo y la adopción masiva de la tecnología de Cloud Computing. (Creeger, 2009)

- **Machine learning:** el concepto fue desarrollado por el científico de la computación Arthur Samuel en el año de 1959 mientras trabajaba en IBM. Él acota el término como: *"un campo de estudio que le da a las computadoras la capacidad de aprender sin ser programadas explícitamente."* (Zhou, 2021)

Para complementar la identificación de la terminología asociada a las competencias requeridas por el sector empresarial en el marco de la cuarta revolución industrial, se escala una consulta utilizando la inteligencia artificial (chat GPT, versión 3.5), a partir de la construcción de la siguiente búsqueda: *“Yo como investigador, requiero una tabla a tres columnas: donde en la primera columna se ubiquen todos los programas académicos relacionados a la ingeniería a nivel profesional de pregrado en Colombia; en la segunda columna me coloque el aporte de cada programa académico a la cuarta revolución industrial y en la tercera columna, me coloque las palabras claves asociadas a los requerimientos en competencias, conocimientos técnicos y*

*habilidades que los empleadores tanto públicos como entidades privadas en Colombia están solicitando en sus ofertas de empleo por cada programa académico relacionado en la primera columna.”, obtenido los resultados presentados en la **Tabla 2**.*

**Tabla 2**

*Términos relacionados con las competencias de la cuarta revolución industrial por programa académico*

<b>Programa académico</b>	<b>Aporte a la cuarta revolución industrial</b>	<b>Términos relacionados cuarta revolución industrial</b>
Ingeniería Biotecnológica	Avances en medicina y agricultura	Biotecnología, genómica y edición genética
Ingeniería Bioquímica	Desarrollo de medicamentos y biocombustibles	Química biomolecular y bioprocesos
Ingeniería Biomédica	Innovación en dispositivos médicos	Tecnología médica y dispositivos biomédicos
Bioingeniería	Fusión de la ingeniería y la biología	Ingeniería de biomateriales y bioinformática
Ciencias de la Computación e Inteligencia Artificial	Desarrollo de sistemas inteligentes	Aprendizaje automático y procesamiento de lenguaje natural
Ingeniería de Sistemas Cibernéticos	Seguridad informática y cibernética	Ciberseguridad y sistemas de control
Ingeniería de Sistemas de Información	Desarrollo de sistemas de información	Sistemas de información
Ingeniería de Sistemas e Informática	Gestión de datos y sistemas empresariales	Arquitectura de software y sistemas de información
Ingeniería de Telecomunicaciones e Informática	Tecnologías de comunicación	Programación y sistemas operativos
Ingeniería en Telecomunicaciones	Tecnologías de comunicación	Comunicaciones móviles e infraestructura de red
Ingeniería de Sistemas y Telecomunicaciones	Integración de sistemas y redes	Arquitectura de red y protocolos de comunicación
Ingeniería en Telemática	Comunicaciones y sistemas de información	Teleinformática y comunicación de datos
Ingeniería de Software	Desarrollo de aplicaciones y sistemas	Ingeniería de software y desarrollo ágil
Ingeniería de Sistemas	Diseño y mantenimiento de sistemas	Gestión de sistemas e integración de tecnologías
Construcciones Civiles	Innovación en construcción e infraestructura	Ingeniería civil y diseño estructural
Ingeniería Civil	Diseño y construcción de infraestructuras	Diseño de carreteras e ingeniería estructural
Ingeniería Aeronáutica	Avances en tecnología aeroespacial	Diseño de aviones y propulsión aeroespacial
Ingeniería Ambiental	Sostenibilidad y conservación del medio ambiente	Gestión ambiental e impacto ambiental
Ingeniería Ambiental y de Saneamiento	Gestión de recursos hídricos y residuos	Tratamiento de aguas residuales e hidrología
Ingeniería Sanitaria	Saneamiento y salud pública	Ingeniería de saneamiento y salud ambiental
Ingeniería Ambiental y Sanitaria	Gestión integral del ambiente y la salud	Planificación ambiental y salud pública
Ingeniería en Energías Renovables	Desarrollo de energías limpias	Energía solar y energía eólica

Programa académico	Aporte a la cuarta revolución industrial	Términos relacionados cuarta revolución industrial
Ingeniería en Procesos Sostenibles de las Maderas	Tecnologías sostenibles en la industria de la madera	Procesamiento de madera y gestión forestal
Ingeniería Forestal	Gestión y conservación de bosques	Silvicultura y manejo de recursos forestales
Ingeniería Geológica	Estudio y explotación de recursos geológicos	Geología aplicada y exploración de minerales
Ingeniería Geográfica y Ambiental	Tecnologías para el análisis del terreno	SIG (sistemas de información geográfica) y topografía
Ingeniería en Topografía	Levantamiento y representación del terreno	Cartografía y fotogrametría
Ingeniería Topográfica y Geomática	Análisis espacial y geodésico	Geomática y geodesia
Ingeniería Catastral y Geodesia	Registro y medición del territorio	Cadastral y geodesia
Ingeniería Comercial	Tecnologías aplicadas a la gestión empresarial	Gestión de negocios y estrategia empresarial
Ingeniería de Mercados	Análisis y marketing estratégico	Investigación de mercados y estrategias de ventas
Ingeniería de Alimentos	Innovación en procesamiento de alimentos	Tecnología alimentaria y seguridad alimentaria
Ingeniería Industrial	Mejora de procesos y productividad	Ingeniería de procesos y optimización industrial
Ingeniería de Control	Automatización y control de procesos	Control automático e instrumentación
Ingeniería de Diseño de Producto	Desarrollo de productos innovadores	Diseño industrial y prototipado
Ingeniería de la Calidad	Gestión de la calidad en procesos	Control de calidad y mejora continua
Ingeniería de Productividad y Calidad	Optimización de procesos y calidad	Gestión de calidad y eficiencia operativa
Ingeniería de Mantenimiento	Mantenimiento predictivo y preventivo	Gestión de mantenimiento y fiabilidad
Ingeniería de Manufactura	Innovación en procesos de fabricación	Automatización de procesos e ingeniería de producción
Ingeniería de Procesos	Optimización de operaciones industriales	Ingeniería de operaciones y mejora de procesos
Ingeniería de Procesos Industriales	Mejora de la eficiencia industrial	Ingeniería industrial y producción industrial
Ingeniería de Producción	Gestión y optimización de la producción	Planificación de producción y control de inventarios
Ingeniería de Producción Agrícola	Tecnología aplicada a la agricultura	Agronomía e innovación agrícola
Ingeniería Agroindustrial	Procesamiento y producción de alimentos	Agroindustria y transformación de alimentos
Ingeniería de Materiales	Desarrollo de nuevos materiales	Ciencia de materiales y metalurgia
Ingeniería en Logística	Gestión eficiente de cadenas de suministro	Cadena de suministro y gestión logística
Ingeniería en Logística y Operaciones	Optimización de operaciones logísticas	Planificación logística y distribución
Ingeniería en Higiene y Seguridad Ocupacional	Prevención de riesgos laborales	Seguridad ocupacional y salud laboral
Ingeniería en Seguridad y Salud en el Trabajo	Gestión de seguridad laboral	Evaluación de riesgos y prevención de accidentes
Ingeniería de Minas	Tecnología en extracción de minerales	Minería e ingeniería de recursos
Ingeniería de Minas y Metalurgia	Procesamiento de minerales	Metalurgia y procesamiento de minerales
Ingeniería de Petróleos	Tecnología en exploración y extracción	Exploración petrolera y refinación
Ingeniería Petroquímica	Tecnología en procesos químicos	Petroquímica y transformación química
Ingeniería de Plásticos	Desarrollo de productos plásticos	Polímeros e ingeniería de polímeros
Ingeniería Metalúrgica	Tecnología en metalurgia	Fundición y tratamiento de metales

Programa académico	Aporte a la cuarta revolución industrial	Términos relacionados cuarta revolución industrial
Ingeniería de Sonido	Tecnología en audio	Acústica y producción musical
Ingeniería de Transporte y Vías	Mejora de infraestructura vial	Ingeniería vial y transporte urbano
Ingeniería Eléctrica	Desarrollo de sistemas eléctricos	Electrónica y energía eléctrica
Ingeniería Electromecánica	Integración de sistemas eléctricos y mecánicos	Automatización industrial y robótica
Ingeniería en Automática Industrial	Control y automatización de procesos industriales	Automatización de procesos y control industrial
Ingeniería en Automatización	Implementación de sistemas automatizados	Automatización de sistemas y sistemas robotizados
Ingeniería en Control Electrónico e Instrumentación	Instrumentación y control industrial	Instrumentación electrónica y control industrial
Ingeniería en Control y Automatización Industrial	Automatización de procesos industriales	Control industrial y automatización de procesos
Ingeniería en Instrumentación y Control	Diseño de sistemas de medición y control	Control de procesos e instrumentación industrial
Ingeniería en Energía	Desarrollo de tecnologías energéticas	Generación de energía y eficiencia energética
Ingeniería en Mecatrónica	Integración de sistemas mecánicos, eléctricos y de control	Robótica y sistemas mecatrónicos
Ingeniería en Multimedia	Tecnología en medios audiovisuales	Producción audiovisual y diseño multimedia
Ingeniería Financiera	Tecnología aplicada a finanzas	Finanzas cuantitativas y gestión financiera
Ingeniería Financiera y de Negocios	Tecnología en gestión empresarial	Análisis financiero y estrategia empresarial
Ingeniería Mecánica	Desarrollo de sistemas mecánicos	Diseño mecánico y termofluidos
Ingeniería Mecatrónica	Integración de sistemas mecánicos y electrónicos	Control automático y robótica
Ingeniería Naval	Tecnología en construcción naval	Diseño naval y construcción de barcos
Ingeniería Oceánica	Tecnología para el estudio del océano	Oceanografía e ingeniería marítima
Ingeniería Química	Procesamiento químico y producción	Ingeniería de procesos químicos y reactores químicos

*Nota.* La tabla se construye, a partir de la respuesta obtenida a la consulta generada en el software de inteligencia artificial chat GPT versión 3.5 (OpenAI, 2023). Donde se presenta en la primera columna los programas académicos que ofertan un programa de ingeniería a nivel de pregrado en Colombia a corte del año 2023. En la segunda columna se presenta el aporte de cada programa a la cuarta revolución industrial. En la tercera columna se presenta la terminología asociada a la cuarta revolución industrial, que fue identificada, a partir de la búsqueda realizada por la IA.

La consulta realizada a la inteligencia artificial (IA) es pertinente, ya que chat GPT al ser una IA enfocada en el procesamiento de lenguaje natural, logra ejecutar búsqueda del contenido textual solicitado en una amplia variedad de textos tomando como referente el material disponible en la internet, que incluye fuentes bibliográficas, artículos, páginas web y muchas otras fuentes de información de acceso libre que no requiera credenciales de acceso (Zhou,

2021). La inteligencia artificial recorre la web identificando los términos asociados a la consulta y que están siendo utilizado en páginas y portales web por los internautas, que son personas naturales y jurídicas (como es el caso cuando se consulta en línea las competencias requeridas para la construcción de perfiles de cargo o para el diseño de ofertas laborales) y presenta los resultados ilustrados en la **Tabla 2**, donde se pueden evidenciar los términos asociados a las competencias de la cuarta revolución industrial.

Adicionalmente, se realiza una validación a la respuesta generada por la IA en la **Tabla 2**, tomando aleatoriamente un programa académico: “*ingeniería industrial*”, el cual evidenció la respuesta por parte de la IA asociado al aporte que hace el programa académico a la cuarta revolución industrial: “*mejora de procesos y productividad*”, y que responde a los términos relacionados con la cuarta revolución industrial: “*ingeniería de procesos y optimización industrial.*” Se realiza la validación con la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI), quien presenta los retos de los profesionales de ingeniería industrial. Indicando que: “*Un profesional de la Ingeniería Industrial, en un horizonte de 12 años, debe estar preparado para resolver problemas que para este tiempo involucren la aplicación de las nuevas tecnologías y la optimización de los procesos industriales*” (Los retos de los profesionales de la Ingeniería Industrial | ACOFI | Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería, s/f), evidenciando que sí se alinea la respuesta obtenida de la IA.

Se realiza una segunda validación con un estudio exploratorio realizado en el artículo “*Competencias profesionales e Industria 4.0: análisis exploratorio para ingeniería industrial y administrativa en Medellín*”, donde los autores presentan un análisis de las competencias afines con las IES y el sector empresarial, identificando las competencias de manejo de lenguaje de

programación (Arenas et al., 2021). Esta identificación de competencia se alinea a la respuesta generada por la IA en la *Tabla 2*.

Con lo anterior se puede validar la pertinencia y alineación de los resultados de la consulta realizada con IA, al evidenciar que los resultados de la búsqueda corresponden a la información presentada e identificada en las fuentes primarias de información.

### **Eje 3. Conceptualización de los procesos y la calidad en las instituciones de educación superior (IES)**

Este eje se centrará en las certificaciones, acreditaciones y mecanismos de alta calidad que las IES implementan para dar cumplimiento a los requisitos de los stakeholders, teniendo como actor principal los requerimientos del sector empresarial.

En Colombia, las principales instituciones o entidades rectoras de la calidad en educación superior son:

- Ministerio de Educación Nacional (MEN): organización responsable de establecer los parámetros para el desarrollo de la educación superior en Colombia y su vez de garantizar su calidad y pertinencia.
- Consejo Nacional de Acreditación (CNA): organización encargada de otorgar las acreditaciones de alta calidad a las IES y a los programas académicos en Colombia.
- Instituto colombiano para la evaluación de la educación (ICFES): organización responsable de la validación y verificación de resultados para la admisión de estudiantes a la educación superior en Colombia. También tienen a su cargo la responsabilidad de realizar estudios de medición periódica de la calidad educativa.

- Consejo Superior de Educación (CESU): hace parte del Ministerio de Educación Nacional, y tiene como objetivo la gestión de lineamientos y estrategias para el desarrollo de la educación superior en Colombia.

- Asociación Colombiana de Universidades (ASCUN): organización que agrupa a las principales universidades del país y que tiene como objetivo promover la excelencia académica y la investigación en los programas académicos en Colombia (Nacional, 2023).

A nivel Latinoamérica las principales instituciones o entidades rectoras de la calidad en educación superior son:

- Consejo de Acreditación de la Educación Superior (CONEAU) en Argentina.
- Comisión Nacional de Acreditación (CNA) en Chile.
- Consejo Nacional de Acreditación (CNA) en Colombia.
- Consejo de Evaluación, Acreditación y Aseguramiento de la Calidad de la Educación Superior (CEAACES) en Ecuador.

- Instituto de Evaluación e Innovación Educativa (IEIE) en México.
- Consejo Nacional de Educación Superior (CONESUP) en Costa Rica.
- Consejo Nacional de Universidades (CNU) en Nicaragua.
- Consejo Nacional de Acreditación Universitaria (CNAU) en Paraguay.
- Consejo Nacional de Educación Superior (CONES) en Perú.
- Consejo de Evaluación, Acreditación y Aseguramiento de la Calidad de la Educación Superior (CEAACES) en Ecuador.

Estas instituciones y entidades tienen como objetivo evaluar y asegurar la calidad de la educación superior en sus respectivos países, a través de procesos de acreditación, evaluación y

seguimiento a las IES y a sus programas académicos. (*Inicio - Consejo Nacional de Acreditación - CNA, s/f*)

Adicionalmente a las acreditaciones de alta calidad a las que se puede postular y acreditar un programa de ingeniería a nivel profesional, también puede certificar el desarrollo y evaluación de sus competencias de aprendizaje, mediante modelos de acreditación de estándares internacionales para programas de ingeniería a nivel profesional.

***Modelos de acreditación de estándares internacionales para programas de ingeniería***

Los modelos de acreditación se fundamentan en el desarrollo y evaluación de competencias de aprendizaje. Entre los modelos de acreditación internacional se pueden evidenciar los siguientes: ABET (*Accreditation Board for Engineering and Technology*), Washington Accord, EUR-ACE (*European Accreditation of Engineering Programs*) y CDIO (*Conceive-Design-Implement-Operate*). Estos modelos de acreditación tienen como objetivo evaluar y asegurar la calidad de los programas profesionales de ingeniería, a través de procesos rigurosos y estandarizados. (Peláez-Valencia et al., 2020)

**ABET (Accreditation Board for Engineering and Technology):** es una organización que está avalada por el Council for Higher Education Accreditation (CHEA). El objetivo de ABET es acreditar programas de ingeniería, que han evidencia el debido cumplimiento de los estándares del modelo por competencias (véase la *Figura 3.*) (ABET, 2023)

**Figura 3**

*Descripción de competencias ABET*

No.	Descripción de la competencia
1	Identificar, formular y resolver problemas complejos de ingeniería mediante la aplicación de principios de ingeniería, ciencia y matemáticas.

- |   |  |
|---|--|
| 2 | Hacer uso del diseño de ingeniería para producir soluciones que satisfagan necesidades definidas, considerando la salud, seguridad y bienestar del público, así como los aspectos globales, culturales, sociales, ambientales y económicos.    |
| 3 | Comunicarse efectivamente con un rango de audiencias.  |
| 4 | Reconocer responsabilidades éticas y profesionales en situaciones de ingeniería y realizar juicios fundados, los cuales deben considerar el impacto de las soluciones de ingeniería en contextos globales, económicos, ambientales y sociales. |
| 5 | Desempeñarse efectivamente en un equipo, cuyos miembros en conjunto proveen liderazgo, crean un ambiente colaborativo e incluyente, establecen propósitos, planean tareas y cumplen objetivos.   |
| 6 | Diseñar y llevar a cabo un proceso apropiado de experimentación, analizar e interpretar información, y usar el criterio de ingeniería para extraer conclusiones.   |
| 7 | Adquirir y aplicar nuevo conocimiento, cuando sea necesario, usando estrategias de aprendizaje apropiadas.   |

*Nota.* Esta figura (ABET, 2023), presenta las siete competencias que se deben desarrollar y evidenciar en un profesional que se egrese de un programa profesional de ingeniería bajo el modelo ABET.

El proceso de certificación ABET es voluntario por parte del programa de ingeniería que se desea certificar, llevando a cabo una validación por pares evaluadores, que buscan asegurar que la IES y el programa académico cumple con los estándares internacionales. En año 2023, aproximadamente tres mil seiscientos programas académicos en más de setecientas IES de veintinueve países han recibido la acreditación ABET. (ABET, 2023)

Colombia cuenta a corte del primer semestre del año 2024 con veinte cuatro (24) programas de ingeniería acreditados por ABET. (*Modelo de Acreditación ABET / ACOFI / Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería, s/f*), entre los programas acreditados se encuentran: Ingeniería Química, Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Universidad Industrial de Santander (UIS). Es de resaltar que la Universidad de los Andes cuenta con nueve programas de pregrado de ingeniería acreditados en ABET.

**EUR-ACE (European Accreditation of Engineering Programs):** es un modelo de acreditación europeo, que tiene por objetivo evaluar la calidad de los programas de ingeniería,

teniendo presente criterios tales como: la formación de los estudiantes, la calidad de los profesores, la infraestructura física, los recursos, la movilidad estudiantil y la empleabilidad de los egresados. En Europa existe la (ENAE) European Network for Accreditation of Engineering Education, que es la red de acreditación de programas profesionales de ingeniería. (Peláez-Valencia et al., 2020)

Las IES que tienen el sello EUR-ACE, aseguran el cumplimiento de los criterios publicados por ENAE. Los criterios más importantes de la EUR-ACE son:

- Resultados de aprendizaje: donde los programas de ingeniería deben tener resultados de aprendizaje claros y definidos en correspondencia a las necesidades del mercado laboral.
- Estructura del programa: donde los programas de ingeniería deben tener una estructura clara y coherente que permita a los estudiantes adquirir los conocimientos y habilidades necesarios para su práctica profesional.
- Equipo docente: donde los programas de ingeniería deben contar con un cuerpo docente competente y con experiencia en el sector empresarial asociado directamente a la ingeniería, y deben tener políticas claras de selección y evaluación docente.
- Infraestructura y recursos: donde los programas de ingeniería deben evidenciar la infraestructura y los recursos suficientes para formar con calidad, incluyendo laboratorios, talleres, equipos y materiales didácticos.
- Internacionalización: donde los programas de ingeniería deben fomentar la movilidad internacional de los estudiantes y profesores, y deben estar abiertos a la cooperación internacional y la colaboración con empresas y organizaciones del sector.

- Evaluación y mejora continua: donde los programas de ingeniería deben contar con sistemas de evaluación y mejora continua que permitan identificar y corregir posibles deficiencias en la formación de sus estudiantes ((Ingeniería), 2019).

Entre el año 2006 que se dio inicio a las certificaciones hasta el corte del año 2023, se han generado más de mil ochocientas certificaciones EUR-ACE a programas profesionales de ingeniería. (Education, 2023).

En Colombia a corte del primer semestre del 2024, se tienen nueve (9) programas de ingeniería acreditados con el sello EUR-ACE. Una de las IES pionera en certificar sus programas académicos de ingeniería bajo el sello EUR-ACE, es la Universidad Tecnológica de Pereira (UTP) con su el programa de Ingeniería en Sistemas. (*UTP pionera en acreditación EUR ACE en Colombia - Gestión de la Comunicación y la Promoción Institucional, s/f*)

**Washington Accord:** este modelo es un acuerdo internacional que reconoce la equivalencia de los programas de ingeniería certificados por los organismos de acreditación de los países: Canadá, Rusia, Australia, Estados Unidos, Hong Kong, Irlanda, China Japón, Corea del Sur, Malasia, Reino Unido, Nueva Zelanda, Singapur, Sudáfrica y Taiwán. Este acuerdo se firmó en 1989, dando un acuerdo multilateral entre estos países mencionados. Los miembros del acuerdo están comprometidos con la alta calidad en la educación de la ingeniería. (Accord, 2023).

El Acuerdo de Washington solo reconoce los programas de ingeniería acreditados dentro de la jurisdicción (territorio) de los países que firmaron el acuerdo. (*Washington Accord – ICACIT, s/f*)

**CDIO (Conceive-Design-Implement-Operate):** es un modelo de acreditación basado en un enfoque educativo centrado en el estudiante, que enfatiza la formación en habilidades

prácticas y la solución de problemas reales en el campo de la ingeniería (CDI- (Concebir, Diseñar, Implementar, Operar). Los fundadores del marco CDIO son profesores de universidades como: Tecnológica de Chalmers, el Instituto Real de Tecnología KTH, la Universidad de Linköping en Suecia y encabezada por el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) en Estados Unidos, desde el año 2000.

Las normas internacionales de CDIO están orientadas a la formación de ingenieros capaces de manejar el ciclo de vida completo de un producto, sistema, servicio o proceso. Este marco hace referencia a los fundamentos de ingeniería que se establecen en el contexto de las actividades de ingeniería de concepción, diseño, implementación y operación.

CDIO, son las iniciales de cada una de las cuatro fases: concebir, diseñar, implementar y operacionalizar.

Actualmente en Colombia una de las IES que ha implementado CDIO, es la Universidad ICESI en la ciudad de Cali, particularmente en sus programas de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC). (Ulloa et al., 2013)

### ***Requisitos de acreditación de alta calidad para programas de ingeniería***

El Consejo Nacional de Acreditación (CNA) es la organización encargada de verificar y validar la calidad de las IES y de sus programas profesionales en Colombia, evaluando si cumple con la puntuación de los factores solicitados según los parámetros definidos para la acreditación. (Inicio - Consejo Nacional de Acreditación - CNA, s/f)

Las IES y sus programas académicos deben ejecutar periódicamente el proceso de autoevaluación, con la finalidad de lograr el aseguramiento de la calidad académica. (Acreditación C. C., 2023).

El ente encargado del aseguramiento de la calidad de la educación superior en Colombia es la Comisión Nacional (CONCES), quién verifica el cumplimiento de las características de calidad necesarias para la creación y el funcionamiento de programas.

El aseguramiento de la calidad de la educación superior se fundamenta en la inspección y vigilancia del cumplimiento de los lineamientos y parámetros establecidos por las entidades que evalúan y fomentan la alta calidad en los programas académicos. En la **Figura 4** se aprecia el detalle de cada una de las entidades y su participación en el aseguramiento de la calidad en la educación superior en Colombia. (Acreditación, 2023)

**Figura 4**

*Sistema de aseguramiento de la calidad de la educación superior en Colombia*



*Nota.* En la Figura (CNA, 2020), se detalla en la parte izquierda, a través de convenciones con las letras del abecedario de la letra “a” a la letra “h” la función que realiza cada entidad. Al interior de la figura se puede apreciar la ubicación de cada entidad con su respectiva convención (letra en minúscula asignada en la parte izquierda de la figura). En la parte superior se encuentra de manera transversal tres acciones: información (proveen datos), evaluación (generan verificación y validación de requerimientos a cumplir) y fomento (quienes salvaguardan los estándares y lineamientos). Finalmente, al lado izquierdo se puede visualizar las acciones de control asociadas a la inspección y vigilancia para asegurar la alta calidad de la educación superior en Colombia.

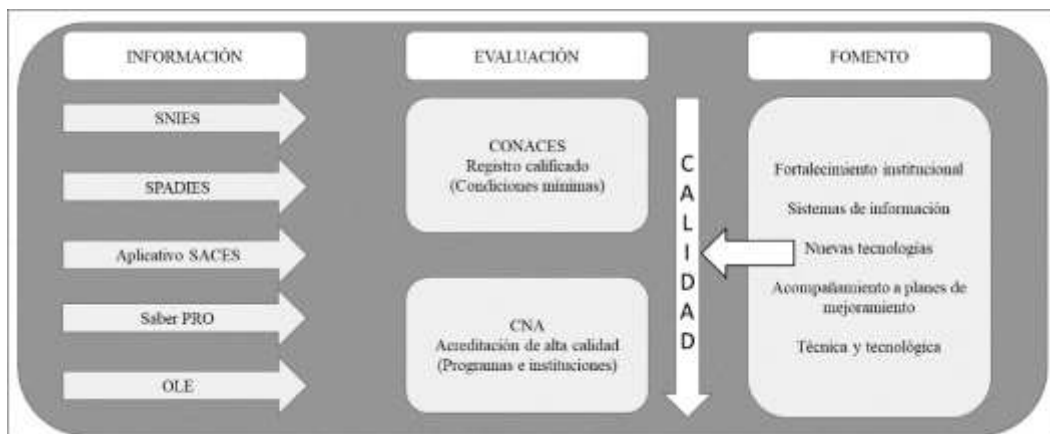
El Ministerio de Educación Nacional (MEN) establece los mecanismos de vigilancia y seguimiento a la calidad en la educación superior en Colombia, mediante tres ítems:

- Acreditación de alta calidad
- Evaluación de la calidad en programas académicos profesionales
- El observatorio laboral

En la **Figura 5** se evidencian los insumos requeridos para poder ejecutar a satisfacción el sistema de aseguramiento de la calidad de educación superior en Colombia.

**Figura 5**

*Insumos para el sistema de aseguramiento de la calidad*



*Nota.* En la figura se puede evidenciar en la parte superior tres categorías de insumos. La primera categoría está asociada a la información que es suministrada por cada una de las fuentes de información que se ilustran con las flechas del lado izquierdo. La segunda categoría es la evaluación que le corresponde realizar a las entidades: CONACES y CNA. La tercera categoría es el fomento que se convierte en el insumo para el aseguramiento de la calidad.

**Eje 4. Análisis bibliométrico de modelos de procesos en la educación superior**

Este eje se enfoca en la búsqueda sistemática de modelos de procesos que respondan a las competencias requeridas por el sector empresarial en el marco de la cuarta revolución industrial.

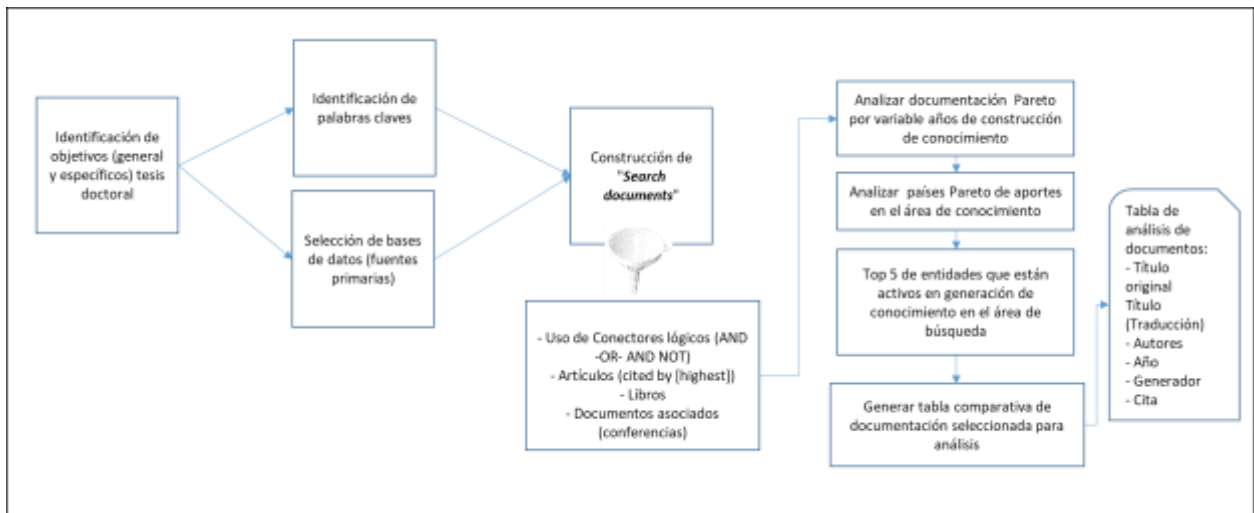
Para el diseño del modelo cuantitativo de procesos propuesto en esta investigación se realizó una revisión bibliográfica por medio del método de análisis bibliométrico utilizando el software VOSviewer.

El desarrollo del análisis bibliométrico parte de los objetivos descritos en la presente investigación, y que se ejecuta en los siguientes pasos (véase *Figura 6*):

- **Paso 1.** Identificación y selección de las bases de datos a utilizar (fuentes primarias.)
- **Paso 2.** Identificación de las palabras claves utilizando la búsqueda de tópicos “*browse by topic*”. Que permite identificar los términos que se están utilizando al interior de las investigaciones científicas y que estén alineados a los objetivos establecidos en la investigación.
- **Paso 3.** Construcción de las ecuaciones de búsqueda que se realiza las bases de datos primarias seleccionadas (Scopus, Sciencedirect y Springer.)
- **Paso 4.** Análisis de documentación Pareto (prioriza de mayor a menor, hasta obtener el 80% de su participación - frecuencia relativa porcentual) por cada una de las búsquedas construidas, enfatizando en variables como: años de mayor publicación de conocimiento en la búsqueda requerida, países y entidades generadoras de los documentos.
- **Paso 5.** Generación de una matriz comparativa de conocimiento, donde se identifican las variables y metodologías utilizadas por los autores.

**Figura 6**

*Pasos para el análisis bibliométrico*



*Nota.* En la figura se puede apreciar el flujo de las actividades (inicia a la derecha y finaliza a la derecha) requeridas para desarrollar el análisis bibliométrico propuesto en la investigación.

Se selecciona Elsevier como la fuente primaria de información para la investigación, al consolidar a Scopus y a ScienceDirect. Elsevier permite consultar artículos de más de 2.500 revistas y más de 40.000 títulos de libros (Elsevier, Elsevier Wordmark, 2020). Scopus al ser la base de datos de citas y resúmenes de bibliografía revisada por pares, contiene más de 5.000 editores con sus resúmenes y citas de más de 7.000 revistas indexadas (Elsevier, Elsevier Wordmark, 2020).

El uso de estas bases de datos permite acceder a un conjunto de datos estructurados de artículos que soportaron las consultas y exploración de información, a partir de la construcción de la matriz de búsqueda (con las ecuaciones de consulta a las bases de datos) que se presenta en las tablas: **Tabla 3** y **Tabla 4**, utilizando los operadores booleanos lógicos, requeridos para acotar las búsquedas y refinar las consultas. Los seis (6) combos de búsqueda están diseñados, a partir

de las combinatorias de las palabras utilizadas para la redacción de los objetivos descritos en esta investigación, que serán denominadas al interior de las búsquedas como. “palabras claves”.

**Tabla 3**

*Combinatorias de las palabras claves de la investigación*

Objetivo	Descripción objetivo	Palabras claves					
General	Diseñar un modelo cuantitativo de procesos para la educación superior en programas de ingeniería en Colombia, que identifique los requerimientos por competencias demandadas por el sector empresarial en el marco de la cuarta revolución industrial.	Modelo de Procesos	Programa Ingeniería	Cumplimiento Necesidades	Competencias	Sector Empresarial	Revolución 4.0
Específico (1)	Identificar las competencias requeridas por el sector empresarial en el marco de la cuarta revolución industrial en Colombia.	Competencias	Sector Empresarial	Revolución 4.0			
Específico (2)	Analizar las variables significativas relacionadas con las competencias que inciden directamente en la brecha entre el sector académico y el empresarial en el contexto de la cuarta revolución industrial en Colombia.	Variables	Significativas	Competencias	Brecha	Sector Académico	Sector Empresarial
Específico (3)	Estimar un modelo de procesos para las IES, que incorpore las variables significativas identificadas, para que responda a los requerimientos por competencias del sector empresarial en el marco de la cuarta revolución industrial.	Modelo de Procesos	Variables Significativas	Requerimientos	Competencias	Sector Empresarial	Revolución 4.0
Específico (4)	Validar el modelo cuantitativo de procesos propuesto, a través de una	Modelo de Procesos	Prueba Piloto	Caso Estudio			

Objetivo	Descripción objetivo	Palabras claves
	prueba piloto en una IES seleccionada.	

*Nota.* En la primera columna “objetivo” se identifica la cantidad de objetivos descritos en la presente investigación. En la segunda columna se encuentra la descripción de cada uno de los objetivos declarados. Entre las columnas tres a la seis se puede evidenciar la desagregación de los objetivos en palabras claves, que son el insumo para el diseño de las ecuaciones de búsqueda que se presentan en la **Tabla 4**.

**Tabla 4**

*Matriz de ecuaciones de búsqueda bibliométrica*

N°	Combinatorias palabras claves	Conectores lógicos (AND -OR- AND NOT)			Ecuación de búsqueda
1	Modelo – procesos - programa ingeniería	("Planning" OR "design" OR "analyze" OR "estimate") AND	("Process model" OR "business process") AND	("Academic program" OR "engineering program")	("Planning" OR "design" OR "analyze" OR "estimate") AND ("Process model" OR "business process") AND ("Academic program" OR "engineering program")
2	Cumplimiento – necesidades – competencias - sector empresarial	Compliance AND	"Business requirements" AND	("Business skills" OR "business competences")	Compliance AND "Business requirements" AND ("Business skills" OR "business competences")
3	Brecha - sector académico - sector empresarial	("Planning" OR "design" OR "analyze" OR "estimate") AND	("Process model" OR "business process") AND	("Academic program" OR "engineering program") AND	Gap ("Planning" OR "design" OR "analyze" OR "estimate") AND ("Process model" OR "business process") AND ("Academic program" OR "engineering program") AND Gap
4	Caso de estudio – modelo - procesos - programa ingeniería	"Case study" AND	("Process model" OR "business process") AND	("Academic program" OR "engineering program")	"Case study" AND ("Process model" OR "business process") AND ("Academic program" OR "engineering program")
5	Calidad – mejora - programas de ingeniería	Quality AND	"Higher education" AND	("Academic program" OR "engineering program")	Quality AND "Higher education" AND ("Academic program" OR "engineering program")

N°	Combinatorias palabras claves	Conectores lógicos (AND -OR- AND NOT)		Ecuación de búsqueda	
6	Aseguramiento calidad - educación superior	"Quality assurance" AND	"Higher education "	("Academic program" OR "engineering program")	"Quality assurance" AND "Higher education " ("Academic program" OR "engineering program")

*Nota.* En la primera columna de la tabla se encuentra la enumeración de las ecuaciones de búsqueda diseñadas. En la segunda columna se encuentra las combinatorias de palabras claves. De las columnas tres a la cinco se evidencia la construcción de búsquedas utilizando las palabras clave y los conectores lógicos (*and -or- and not*). En la columna seis se presenta las (6) ecuaciones de búsqueda diseñadas para la identificación de modelos cuantitativos de procesos que respondan a las competencias requeridas por el sector empresarial en el marco de la cuarta revolución industrial.

A partir de las seis (6) ecuaciones de búsquedas definidas en la **Tabla 4**, considerando las áreas temáticas asociadas a ingeniería y acotado a documentos en idioma español e inglés, se consolidó entre el 01 de julio del 2020 hasta el 30 marzo 2024 un total de 7.696 documentos en 45 meses. Esta búsqueda se realiza en Scopus, a partir de la consulta: “*TITLE-ABS-KEY: ((model AND processes AND engineering AND program))*”, donde arrojó un resultado de 15.949 documentos encontrados, que se refinó con una limitación en sub-área (sólo ingeniería, al ser el alcance de la presente investigación) obteniendo los 7.696 documentos encontrados a corte del mes de marzo del 2024 (esta consulta se realizaba y actualizaba a fin de cada mes desde julio del 2020 hasta marzo 2024).

A partir del análisis bibliométrico realizado, donde se consultan 7.696 documentos, se obtiene un total de 729 documentos funcionales, que son consultados, analizados y utilizados en la construcción del modelo de procesos propuesto, como se evidencia en la **Tabla 5**.

**Tabla 5**

*Ficha técnica de las consultas a las bases de datos*

Nº	Combo de búsqueda	Documentos funcionales de la búsqueda posterior refinamiento	Documentos relacionados directamente con la investigación
1	("Planning" OR "design" OR "analyze" OR "estimate") AND ("Process model" OR "business process") AND ("Academic program" OR "engineering program")	28	4
2	Compliance AND "Business requirements" AND ("Business skills" OR "business competences")	130	5
3	("Planning" OR "design" OR "analyze" OR "estimate") AND ("Process model" OR "business process") AND ("Academic program" OR "engineering program") AND Gap	3	3
4	"Case study" AND ("Process model" OR "business process") AND ("Academic program" OR "engineering program")	6	0
5	Quality AND "Higher education" AND ("Academic program" OR "engineering program")	438	5
6	"Quality assurance" AND "Higher education " ("Academic program" OR "engineering program")	124	4
<b>TOTAL</b>		<b>729</b>	<b>21</b>

*Nota.* En la tabla se presenta en la primera columna la numeración de las seis ecuaciones (6) de búsqueda definidas. En la segunda columna se evidencian los combos de búsqueda definidos. En la tercera columna se visualiza por cada combo de búsqueda definido la cantidad de documentos funcionales encontrados por búsqueda posterior al refinamiento de la misma. En la cuarta columna se presenta la cantidad de documentos relacionados directamente con la investigación.

Los veintiún (21) documentos relacionados directamente con la investigación expuestos en la **Tabla 5** (última columna), se pueden detallar en el **ANEXO 1** del presente documento. En este anexo se presenta la matriz consolidada y que fue de uso significativo para el diseño del modelo de procesos propuesto, donde se detalla:

- Título (en caso requerido cuenta con su traducción)
- Autores
- Año de publicación

- Generador
- Descripción asociada al resumen del documento bibliográfico consultado
- Variable (se tiene una columna de variable, la cual permite relacionar el

documento encontrado con las variables requeridas para el diseño del modelo de procesos propuesto en la investigación.)

En la **Tabla 6**, se presentan los documentos bibliográficos más relevantes de los 21 que se analizaron y que se relacionan en el **ANEXO I** del presente documento.

**Tabla 6**

*Documentos más relevantes de las consultas realizadas*

Título (Original)	Título (Traducción)	Autores	Año	Generador	Descripción	Variable
A Six Sigma and DEA approach for learning outcomes assessment at industrial engineering programs	Un enfoque Seis Sigma y DEA para la evaluación de los resultados del aprendizaje en programas de ingeniería industrial	Delahoz-Dominguez, E., Zuluaga-Ortiz, R., Suarez-Sánchez, M.	2023	International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage, 14(3), pp. 279–299	En esta investigación los autores presentan la evaluación del desempeño de 89 carreras de ingeniería industrial en Colombia. El enfoque propuesto integra el concepto de Seis Sigma con la evaluación de la eficiencia a partir del análisis envolvente de datos. Las variables de entrada utilizada por los autores para la métrica Seis Sigma son: el razonamiento cuantitativo, la lectura crítica, las competencias ciudadanas, el inglés y comunicación escrita. La variable de salida es el resultado de aprendizaje. Los autores logran concluir que las IES con acreditación institucional de calidad tienen un mayor nivel de cumplimiento que las no acreditadas.  <b>Limitaciones identificadas:</b> solo evalúan programas de ingeniería industrial. La variable de respuesta es el resultado de aprendizaje, pero no se valida el nivel de adaptabilidad del mismo a las demandas del sector empresarial.	Evaluación Desempeño
Efficiency of academic engineering programs in Colombia: an approach through data envelopment analysis	Eficiencia de los programas académicos de ingeniería en Colombia: una aproximación a través del análisis envolvente de datos	Delahoz-Dominguez, E., Mendoza-Mendoza, A., Visbal-Cadavid, D.	2022	Journal of Engineering Science and Technology, 17(2), pp. 1105–1118	Los autores de la investigación presentan la evaluación la calidad educativa a partir de la eficiencia académica. Los resultados presentados en la investigación, indican que el 14,3%, el 29,8% y el 88,7%, respectivamente, de los programas de ingeniería analizados son eficientes en Colombia.  <b>Limitaciones identificadas:</b> evalúan la calidad educativa a partir de la eficiencia de los procesos académicos, pero no valoran el grado de cumplimiento de las competencias demandadas por el sector empresarial.	Eficiencia de Procesos

Título (Original)	Título (Traducción)	Autores	Año	Generador	Descripción	Variable
Harmonization of process indicators for institutional quality assurance and academic engineering programs, with multiple reference models or reference frameworks	Armonización de los indicadores de proceso para la garantía de calidad institucional y los programas académicos de ingeniería, con múltiples modelos de referencia o marcos de referencia.	González Clavijo, C.C., Cuervo Díaz, N.A., de Jesús Correa Rodríguez, A	2022	Proceedings of the LACCEI international Multi-conference for Engineering, Education and Technology, 2022-July	<p>Los autores presentan la importancia del aseguramiento de la calidad en la educación superior, a partir del estudio de diferentes modelos o marcos de referencia orientado a certificaciones o acreditaciones de calidad, tanto nacionales como internacionales. Los autores proponen establecer un esquema estratégico, que integre los indicadores de aseguramiento de la calidad, con la finalidad de atender los requerimientos del sector empresarial.</p> <p><b>Limitaciones identificadas:</b> se enfoca en el diseño de indicadores de gestión para garantizar la calidad académica.</p>	Aseguramiento de Calidad
Evaluation of Educational Quality Under a Six Sigma Approach to Engineering Degrees in Colombia	Evaluación de la Calidad Educativa Bajo un Enfoque Seis Sigma de las Carreras de Ingeniería en Colombia	Zuluaga-Ortiz, R., Delahoz-Dominguez, E., Períñan-Luna, A. Moreira-Villegas, F., Arteta, A.	2022	Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics), 13293 LNCS, pp. 172–188	<p>Los autores desarrollan una metodología para medir la calidad del sistema educativo colombiano mediante el análisis de las IES y sus programas académicos. Lo desarrollan mediante la metodología de la calidad: Seis Sigma, lo utilizan como herramienta de gestión educativa con el fin de clasificar, evaluar y analizar el sistema de educación en Colombia. Logran calcular y presentar el nivel sigma del sistema educativo colombiano, evidenciando que este se encuentra en: <math>Z = 2,17</math> e <math>Y = 75\%</math> concluyendo que está de acuerdo con lo establecido en la metodología de este marco de trabajo.</p> <p><b>Limitaciones identificadas:</b> la investigación está a un nivel macro, donde valora el nivel sigma del sistema educativo colombiano.</p>	Medición de calidad
Assessing and classification of academic efficiency in engineering teaching programs	Evaluación y clasificación de la eficiencia académica en los programas de enseñanza de la ingeniería	Hoz, E.D.L., Zuluaga, R., Mendoza, A.	2021	Journal on Efficiency and Responsibility in Education and Science, 14(1), pp. 41–52	<p>Los autores en esta investigación utilizan un método de 3 pasos para evaluar la eficiencia académica de los programas de ingeniería. La población del estudio aborda a 256 programas de ingeniería en Colombia. Los autores utilizan un modelo Random Forest que presenta un valor bajo el área de la curva - ROC de 95,8% en la predicción de los perfiles de eficiencia.</p> <p><b>Limitaciones identificadas:</b> la investigación se centra en la clasificación de la eficiencia académica en los programas de enseñanza de la ingeniería, pero no incorpora los requerimientos por competencias del sector empresarial.</p>	Evaluación Desempeño

*Nota.* En la primera columna se encuentra el título original del documento utilizado como insumo en el diseño del modelo de procesos propuesto en la investigación. En la segunda columna se encuentra la traducción del título del documento. En la tercera columna se evidencian los autores. En la cuarta columna se presenta el año de la publicación del documento. En la quinta columna se visualiza el generador que es la fuente que publica el documento. En la sexta columna se presenta una breve descripción de que trata cada documento y la limitación identificada con respecto al objetivo de la presente investigación. En la columna siete se encuentra la categorización por variable, que agrupa los conceptos, herramientas y metodologías utilizados por los autores y son insumo para el diseño del modelo de procesos propuesto en la investigación.

### **Análisis bibliométrico**

El detalle del análisis bibliométrico realizado por cada una de las combinaciones de búsqueda que se definieron en la **Tabla 4**, permiten realizar el análisis documental por cada búsqueda definida, para identificar los insumos requeridos para diseñar el modelo cuantitativo de procesos propuesto en la investigación.

Se utiliza el principio de Pareto para presentar los resultados del análisis bibliométrico para cada una de las ecuaciones de búsquedas, ya que por medio de una frecuencia relativa acumulada de la participación en cada estudio (años de mayor producción documental y países generadores de documentos de la ecuación de la búsqueda presentada), permite evidenciar porcentualmente la regla del 80- 20, donde se muestra el aproximado del 80% de participación con mayor impacto sobre el total, dejando en rezago la cantidad que no es significativa (20%) con respecto a la participación total para el análisis documental que se presenta. (Ardanuy, 2012)

#### ***Ecuación de búsqueda 1. (Modelo – Procesos - Programa Ingeniería)***

Se parte de la ecuación de búsqueda para las palabras clave: (modelo – procesos - programa ingeniería): TITLE-ABS-KEY: ("*Planning*" OR "*design*" OR "*analyze*" OR "*estimate*") AND ("*Process model*" OR "*business process*") AND ("*Academic program*" OR "*engineering program*"), obteniendo 28 documentos como respuesta a la búsqueda avanzada y refinada presentada en la **Tabla 5**. En ésta búsqueda se evidenció la producción anual de publicaciones. En la **Tabla 7** se evidencia el Pareto de la cantidad de documentos pertinentes a la respuesta de la ecuación de búsqueda.

#### **Tabla 7**

*Pareto de años mayor producción documental asociada a la búsqueda*

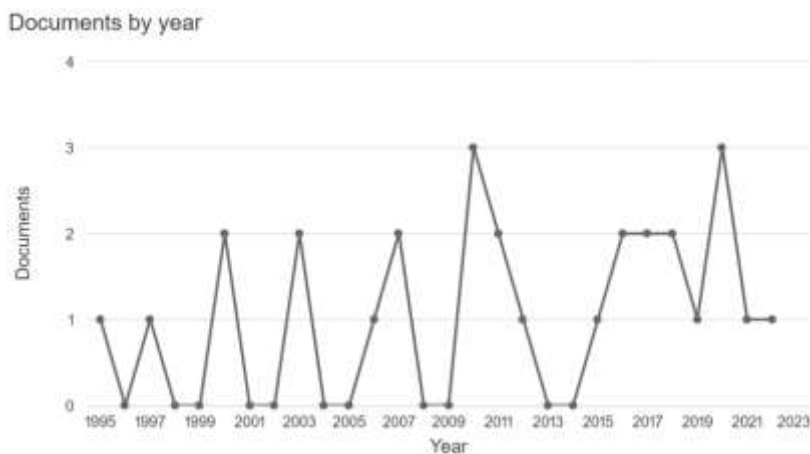
Año	Cantidad de Documentos	Frecuencia Relativa	Frecuencia Relativa Acumulada
2020	3	10,7%	10,7%
2010	3	10,7%	21%
2003	2	7,1%	29%
2000	2	7,1%	36%
2016	2	7,1%	43%
2017	2	7,1%	50%
2011	2	7,1%	57%
2007	2	7,1%	64%
2018	2	7,1%	71%
2022	1	3,6%	75%
2019	1	3,6%	79%
2015	1	3,6%	82%

*Nota.* En la tabla se presenta el Pareto (aproximadamente el 80% de la participación de la frecuencia relativa acumulada) de los años de publicación pertinente a la ecuación de búsqueda que se analiza. La información presentada es generada, a partir del análisis bibliográfico realizado en Scopus.

A continuación, se presenta la gráfica del comportamiento de publicaciones de documentos asociados a la búsqueda, tal y como se ilustra en la **Figura 7**.

**Figura 7**

*Comportamiento publicaciones*

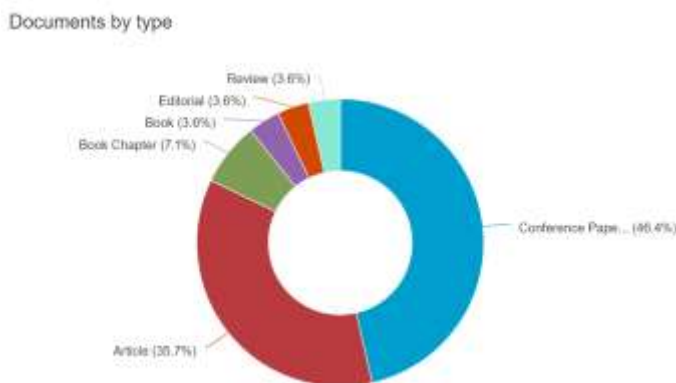


*Nota.* La figura se toma a partir del análisis bibliográfico realizado en Scopus en el año 2023. En esta ilustración se presenta el comportamiento de los años de publicación documental pertinentes a la ecuación de búsqueda en análisis.

Se presenta a continuación la gráfica de la participación porcentual de publicaciones de documentos asociados a la búsqueda:

**Figura 8**

*Participación porcentual publicaciones*



*Nota.* La construcción del gráfico circular se realiza, a partir del análisis bibliográfico realizado en Scopus en el año 2023. Se puede evidenciar, a través de la colorimetría la participación porcentual de cada una de las categorías documentales que generan aporte a los resultados de la ecuación de búsqueda en análisis.

Se presenta a continuación la tabla Pareto de los países que generaron los documentos pertinentes a la respuesta de la ecuación de búsqueda y que se presentan en la **Tabla 8**.

**Tabla 8**

*Pareto de países generadores de documentos de la ecuación de la búsqueda*

País	Cantidad de Documentos	Frecuencia Relativa	Frecuencia Relativa Acumulada
Estados Unidos	7	25%	25%
Reino Unido	5	18%	43%
Canadá	2	7%	50%
México	2	7%	57%
Brasil	1	4%	61%
India	1	4%	65%
Chile	1	4%	69%
Colombia	1	4%	73%
Egipto	1	4%	77%

País	Cantidad de Documentos	Frecuencia Relativa	Frecuencia Relativa Acumulada
Finlandia	1	4%	81%
Israel	1	4%	85%

*Nota.* En la tabla se presenta el Pareto (aproximadamente el 80% de la participación de la frecuencia relativa acumulada) de los países con publicaciones pertinentes a la ecuación de búsqueda que se analiza. La información presentada es generada, a partir del análisis bibliográfico realizado en Scopus.

Se relaciona a continuación el Pareto de las instituciones y organizaciones tanto académicas como del sector empresarial o gubernamental que generaron los documentos pertinentes a la respuesta de la ecuación de búsqueda:

- Chapman University
- Cornell University
- Michigan State University
- Ohio State University
- Pennsylvania State University
- University of California, Davis
- University of Georgia
- University of Illinois at Urbana-Champaign
- University of Maryland
- University of Minnesota
- University of Nebraska-Lincoln
- University of Tennessee

***Ecuación de búsqueda (Cumplimiento - Necesidades - Competencias - Sector Empresarial)***

Se parte de la ecuación de búsqueda para las palabras clave: (*cumplimiento - necesidades - competencias - sector empresarial*): TITLE-ABS-KEY: *Compliance AND "Business requirements" AND ("Business skills" OR "business competences")*, obteniendo 130 documentos como respuesta a la búsqueda avanzada y refinada presentada en la **Tabla 5**. Donde se evidenció la producción anual de publicaciones. En la **Tabla 9** se evidencia el Pareto de la cantidad de documentos pertinentes a la respuesta de la ecuación de búsqueda.

**Tabla 9**

*Pareto de años mayor producción documental asociada a la búsqueda*

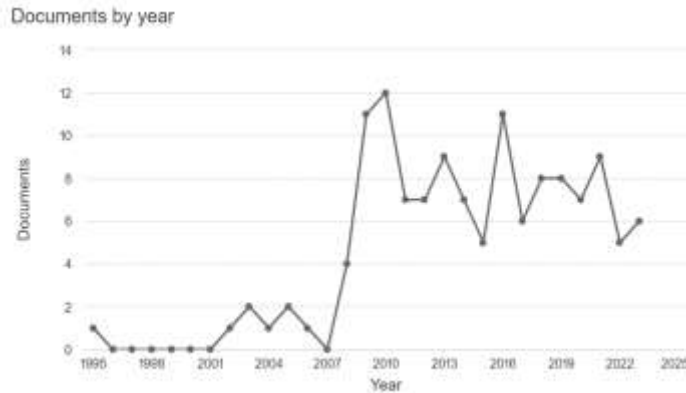
<b>Año</b>	<b>Cantidad de Documentos</b>	<b>Frecuencia Relativa</b>	<b>Frecuencia Relativa Acumulada</b>
2010	12	9,0%	9%
2016	11	8,0%	17%
2009	11	8,0%	25%
2021	9	7,0%	32%
2013	9	7,0%	39%
2019	8	6,0%	45%
2011	7	5,0%	50%
2020	7	5,0%	55%
2012	7	5,0%	60%
2014	7	5,0%	65%
2017	6	5,0%	70%
2023	6	5,0%	75%
2015	5	4,0%	79%
2022	5	4,0%	83%

*Nota.* En la tabla se presenta el Pareto (aproximadamente el 80% de la participación de la frecuencia relativa acumulada) de los años de publicación pertinente a la ecuación de búsqueda que se analiza. La información presentada es generada, a partir del análisis bibliográfico realizado en Scopus.

A continuación, se presenta la gráfica del comportamiento de publicaciones de documentos asociados a la búsqueda, tal y como se ilustra en la **Tabla 9**.

**Figura 9**

*Comportamiento publicaciones*

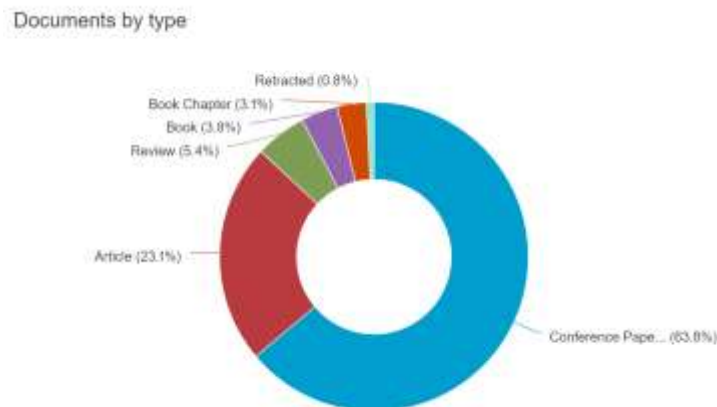


*Nota.* La figura se toma a partir del análisis bibliográfico realizado en Scopus en el año 2023. En esta ilustración se presenta el comportamiento de los años de publicación documental pertinentes a la ecuación de búsqueda en análisis.

Se presenta a continuación, la gráfica de la participación porcentual de publicaciones de documentos asociados a la búsqueda:

**Figura 10**

*Participación porcentual publicaciones*



*Nota.* La construcción del gráfico circular se realiza, a partir del análisis bibliográfico realizado en Scopus en el año 2023. Se puede evidenciar, a través de la colorimetría la participación porcentual de cada una de las categorías documentales que generan aporte a los resultados de la ecuación de búsqueda en análisis.

Se presenta a continuación la tabla Pareto de los países que generaron los documentos pertinentes a la respuesta de la ecuación de búsqueda y que se presentan en la **Tabla 10**.

**Tabla 10**

*Pareto de países generadores de documentos de la ecuación de la búsqueda*

País	Cantidad de Documentos	Frecuencia Relativa	Frecuencia Relativa Acumulada
Estados Unidos	22	17%	17%
Alemania	16	12%	29%
Australia	13	10%	39%
India	9	7%	46%
China	6	5%	51%
Francia	6	5%	56%
Portugal	6	5%	61%
Suiza	6	5%	66%
Reino Unido	6	5%	71%
Italia	5	4%	75%
España	5	4%	79%
Austria	4	3%	82%

*Nota.* En la tabla se presenta el Pareto (aproximadamente el 80% de la participación de la frecuencia relativa acumulada) de los países con publicaciones pertinentes a la ecuación de búsqueda que se analiza. La información presentada es generada, a partir del análisis bibliográfico realizado en Scopus.

Se relaciona a continuación el Pareto de las instituciones y organizaciones tanto académicas como del sector empresarial o gubernamental que generaron los documentos pertinentes a la respuesta de la ecuación de búsqueda:

- University of St. Gallen
- Osnabrück University
- IDS Scheer AG
- SAP AG
- The University of Queensland
- Università di Trento

- Décision et Information Pour les Systèmes de Production
- Universidade de Lisboa
- HSE University
- Universidade do Minho
- Toshiba Corporation
- Aarhus Universitet
- Dublin City University
- BOC Asset Management GmbH
- King's College London
- National University of Sciences and Technology Pakistan
- The University of Alabama at Birmingham
- Auburn University at Montgomery
- Bruno Kessler Foundation

***Ecuación de búsqueda (Brecha - Sector Académico - Sector Empresarial)***

Se parte de la ecuación de búsqueda para las palabras clave: (Brecha - Sector Académico - Sector Empresarial): TITLE-ABS-KEY: ("Planning" OR "design" OR "analyze" OR "estimate") AND ("Process model" OR "business process") AND ("Academic program" OR "engineering program") AND Gap, obteniendo 3 documentos como respuesta a la búsqueda avanzada y refinada presentada en la **Tabla 5**. En esta búsqueda se evidenció la producción anual de publicaciones. En la **Tabla 11** se evidencia la cantidad de documentos pertinentes a la respuesta de la ecuación de búsqueda.

**Tabla 11**

*Pareto de años mayor producción documental asociada a la búsqueda*

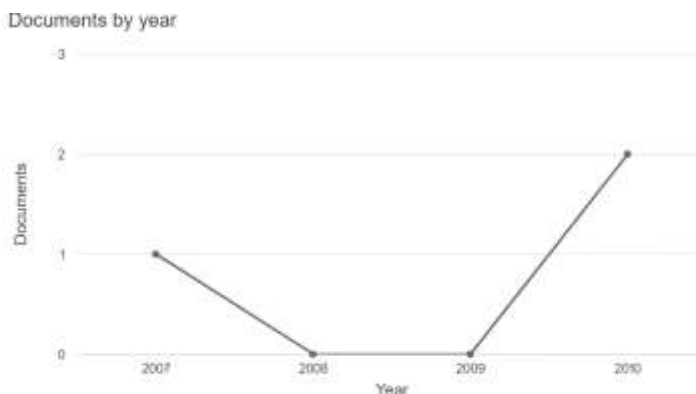
Año	Cantidad de Documentos	Frecuencia Relativa	Frecuencia Relativa Acumulada
2010	2	67,0%	67%
2007	1	33,0%	100%

*Nota.* En la tabla se presenta la participación de la frecuencia relativa acumulada de los años de publicación pertinente a la ecuación de búsqueda que se analizada. La información presentada es generada, a partir del análisis bibliográfico realizado en Scopus.

A continuación, se presenta la gráfica del comportamiento de publicaciones de documentos asociados a la búsqueda, tal y como se ilustra en la **Figura 11**.

**Figura 11**

*Comportamiento publicaciones*

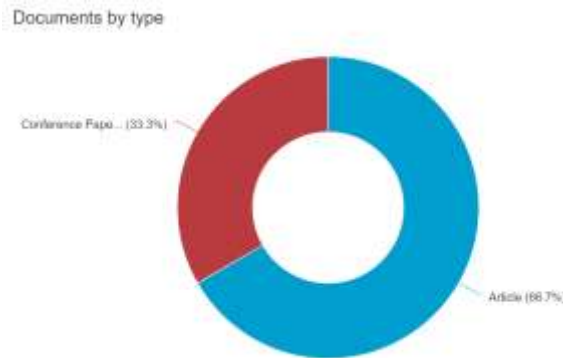


*Nota.* La figura se toma a partir del análisis bibliográfico realizado en Scopus en el año 2023. En esta ilustración se presenta el comportamiento de los años de publicación documental pertinentes a la ecuación de búsqueda en análisis.

Se presenta a continuación, la gráfica de la participación porcentual de publicaciones de documentos asociados a la búsqueda:

**Figura 12**

*Participación porcentual publicaciones*



*Nota.* La construcción del gráfico circular se realiza, a partir del análisis bibliográfico realizado en Scopus en el año 2023. Se puede evidenciar, a través de la colorimetría la participación porcentual de cada una de las categorías documentales que generan aporte a los resultados de la ecuación de búsqueda en análisis.

Se presenta a continuación la tabla Pareto de los países que generaron los documentos pertinentes a la respuesta de la ecuación de búsqueda y que se presentan en la **Tabla 12**.

**Tabla 12**

*Pareto de países generadores de documentos de la ecuación de la búsqueda*

País	Cantidad de Documentos	Frecuencia Relativa	Frecuencia Relativa Acumulada
Estados Unidos	3	100%	100%

*Nota.* En la tabla se presenta la participación del país con publicaciones pertinentes a la ecuación de búsqueda que se analiza. La información presentada es generada, a partir del análisis bibliográfico realizado en Scopus.

Se relaciona a continuación el Pareto de las instituciones y organizaciones tanto académicas como del sector empresarial o gubernamental que generaron los documentos pertinentes a la respuesta de la ecuación de búsqueda:

- International Council of Systems Engineering INCOSE

- Texas Tech University
- Stevens Institute of Technology

***Ecuación de búsqueda (Caso de estudio - Modelo - Procesos - Programa Ingeniería)***

Se parte de la ecuación de búsqueda para las palabras clave: (caso de estudio - modelo - procesos - programa ingeniería): TITLE-ABS-KEY: "Case study" AND ("Process model" OR "business process") AND ("Academic program" OR "engineering program"), obteniendo 6 documentos como respuesta a la búsqueda avanzada y refinada presentada en la **Tabla 5**. En esta búsqueda se evidenció la producción anual de publicaciones. En la **Tabla 13** se evidencia el Pareto de la cantidad de documentos pertinentes a la respuesta de la ecuación de búsqueda.

**Tabla 13**

*Pareto de años mayor producción documental asociada a la búsqueda*

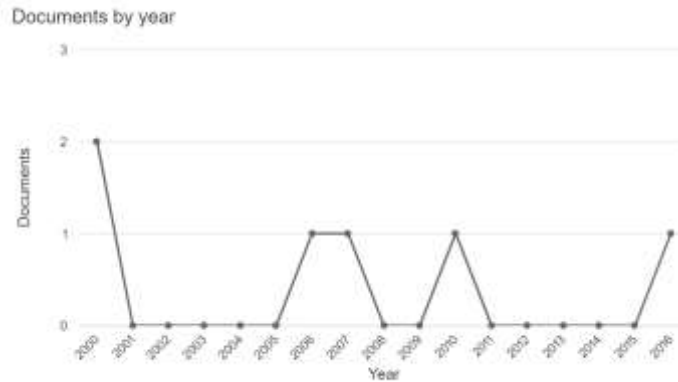
Año	Cantidad de Documentos	Frecuencia Relativa	Frecuencia Relativa Acumulada
2016	1	16,7%	17%
2010	1	16,7%	33%
2007	1	16,7%	50%
2006	1	16,7%	67%
2000	2	33,3%	100%

*Nota.* En la tabla se presenta la participación de la frecuencia relativa acumulada de los años de publicación pertinente a la ecuación de búsqueda que se analiza. La información presentada es generada, a partir del análisis bibliográfico realizado en Scopus.

A continuación, se presenta la gráfica del comportamiento de publicaciones de documentos asociados a la búsqueda, tal y como se ilustra en la **Figura 13**.

**Figura 13**

*Comportamiento publicaciones*

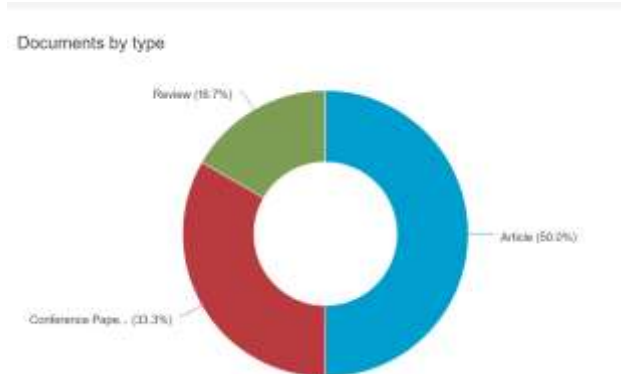


*Nota.* La figura se toma a partir del análisis bibliográfico realizado en Scopus en el año 2023. En esta ilustración se presenta el comportamiento de los años de publicación documental pertinentes a la ecuación de búsqueda en análisis.

Se presenta a continuación, la gráfica de la participación porcentual de publicaciones de documentos asociados a la búsqueda:

**Figura 14**

*Participación porcentual publicaciones*



*Nota.* La construcción del gráfico circular se realiza, a partir del análisis bibliográfico realizado en Scopus en el año 2023. Se puede evidenciar, a través de la colorimetría la participación porcentual de cada una de las categorías documentales que generan aporte a los resultados de la ecuación de búsqueda en análisis.

Se presenta a continuación la tabla Pareto de los países que generaron los documentos pertinentes a la respuesta de la ecuación de búsqueda y que se presentan en la **Tabla 14**.

**Tabla 14**

*Pareto de países generadores de documentos de la ecuación de la búsqueda*

País	Cantidad de Documentos	Frecuencia Relativa	Frecuencia Relativa Acumulada
Reino Unido	3	50%	50%
Estados Unidos	2	33%	83%
India	1	17%	100%

*Nota.* En la tabla se presenta la participación de la frecuencia relativa acumulada de los países con publicaciones pertinentes a la ecuación de búsqueda que se analiza. La información presentada es generada, a partir del análisis bibliográfico realizado en Scopus

Se relaciona a continuación el Pareto de las instituciones y organizaciones tanto académicas como del sector empresarial o gubernamental que generaron los documentos pertinentes a la respuesta de la ecuación de búsqueda:

- Keele University
- International Council of Systems Engineering INCOSE
- Texas Tech University
- Cardiff University
- Stevens Institute of Technology

***Ecuación de búsqueda (Calidad - Mejora - Programas de Ingeniería)***

Se parte de la ecuación de búsqueda para las palabras clave: (calidad - mejora - programas de ingeniería): TITLE-ABS-KEY: *Quality AND "Higher education" AND ("Academic program" OR "engineering program")* y TITLE-ABS-KEY: (*"Planning" OR "design" OR "analyze" OR "estimate"*) AND (*"Process model" OR "business process"*) AND (*"Academic program" OR "engineering program"*), obteniendo 438 documentos como respuesta

a la búsqueda avanzada y refinada presentada en la **Tabla 5**. En esta búsqueda se evidenció la producción anual de publicaciones. En la **Tabla 15** se evidencia el Pareto de la cantidad de documentos pertinentes a la respuesta de la ecuación de búsqueda.

**Tabla 15**

*Pareto de años mayor producción documental asociada a la búsqueda*

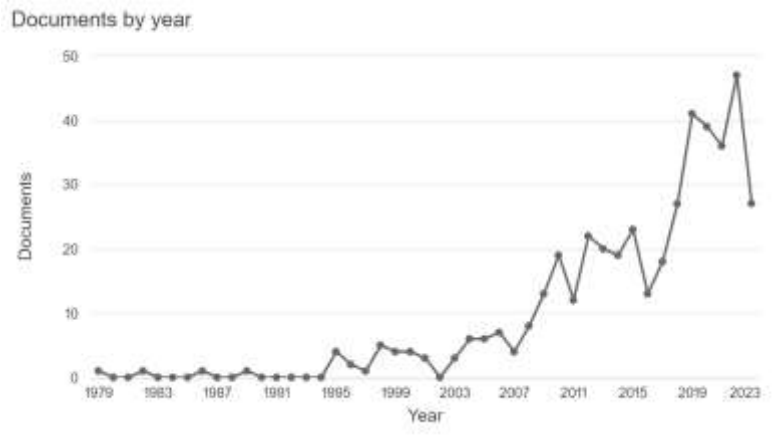
Año	Cantidad de Documentos	Frecuencia Relativa	Frecuencia Relativa Acumulada
2022	47	10,7%	11%
2019	41	9,4%	20%
2020	39	8,9%	29%
2021	36	8,2%	37%
2023	27	6,2%	43%
2018	27	6,2%	50%
2015	23	5,3%	55%
2012	22	5,0%	60%
2013	20	4,6%	64%
2014	19	4,3%	69%
2010	19	4,3%	73%
2017	18	4,1%	77%
2016	13	3,0%	80%

*Nota.* En la tabla se presenta el Pareto (aproximadamente el 80% de la participación de la frecuencia relativa acumulada) de los años de publicación pertinente a la ecuación de búsqueda que se analiza. La información presentada es generada, a partir del análisis bibliográfico realizado en Scopus.

A continuación, se presenta la gráfica del comportamiento de publicaciones de documentos asociados a la búsqueda, tal y como se ilustra en la **Figura 15**.

**Figura 15**

*Comportamiento publicaciones*

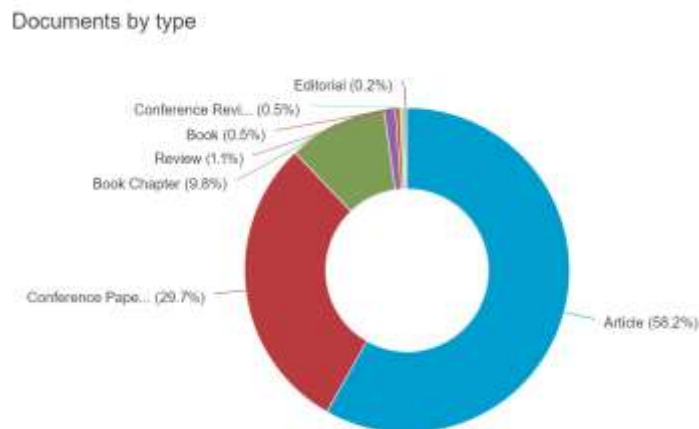


*Nota.* La figura se toma a partir del análisis bibliográfico realizado en Scopus en el año 2023. En esta ilustración se presenta el comportamiento de los años de publicación documental pertinentes a la ecuación de búsqueda en análisis.

Se presenta a continuación, la gráfica de la participación porcentual de publicaciones de documentos asociados a la búsqueda:

**Figura 16**

Participación porcentual publicaciones



*Nota.* La construcción del gráfico circular se realiza, a partir del análisis bibliográfico realizado en Scopus en el año 2023. Se puede evidenciar, a través de la colorimetría la participación

porcentual de cada una de las categorías documentales que generan aporte a los resultados de la ecuación de búsqueda en análisis.

Se presenta a continuación la tabla Pareto de los países que generaron los documentos pertinentes a la respuesta de la ecuación de búsqueda y que se presentan en la **Tabla 16**.

**Tabla 16**

*Pareto de países generadores de documentos de la ecuación de la búsqueda*

País	Cantidad de Documentos	Frecuencia Relativa	Frecuencia Relativa Acumulada
Estados Unidos	90	26%	26%
Colombia	42	12%	39%
Reino Unido	29	8%	47%
España	24	7%	54%
Malasia	20	6%	60%
Arabia Saudita	20	6%	66%
India	14	4%	70%
Canadá	14	4%	74%
Sudáfrica África	14	4%	78%
México	13	4%	82%

*Nota.* En la tabla se presenta el Pareto (aproximadamente el 80% de la participación de la frecuencia relativa acumulada) de los países con publicaciones pertinentes a la ecuación de búsqueda que se analiza. La información presentada es generada, a partir del análisis bibliográfico realizado en Scopus.

Se relaciona a continuación el Pareto de las instituciones y organizaciones tanto académicas como del sector empresarial o gubernamental que generaron los documentos pertinentes a la respuesta de la ecuación de búsqueda:

- European Commission
- National Science Foundation
- Erasmus
- Imam Abdulrahman Bin Faisal University
- Tertiary Education Trust Fund

*Ecuación de búsqueda (Aseguramiento Calidad - Educación Superior)*

Se parte de la ecuación de búsqueda para las palabras clave: (aseguramiento calidad - educación superior): TITLE-ABS-KEY: "Quality assurance" AND "Higher education" AND ("Academic program" OR "engineering program"), se obtuvieron 124 documentos como respuesta a la búsqueda avanzada y refinada presentada en la **Tabla 5**. En esta búsqueda se evidenció la producción anual de publicaciones. En la **Tabla 17** se evidencia el Pareto de la cantidad de documentos pertinentes a la respuesta de la ecuación de búsqueda.

**Tabla 17**

*Pareto de años mayor producción documental asociada a la búsqueda*

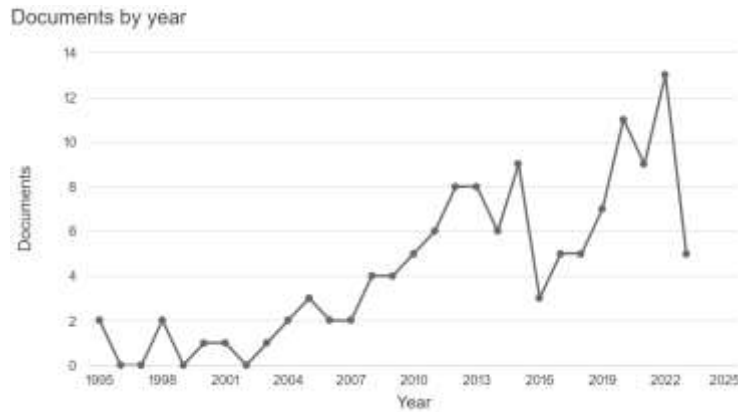
<b>Año</b>	<b>Cantidad de Documentos</b>	<b>Frecuencia Relativa</b>	<b>Frecuencia Relativa Acumulada</b>
2022	13	10,5%	10%
2021	9	5,6%	16%
2020	11	8,9%	25%
2019	7	7,3%	32%
2015	9	8,9%	41%
2013	8	5,6%	47%
2012	8	7,3%	54%
2011	6	6,5%	60%
2014	6	6,5%	67%
2023	5	4,8%	72%
2018	5	4,8%	77%
2017	5	4,0%	81%
2010	5	4,0%	85%

*Nota.* En la tabla se presenta el Pareto (aproximadamente el 80% de la participación de la frecuencia relativa acumulada) de los años de publicación pertinente a la ecuación de búsqueda que se analiza. La información presentada es generada, a partir del análisis bibliográfico realizado en Scopus.

A continuación, se presenta la gráfica del comportamiento de publicaciones de documentos asociados a la búsqueda, tal y como se ilustra en la **Figura 17**.

**Figura 17**

*Comportamiento publicaciones*

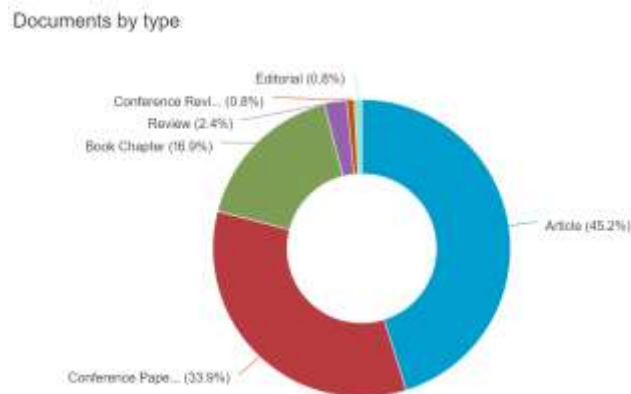


*Nota.* La figura se toma a partir del análisis bibliográfico realizado en Scopus en el año 2023. En esta ilustración se presenta el comportamiento de los años de publicación documental pertinentes a la ecuación de búsqueda en análisis.

Se presenta a continuación, la gráfica de la participación porcentual de publicaciones de documentos asociados a la búsqueda:

**Figura 18**

*Participación porcentual publicaciones*



*Nota.* La construcción del gráfico circular se realiza, a partir del análisis bibliográfico realizado en Scopus en el año 2023. Se puede evidenciar, a través de la colorimetría la participación porcentual de cada una de las categorías documentales que generan aporte a los resultados de la ecuación de búsqueda en análisis.

Se presenta a continuación la tabla Pareto de los países que generaron los documentos pertinentes a la respuesta de la ecuación de búsqueda y que se presentan en la **Tabla 18**.

**Tabla 18**

*Pareto de países generadores de documentos de la ecuación de la búsqueda*

País	Cantidad de Documentos	Frecuencia Relativa	Frecuencia Relativa Acumulada
Estados Unidos	107	38%	38%
Colombia	42	15%	52%
Reino Unido	42	15%	67%
España	30	11%	78%
Arabia Saudita	9	3%	81%
Colombia	8	3%	84%
Sudáfrica	7	2%	86%
Canadá	6	2%	88%
Alemania	6	2%	90%
Italia	6	2%	92%
Malasia	6	2%	94%
Bélgica	4	1%	96%
Chile	4	1%	97%
Jordania	4	1%	99%
Nigeria	4	1%	100%

*Nota.* En la tabla se presenta la participación de la frecuencia relativa acumulada de los países con publicaciones pertinentes a la ecuación de búsqueda que se analiza. La información presentada es generada, a partir del análisis bibliográfico realizado en Scopus

Se relaciona a continuación el Pareto de las instituciones y organizaciones tanto académicas como del sector empresarial o gubernamental que generaron los documentos pertinentes a la respuesta de la ecuación de búsqueda:

- Università degli Studi di Firenze
- University of Pretoria
- Imam Abdulrahman Bin Faisal University
- Auchu Polytechnic

- Universiti Teknologi Malaysia
- University of Bahrain
- Fu Jen Catholic University
- King Saud University
- Prince Sultan University
- University of Warwick
- KU Leuven
- The University of North Carolina at Chapel Hill
- Universidad Politécnica de Madrid
- University of Ottawa
- Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig
- Sapienza Università di Roma
- Yarmouk University
- Universidad de Cartagena

#### **Eje 5. Integración de los procesos y la calidad en las IES**

En este eje se presenta la integración de los procesos y la calidad aplicada en las IES para atender los requerimientos de las competencias demandadas por el sector empresarial en el marco de la cuarta revolución industrial, a partir de la conceptualización expuesta en los 4 ejes de conceptualización:

- Eje 1. Conceptualización de los procesos y la calidad
- Eje 2. Conceptualización de la cuarta revolución industrial
- Eje 3. Conceptualización de los procesos y la calidad en las instituciones de educación superior (IES)

- Eje 4. Análisis bibliométrico de modelos de procesos en la educación superior

La integración inicia con la consolidación de las variables identificadas en cada uno de los cuatro ejes, permitiendo así, la identificación de las variables asociadas a los procesos y a la calidad en el contexto de la educación superior en Colombia y que son insumo para el diseño del modelo de procesos propuesto en esta investigación. Estas variables se presentan en la **Tabla 19**.

**Tabla 19**

*Consolidación de variables identificadas en los ejes de conceptualización de la investigación*

Variable	Letra asignada para identificar la variable	Descripción de la variable	Eje de conceptualización donde se identificó la variable con los autores consultados
Metodologías de calidad	[M]	<p>Variable asociada a los conceptos metodológicos o de herramientas del control de calidad de los procesos. Como son los controles:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Principio de Pareto</li> <li>- Estudio de optimización de labores</li> <li>- Gráficos de control estadístico</li> <li>- Método Simplex</li> <li>- CTQ (Críticos para la calidad)</li> <li>- Diseño de experimentos</li> <li>- AMEF (Análisis de Modalidad de Efecto y Falla)</li> <li>- DIRFT (Hacerlo Bien Desde la Primera Vez)</li> <li>- QFD (Desarrollo Funcional de la Calidad)</li> <li>- Hoshin Kanri (Tablero estratégico de valor)</li> <li>- Six Sigma</li> <li>- BSC (Tablero estratégico de valor)</li> </ul>	<b>Eje 1.</b> Conceptualización de los procesos y la calidad
Herramientas de mejora continua	[H]	<p>Variable asociada a las metodologías, técnicas o herramientas para el mejoramiento continuo, utilizadas al interior de los procesos para asegurar el cumplimiento de requerimientos de los clientes. Como lo son:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Jidoka (detección de errores en el proceso)</li> <li>- PHVA (ciclo de mejora continua Planear, Hacer, Verificar y Actuar)</li> <li>- TPS (Sistema de Producción Toyota)</li> <li>- TQC (Control Total de la Calidad)</li> <li>- JIT (Justo a Tiempo)</li> </ul>	<b>Eje 1.</b> Conceptualización de los procesos y la calidad

Variable	Letra asignada para identificar la variable	Descripción de la variable	Eje de conceptualización donde se identificó la variable con los autores consultados
Gestión por procesos	[Z]	<p>- SMED (Cambios en Menos de un Dígito)                      - Poka Yoke (a prueba de errores)                      - Kaizen (mejoramiento continuo)                      - 8D (Herramienta para resolución de problemas productivos)                      - Lean Six Sigma</p> <p>Variable asociada al análisis de tareas que se realizan en una labor cotidiana al interior de los procesos, con el apoyo ya sea por el método de producción o de prestación de servicios que puede ser por empujar o halar.</p>	<p><b>Eje 1.</b>                      Conceptualización de los procesos y la calidad</p>
Acreditaciones por competencias	[C]	<p>Variable que evalúa de manera dicotómica (1: para ilustrar que tiene acreditación de aprendizaje por competencias, a través de certificación internacional (tipo: ABET, EUR-ACE, Washington Accord o CDIO) y 0: para indicar que no tiene.) Permiten validar su significancia en el cumplimiento de las competencias requeridas por el sector empresarial en el marco de la cuarta revolución industrial.</p>	<p><b>Eje 3.</b>                      Conceptualización de los procesos y la calidad en las instituciones de educación superior (IES)</p>
Acreditación de alta calidad	[X]	<p>Variable que evaluará de manera dicotómica si una IES es acreditada de alta calidad o no está acreditada (1: para sí acreditada y 0: para no acreditada), para así poder validar su significancia en el cumplimiento de las competencias requeridas por el sector empresarial en el marco de la cuarta revolución industrial.</p>	<p><b>Eje 3.</b>                      Conceptualización de los procesos y la calidad en las instituciones de educación superior (IES)</p>
Sector de la IES	[S]	<p>La variable permite hacer la discriminación de manera dicotómica en conformidad al sector al que pertenece la IES (1: para IES privada y 0: para IES pública.)</p>	<p><b>Eje 3.</b>                      Conceptualización de los procesos y la calidad en las instituciones de educación superior (IES)</p>
Número de coincidencias con las palabras clave	[P]	<p>Número de coincidencias de palabras claves (proviene del cruce de las bases de datos consolidadas: “<i>competencias desarrolladas por los programas de ingeniería de las IES</i>” versus “<i>competencias demandadas sector empresarial</i>”).</p>	<p><b>Fase 1</b> de resultados de la investigación</p>

Variable	Letra asignada para identificar la variable	Descripción de la variable	Eje de conceptualización donde se identificó la variable con los autores consultados
Variable de respuesta del modelo cuantitativo de procesos propuesto	[Y]	Variable asociada a la puntuación por programa de ingeniería en cada IES.	Véase la <b>Fase 1</b> de resultados de la investigación

*Nota.* En la primera columna se visualizan las variables identificadas en los ejes de conceptualización en la presente investigación. En la segunda columna se visualiza la letra que se le asigna para identificar cada una de las variables (la asignación de la letra es de carácter arbitrario.) En la tercera columna se evidencia la descripción de cada una de las variables, que entrega el detalle de cada una de ellas. En la cuarta columna se referencia el eje de conceptualización donde se identificó la variable. Las variables [M] Metodologías de calidad, Herramientas de mejora continua [H] y Gestión por procesos [Z] provienen del **Eje 1 Conceptualización de los procesos y la calidad de la Sección de la fundamentación teórica de la investigación**, donde en la **Tabla 1 Identificación de variables asociadas a los conceptos: procesos y calidad** se presenta a cada uno de los autores que desarrolló las herramientas, metodologías, métodos o diagramas que según su aplicabilidad se clasifica en cada una de las variables que se presentan en esta columna. Las variables de Acreditaciones por competencias [C], Acreditación de alta calidad [X] y Sector de la IES [S] provienen del **Eje 3 Conceptualización de los procesos y la calidad en las instituciones de educación superior (IES) de la Sección de la fundamentación teórica de la investigación**, donde se presenta cada una de las instituciones que aporta certificaciones asociadas a la calidad en las IES y si son del sector público o privada para cada una de ellas. Finalmente, las variables Número de coincidencias con las palabras clave [P] y la variable de respuesta del modelo cuantitativo de procesos propuesto [Y] provienen de la **Fase 1 resultados de la investigación**, las cuales se requieren para la construcción del modelo cuantitativo de procesos propuesto en la presente investigación.

Para poder identificar que modelos de procesos han incorporado las variables descritas en la **Tabla 19**, se realiza un análisis de búsqueda sistemática, a partir de los combos de búsqueda presentados en la **Tabla 20** y que se detallaron en el **Eje 4.**, con el análisis bibliométrico de modelos de procesos en la educación superior. Permitiendo así la identificación de modelos que permitan la mitigación de la brecha existente entre los sectores en estudio.

**Tabla 20**

*Combos de búsqueda de la investigación*

N°	Combos de búsquedas	Búsqueda bibliométrica
1	Modelo - Procesos - Programa Ingeniería	("Planning" OR "design" OR "analyze" OR "estimate") AND ("Process model" OR "business process") AND ("Academic program" OR "engineering program")
2	Cumplimiento - Necesidades - Competencias - Sector Empresarial	Compliance AND "Business requirements" AND ("Business skills" OR "business competences")
3	Brecha - Sector Académico - Sector Empresarial	("Planning" OR "design" OR "analyze" OR "estimate") AND ("Process model" OR "business process") AND ("Academic program" OR "engineering program") AND Gap
4	Caso de estudio - Modelo - Procesos - Programa Ingeniería	"Case study" AND ("Process model" OR "business process") AND ("Academic program" OR "engineering program")
5	Calidad - Mejora - Programas de Ingeniería	Quality AND "Higher education" AND ("Academic program" OR "engineering program")
6	Aseguramiento Calidad - Educación Superior	"Quality assurance" AND "Higher education" ("Academic program" OR "engineering program")

*Nota.* En la tabla se evidencian los seis combos de búsqueda definidos en la investigación, que se construyen, a partir de las palabras claves provenientes de los objetivos de la investigación para poder consolidar las búsquedas bibliométricas que presenten modelos de procesos desarrollados para el sector empresarial.

También se complementa el análisis bibliométrico de los modelos de procesos en la educación superior con la revisión y aportes de la industria, incluyendo los avances realizados por las agremiaciones como ACOFI, ANDI, ACOPI y OCDE para mitigar la brecha entre los sectores en estudio, así:

- ACOFI (Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería): desarrolla anualmente en el segundo semestre de cada año el Congreso Nacional de Facultades de Ingeniería, donde se convocan y reúnen diferentes actores como lo son: estudiantes, docentes, directores de programas académicos, decanos y los actores pertenecientes al sector empresarial para discutir, presentar y analizar temáticas asociadas a la formación de la ingeniería y la integración de nuevas tecnologías en las organizaciones colombianas, tales como: inteligencia

artificial, automatización y sostenibilidad. En ediciones recientes, el eje central del evento se focaliza en el análisis de cómo desde las IES se puede actualizar los programas académicos para alinearse con las necesidades del sector productivo en Colombia en el marco de la cuarta revolución industrial. ACOFI desde el año 2020 formó la red de innovación educativa de ACOFI con el objetivo de lograr el mejoramiento continuo de los programas de ingeniería de las IES en Colombia de manera colaborativa, utilizando la investigación aplicada en áreas como: big data, internet de las cosas (IOT), automatización entre otras áreas de conocimiento enfocados a la cuarta revolución industrial. Adicionalmente esta red de innovación se refuerza con los encuentros de la red de decanos y directores de programas de ingeniería por cada uno de los nodos de los programas académicos. (ACOFI / Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería, s/f)

En el año 2016 la Asociación Iberoamericana de Instituciones de Enseñanza de la Ingeniería de manera conjunta con ACOFI presentan los documentos del Plan Estratégico enfocado a las competencias y perfil del ingeniero iberoamericano, formación de profesores y desarrollo tecnológico e innovación. El cual abordó el antiguo paradigma de la enseñanza de los programas académicos basado en la transferencia de información al estudiante con enfoque a solo fortalecer conocimientos basados en la memoria y la repetición. Pero también incluyó e análisis del nuevo paradigma de la educación, el cual afirman que se fundamenta en un modelo por competencias que debe proporcionar al egresado las herramientas necesarias para que sea capaz de ejercer su profesión en un entorno cambiante (Lerena, 2016)

- ANDI (Asociación Nacional de Empresarios de Colombia): en el mes de abril del año 2021 se presentó el segundo capítulo denominado: “*Brechas en el mercado laboral y*

*estereotipos culturales CESLA ANDF*”, donde se evidencia la desigualdad en la participación del género femenino frente al género masculino, esto visto desde la óptica de la ocupación en el mercado laboral, al evidenciar una tasa de desempleo de las mujeres del 20,6% y de los hombres en un 12,8% en el año 2020. (Fernández, 2021)

La ANDI en el mes de diciembre del año 2020 presentó desde la Vicepresidencia de Estrategia y Desarrollo la estrategia “*ANDI Nacional para el 2025: de acuerdo con los nuevos desafíos que enfrentan sus afiliados y el país*”. Donde uno de sus cinco pilares es el de la “*Transformación Digital, Innovación y Emprendimiento*”, estableciendo como indicador: “*Tasa de desempleo nacional*” con una línea base de 16,63% a corte diciembre 2020 y con una meta al año 2025 de un 9% de tasa de desempleo. Dentro de las iniciativas asociadas a la “*Competitividad e Internacionalización*” se evidencia la de “*Promover una educación para aumentar las oportunidades de las personas y fortalecer el talento digital*”, el cual tiene como objetivo: “*Lograr que las capacidades de los trabajadores en Colombia sean acordes con las necesidades del sector productivo para el desempeño actual y futuro, optimizando su productividad, adaptabilidad y capacidad para innovar*”, lo que se alinea al objetivo principal de la presente investigación doctoral. (ANDI, 2020)

- ACOPI (La Asociación Colombiana de las Micro, Pequeñas y Medianas Empresas): el 14 de mayo del año 2024 propone: “*un acuerdo nacional para salvar la economía*”, en el cual presenta que ACOPI representa el 99,7 % del tejido empresarial de Colombia, adicionalmente, que aporta el 79 % del empleo formal y que aporta aproximadamente el 40 % del Producto Interno Bruto (PIB) del país. Es por lo anterior que ACOPI le propone un acuerdo nacional para salvar la economía colombiana, donde uno de los puntos de la visión para el año 2050 es la generación de “*empleo moderno*”, entendido este como la conformación de

nuevas plazas de trabajo al interior de las empresas micro, pequeñas y medianas, para que estas puedan afrontar los retos de las emergentes revoluciones industriales. (*ACOPI propone acuerdo nacional para salvar la economía - ACOPI, s/f*)

- OCDE (La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico): en el año 2024 presentó: “*Los estudios económicos de la OCDE: Colombia 2024*”, donde evidencia la necesidad de la implementación de reformas para aumentar los ingresos de la nación y optimizar el gasto fiscal para poder atender las necesidades de inversión social y productiva. Uno de los puntos a priorizar en la propuesta es atender la informalidad, donde aproximadamente el 56% de los trabajadores tienen empleos informales sin acceso a los beneficios de los parafiscales, lo que se podría mitigar a partir de la mejora en la calidad en la educación, lo cual es un propulsor de la productividad en Colombia. (*Estudios Económicos de la OCDE: Colombia 2024, 2024*)

## **2. Sección de la metodología de la investigación**

En esta sección se detallan las hipótesis de la investigación. También se presenta la metodología utilizada, la cual es mixta, compuesta por una investigación exploratoria, a través de la búsqueda sistemática en fuentes primarias y complementada con una investigación cuantitativa correlacional, a través del análisis estadístico de las variables requeridas para el diseño del modelo de procesos propuesto.

### **Hipótesis de la investigación**

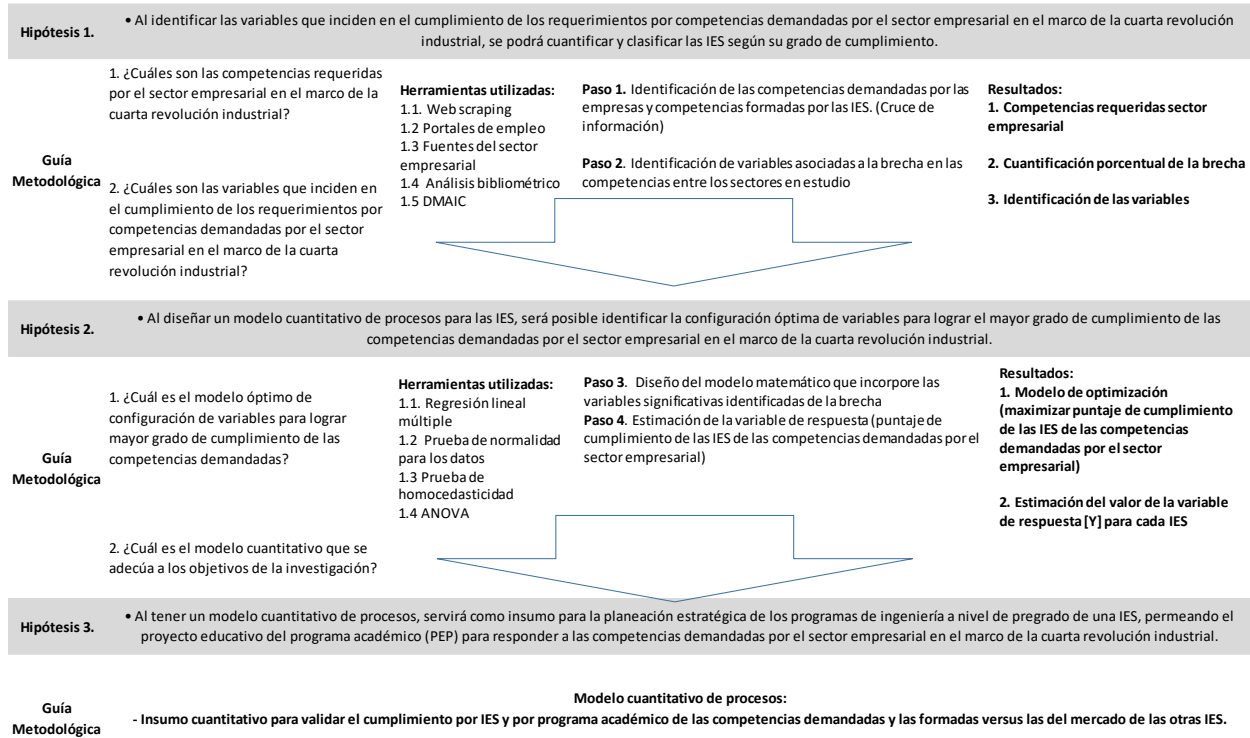
En la búsqueda de soluciones factibles que mitiguen la brecha existente entre el sector académico y el empresarial, y que evidencien el incumplimiento de las necesidades de formación por competencias relacionadas con los retos de la cuarta revolución industrial, se postulan las siguientes hipótesis alineadas a los objetivos descritos en la presente investigación:

- Al identificar las variables que inciden en el cumplimiento de los requerimientos por competencias demandadas por el sector empresarial en el marco de la cuarta revolución industrial, se podrá cuantificar y clasificar las IES según su grado de cumplimiento.
- Al diseñar un modelo cuantitativo de procesos para las IES, será posible identificar la configuración óptima de variables para lograr el mayor grado de cumplimiento de las competencias demandadas por el sector empresarial en el marco de la cuarta revolución industrial.
- Al tener un modelo cuantitativo de procesos, servirá como insumo para la planeación estratégica de los programas de ingeniería a nivel de pregrado de una IES, permeando el proyecto educativo del programa académico (PEP) para responder a las competencias demandadas por el sector empresarial en el marco de la cuarta revolución industrial.

En la **Figura 19** se presenta el diagrama de integración de las hipótesis establecidas en la presente investigación.

Figura 19

Integración de las hipótesis de la investigación



**Nota.** La construcción del gráfico evidencia la integración de las hipótesis de la investigación, a través del planteamiento de las preguntas guía, las herramientas a ser utilizadas, los pasos que se desarrollan en cada etapa con sus respectivos resultados esperados para dar cumplimiento a las hipótesis declaradas en la investigación.

Tipo de investigación

El procedimiento metodológico empleado en la presente investigación doctoral es de tipo cuantitativo correlacional, iniciando con una investigación exploratoria.

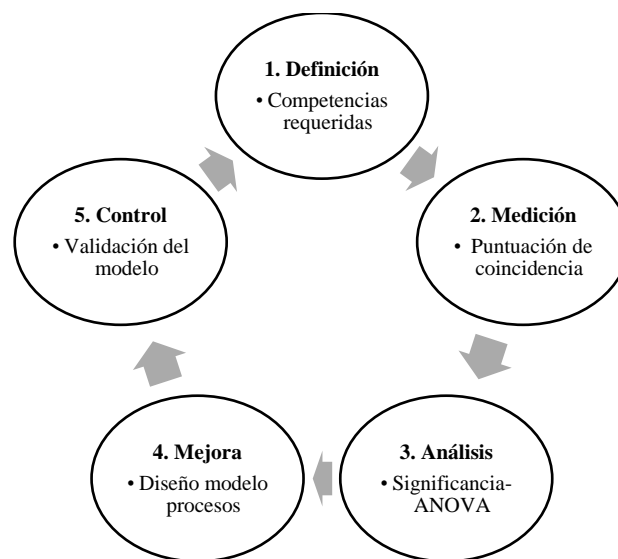
**Investigación exploratoria:** se desarrolla a través de la búsqueda sistemática de literatura existente y pertinente en fuentes de información primaria. Esta exploración se detalla en el *Eje 4.*, con el análisis bibliométrico en búsqueda de modelos de procesos en la educación superior que sirven de insumo para el modelo propuesto.

**Investigación cuantitativa correlacional:** se apalanca al interior de la investigación en el uso de herramientas de análisis matemático y estadístico, para inferir información de los datos asociados a las variables significativas requeridas para mitigar la brecha entre los sectores en estudio.

El desarrollo metodológico mixto se fundamenta en las cinco fases de la gestión de proyectos de mejora continua de los procesos organizacionales que se denomina DMAIC, que es un acrónimo por sus siglas en ingles de: definir, medir, analizar, mejorar y controlar. El DMAIC hace parte de las herramientas de la metodología de Six Sigma. En el estudio exploratorio de literatura que se presentó en el *Eje 5.*, se logra evidenciar que es una metodología estructurada, a partir del análisis de varianza de los requerimientos del cliente, iniciando desde la identificación de las variables significativas de la problemática en estudio, hasta la formulación de una solución factible a la necesidad identificad. Motivo por el cual se adecua para el desarrollo metodológico de la presente investigación, tal como se ilustra en la *Figura 20*.

**Figura 20**

*Fases DMAIC para el desarrollo de la metodología de la investigación*



*Nota.* En la figura se ilustran las 5 etapas del DMAIC, donde se presenta una breve descripción del desarrollo de cada una de ellas al interior de la metodología propuesta.

A continuación, se presenta el detalle metodológico que se desarrolla en cada una de las 5 fases del DMAIC para el diseño del modelo cuantitativo de procesos propuesto:

**Fase 1. Definición (competencias requeridas):** en esta fase se identifica:

- a) Las competencias que son demandadas por el sector empresarial en el marco de la revolución industrial 4.0 en Colombia.
- b) Las competencias que son desarrolladas por los programas de ingeniería de cada una de las IES en Colombia.
- c) Las variables asociadas a los procesos y a la calidad en las IES, y que están relacionadas con el cumplimiento de las competencias que son demandadas por el sector empresarial en el marco de la revolución industrial 4.0 en Colombia.

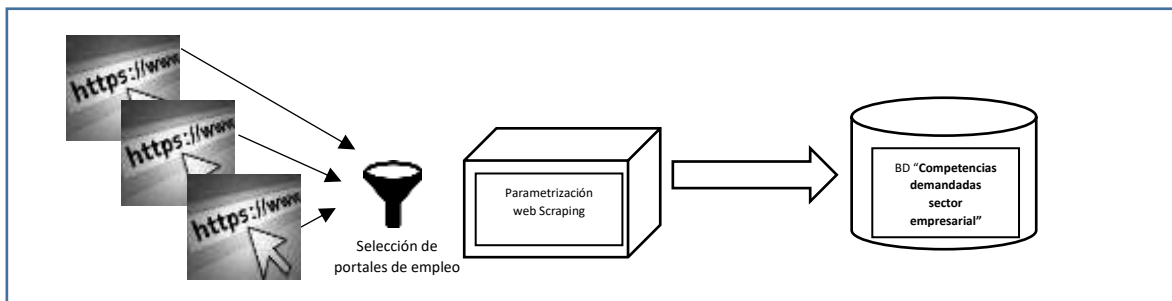
A continuación, se detalla metodológicamente como se procede al desarrollo de la identificación de cada uno de los puntos requeridos en la fase de definición, para asegurar los resultados:

- a) ***Competencias que son demandadas por el sector empresarial en el marco de la revolución industrial 4.0 en Colombia:*** se realiza por medio de la extracción de datos asociados a las competencias requeridas y demandas por las empresas en las ofertas laborales, utilizando la parametrización de una herramienta de web Scraping (software Octoparse.) Esta selección de software se realiza por las características de compatibilidad con el sistema operativo del computador donde se ejecuta el código de programación para los portales de empleo seleccionados: El Empleo.com, LinkedIn Colombia y Computrabajo, como se ilustra en la ***Figura 21.***

Las plataformas de empleo, fueron seleccionadas al ser los metabuscadores web en Colombia con mayor número de ofertas y de buscadores de empleo, adicionalmente, es donde las organizaciones publican las ofertas de trabajo, detallando las competencias que debe tener el recurso humano para ocupar las posiciones laborales (Krotov et al., 2020). Generando así una base de datos con las competencias requeridas por el sector empresarial en el marco de la cuarta revolución industrial, que se denomina: “*competencias demandadas sector empresarial*”.

**Figura 21**

*Aplicación del web Scraping*



*Nota.* En la figura se presenta el diagrama del modelo de aplicación del web Scraping.

La parametrización de cada una de las páginas web de los portales de empleo seleccionados se realiza desde la definición de los rangos salariales utilizados para los filtros en los metabuscadores de empleo, calculando la media (promedio) de ingreso mensual para un ingeniero en Colombia (*Salario para Ingeniero en Colombia - Salario Medio, s/f*), para así poder extraer la información de los perfiles de cargo, a través del web scraping bajo los parámetros de búsqueda establecidos en cada página así:

Para el caso de la página del **Empleo.com** los filtros son:

- Rango salarial: entre 1 SMLVM (\$1.160.000) y 4 millones de pesos colombianos.
- Modalidad laboral: se selecciona las tres (presencial, remoto e híbrido)

- Áreas de trabajo: se selecciona todas las áreas, ya que la cuarta revolución industrial permea todas las áreas de la industria colombiana.

Obteniendo una URL con el refinamiento: <https://www.eempleo.com/co/ofertas-empleo/1-15-millones/15-2-millones/2-25-millones/25-3-millones/3-35-millones/35-4-millones?trabajo=ingeniero>.

Para el caso del portal web de **Computrabajo** los filtros son:

- Rango salarial entre 1 SMLVM (\$1.160.000) y 4 millones de pesos colombianos.
- Jornada: se seleccionó tiempo completo
- Contrato: se seleccionaron todas las tipologías de contratación

Obteniendo una URL con el refinamiento: <https://co.computrabajo.com/empleos-de-ingenieria-y-tecnico-jornada-tiempo-completo?dis=0>.

Para el caso del portal web de **LinkedIn Colombia** los filtros son:

- Cargo: ingeniería (dejar en genérica ingeniería, sin especificar)
- País: Colombia (no especificar ciudad, ni municipio)
- Nivel de experiencia (dejar sin marca: director y ejecutivo, ya que el perfil es hasta profesional en ingeniería sin postgrado)

- Modalidad laboral: se selecciona las tres (presencial, remoto e híbrido)
- Tipo de empleo (dejar todos)

No genera link, ya que se hace desde la cuenta personal de LinkedIn del investigador.

b) **Identificación de las competencias que son desarrolladas por los programas de ingeniería de las IES en Colombia:** primero se procede con la identificación de programas de ingeniería a nivel de pregrado en Colombia, para lo cual se utiliza como fuente de información primaria la página web del Sistema Nacional de Información de la Educación Superior (SNIES):

<https://snies.mineduacion.gov.co/portal/ESTADISTICAS/Bases-consolidadas/>, descargando las bases de datos consolidadas de estudiantes admitidos a corte 2023. A esta base de datos se realizan los filtros respectivos asociados a la investigación:

- Programas de ingeniería a nivel profesional de pregrado (con estudiantes matriculados)
- Programas de ingeniería a nivel profesional de pregrado ofertados por IES públicas y privadas
- Programas de ingeniería a nivel profesional de pregrado ofertados por IES acreditadas de alta calidad y no acreditadas.

Segundo, con los programas académicos identificados con los filtros de la base SNIES, se genera una base de datos de las competencias desarrolladas por los programas de ingeniería a nivel profesional de pregrado de las IES. Esta base de datos se consolida a partir de los perfiles de egresados de cada uno de los programas de ingeniería a nivel profesional de pregrado ofertados por las IES, que se denomina “*competencias desarrolladas por los programas de ingeniería de las IES*”.

La selección del perfil del egresado como fuente de información de las competencias desarrolladas por los programas de ingeniería, obedece a la promesa de valor que las IES declaran oficialmente como las competencias y habilidades asociadas a los conocimientos que adquirieron los estudiantes al finalizar su carrera profesional como ingenieros, y que son publicados y accesibles de manera digital en las diferentes páginas web de los programas de las IES.

***c) Identificación de las variables asociadas a los procesos y a la calidad en las IES:***  
para la consolidación de las variables requeridas en el diseño del modelo de procesos propuesto,

se incorpora las identificadas en la *Tabla 19*, donde se presentó en el *Eje 5* la consolidación de variables identificadas en los ejes de conceptualización de la investigación.

**Fase 2. Medición (puntuación de coincidencia):** en esta fase se mide:

- a) La puntuación de coincidencia de competencias requeridas por el sector empresarial y las desarrolladas por el sector académico.
- b) Modelo predictivo de regresión múltiple.

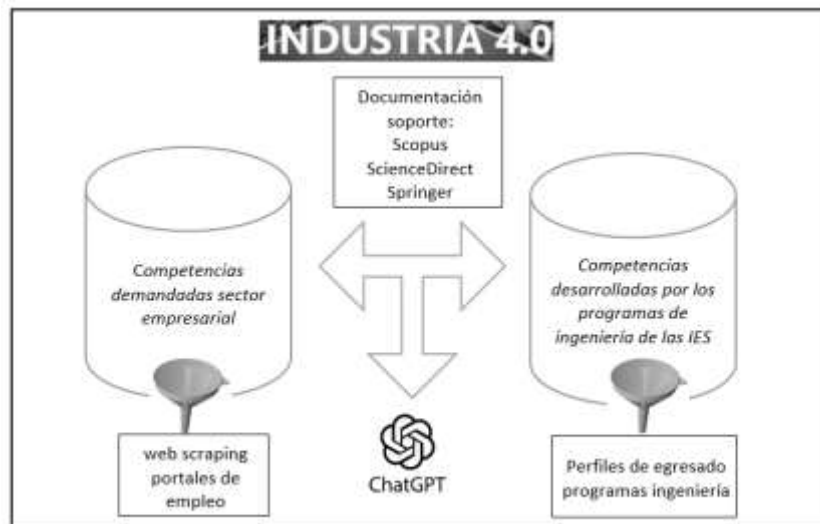
A continuación, se detalla metodológicamente como se procede al desarrollo de la medición de cada uno de los puntos requeridos en esta fase, para asegurar los resultados esperados por la investigación.

a) ***Medición de la puntuación de coincidencia de competencias requeridas por el sector empresarial y las desarrolladas por el sector académico:*** para poder obtener la puntuación asociada al número de coincidencias de competencias desarrolladas por los programas académicos de las IES y las demandadas por el sector empresarial en el marco de la cuarta revolución industrial, se realiza un cruce de las dos bases obtenidas en la ***Fase 1:*** “*competencias requeridas por el sector empresarial*” y las “*competencias desarrolladas por los programas de ingeniería de las IES*”, como se ilustra en la ***Figura 22***.

La cantidad de coincidencias entre las dos bases de datos para cada una de las IES determinará el valor de la variable [P]: “*número de coincidencias de palabras claves*”. Esta cuantificación permite realizar el primer ordenamiento (de mayor a menor) de las IES, dejando en los primeros puestos a las IES que tengan un mayor valor en las coincidencias posterior cruce de información.

**Figura 22**

*Esquema de cruce de bases de datos*



*Nota.* En la figura se ilustra la manera de cómo se consolida la información de las dos bases de datos: “*competencias requeridas por el sector empresarial*” y las “*competencias desarrolladas por los programas de ingeniería de las IES*”, que se requieren para poder determinar el valor de la variable [P]: “*número de coincidencias de palabras claves*”. El uso de la inteligencia artificial ChatGPT se tendrá presente para realizar la consulta de qué competencias asociadas a la industria 4.0 identifica la IA para poderlas contrastar con los resultados obtenidos del Web Scraping realizado en los buscadores de empleo.

**b) Modelo predictivo de regresión lineal múltiple:** se utiliza la regresión lineal para el diseño del modelo cuantitativo de procesos propuesto en la presente investigación, ya que la prueba del estadístico de *F* del ANOVA se fundamenta en el modelo de regresión, el cual evalúa como se ajustan de mejor manera los datos del predictor y la validación de la varianza de los mismos. (Lab et al., 2014)

Cada una de las variables identificadas en la **Tabla 19** que se presentó en el **Eje 5.**, son medidas y evaluadas al interior del modelo de procesos propuesto, mediante una regresión múltiple, con la finalidad de poder tener una ecuación predictiva para la variable de respuesta del

modelo cuantitativo de procesos propuesto, que se denomina en adelante como: [Y] “*puntuación final de la IES*” y que es calculada, a partir de la *Ecuación 1*.

### **Ecuación 1**

*Modelo de regresión lineal múltiple*

$$Y = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \dots + \beta_px_n + \varepsilon$$

*Nota.* Se utiliza la fórmula de regresión lineal múltiple (Granados, R. M., 2016), donde:

- Y: es la variable de respuesta asociada a la “*puntuación final de la IES*”
- $\beta_0$  : es el término independiente. Valor esperado de la variable de respuesta [Y] del modelo, cuando los ( $x_i$ ) toman un valor igual a cero (0)
- $\beta_1$  : mide el cambio en la variable de respuesta [Y], por cada ajuste unitario en ( $x_i$ ), manteniendo  $x_2, x_3, \dots, x_n$  constantes. Así mismo para los otros  $\beta_n$
- $\varepsilon$ : es el error de observación asociado a variables de ruido (variables no controlables)

**Fase 3. Análisis (evaluar la significancia - ANOVA):** en esta fase se realiza un análisis de varianza (ANOVA), para medir la significancia de cada una de las variables identificadas en la *Tabla 19* que se presentó en el *Eje 5.*, versus la variable de respuesta [Y] “*puntuación programa de ingeniería por IES*”.

Se selecciona el análisis de varianza ANOVA, al ser un método estadístico que permite identificar si los resultados de una variable analizada son significativos o no, es decir, si tienen afectación en la variable de respuesta en estudio (la aumentan o la disminuyen en su valor) y permite medir la correlación de las variables del modelo propuesto. (Stoker et al., 2020)

**Fase 4. Mejora (diseño del modelo):** en esta fase se diseña el modelo cuantitativo de procesos que se denomina Lean Academy (academia esbelta). Este modelo determinístico está orientado a identificar las competencias que son requeridas por el sector empresarial en el marco de la revolución industrial 4.0 en Colombia, a través de las variables significativas identificadas para el modelo cuantitativo de procesos propuesto.

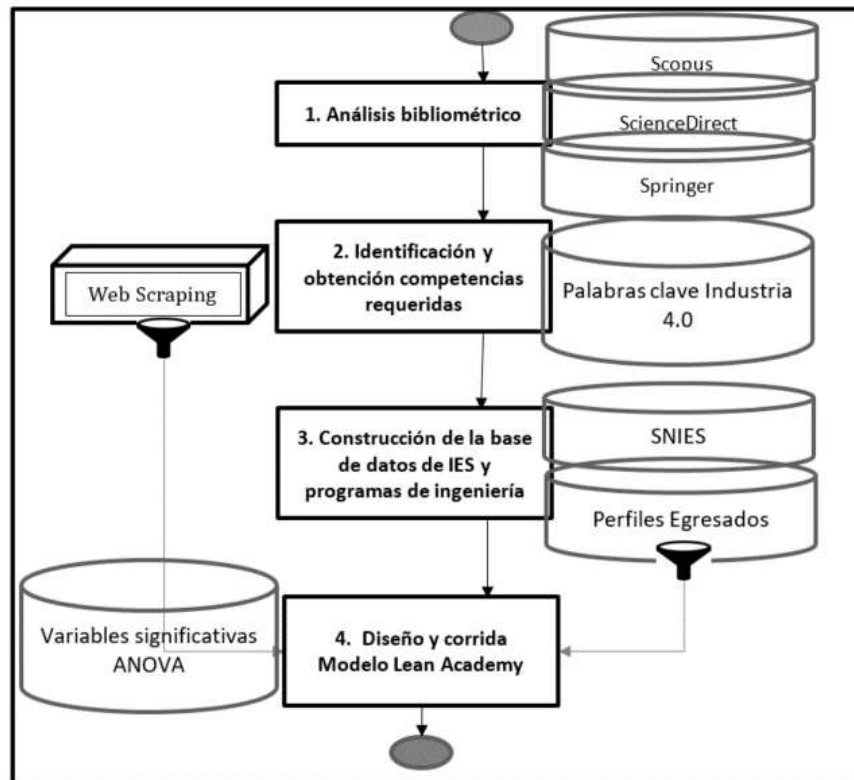
**Fase 5. Control (validación del modelo):** la validación del modelo se realiza así:

- Selección de la muestra representativa de las IES para la aplicación del modelo propuesto
- Diseño del instrumento de recolección de información
- Corrida del modelo propuesto en la muestra seleccionada de IES
- Validación de fiabilidad de los resultados obtenidos de la aplicación del instrumento de recolección de información, mediante el alfa de Cronbach.
- Jerarquización de IES según resultados de la variable de respuesta [Y]
- Análisis de resultados en una IES para presentar recomendaciones

En la **Figura 23** se presenta la articulación de los métodos de investigación utilizados en la presente investigación doctoral.

**Figura 23**

*Articulación de los métodos de investigación (Exploratorio y de Correlación)*



*Nota.* En la figura se muestra la articulación de los métodos de investigación utilizados en la investigación. Donde se utiliza una metodología cuantitativa de correlación, que se evidencia, a partir del análisis de varianza (lado derecho de la gráfica) evaluando la significancia y correlación de las variables definidas, complementado al lado derecho con el método de investigación exploratoria, a partir de las bases de datos definidas para la consulta de las fuentes primarias de información.

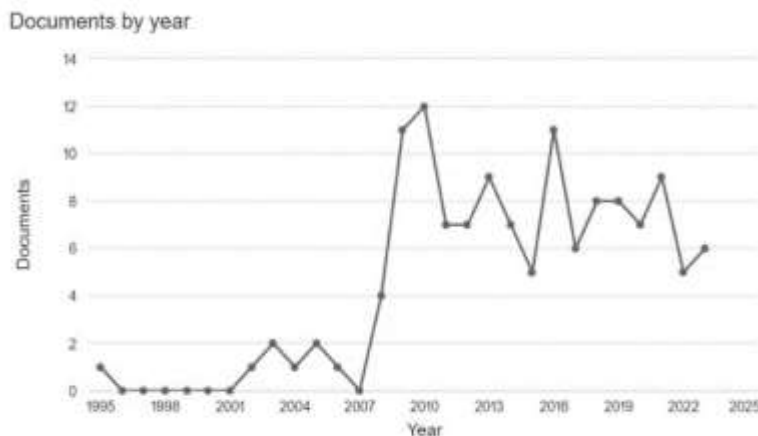
### 3. Sección de los resultados de la investigación

#### Resultados de la investigación exploratoria

El desarrollo de la investigación exploratoria se evidencia en el *Eje 4.*, donde se presentó el análisis bibliométrico de los modelos de procesos en la educación superior. Pero es de resaltar que los documentos encontrados fueron el resultado de la aplicación de las ecuaciones de búsqueda de la *Tabla 20*. La ecuación de búsqueda (*TITLE-ABS-KEY: Compliance AND "Business requirements" AND ("Business skills" OR "business competences")*) obtuvo un resultado de 130 documentos encontrados, donde se logra evidenciar el comportamiento de la investigación orientado a satisfacer las necesidades por competencias requeridas por sector empresarial. Presentando un incremento significativo de aportes de los autores desde el año 2010 en esta área de estudio, publicados en revistas indexadas, con un promedio de ocho publicaciones por año, tal como se ilustra en la **Figura 24**.

**Figura 24**

*Comportamiento de la investigación asociado al estudio del cumplimiento de necesidades por competencias requeridas por el sector empresarial*



*Nota.* En la figura que se obtiene al aplicar el combo de búsqueda: (*TITLE-ABS-KEY: Compliance AND "Business requirements" AND ("Business skills" OR "business competences")*) en Scopus, permite evidenciar la cantidad de documentos generados (eje y de la gráfica) por año desde 1995 hasta el año 2023 (eje x de la gráfica).

A partir del análisis de publicaciones realizadas desde entre los años 2010 al 2023, se pudo evidenciar que los países con mayor producción de documentos (artículos) relacionados al cumplimiento de necesidades por competencias requeridas por el sector empresarial son Estados Unidos, Alemania, Australia, India y China como se evidencia en la **Tabla 21**.

**Tabla 21**

*Pareto de países generadores de documentos de la ecuación de la búsqueda*

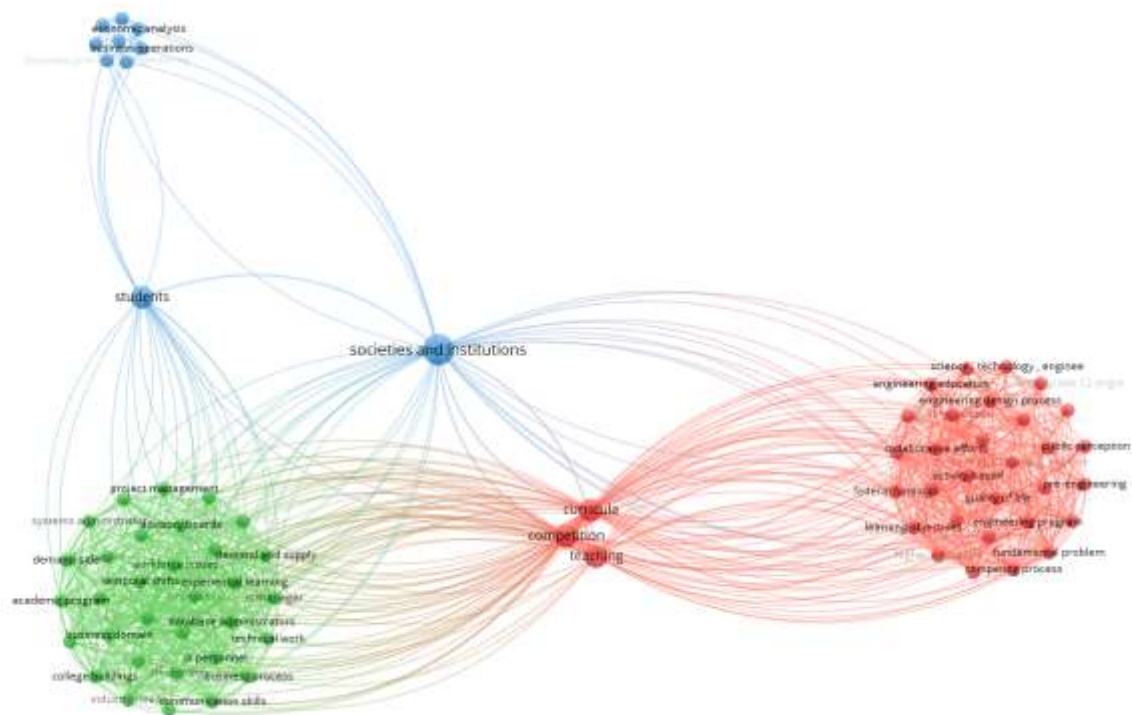
País	Cantidad de Documentos
Estados Unidos	22
Alemania	16
Australia	13
India	9
China	6

*Nota.* En la tabla se muestran los países Pareto que mayor cantidad de producción documental están generando posterior aplicación del combo de búsqueda: (*TITLE-ABS-KEY: Compliance AND "Business requirements" AND ("Business skills" OR "business competences")*) en Scopus.

Al complementar la consulta asociada al cumplimiento de necesidades por competencias requeridas por el sector empresarial (combo de búsqueda 2 de la **Tabla 20**) con la consulta de la brecha existente entre el sector académico y el sector empresarial (combo de búsqueda 3 de la **Tabla 20**), permite evidenciar con el uso del software VOSviewer, a través del filtro por citas conjuntas (co-citación de fuentes), que las áreas con mayor estudio para lograr la mitigación en el desarrollo de competencias requeridas por el sector empresarial son: ingeniería y educación, ingeniería y tecnología, diseño de procesos, programación, objetivos de aprendizaje, procesos competitivos, gestión de proyectos, diseño de tableros, programas académicos habilidades y competencias, tal como se puede evidenciar en la **Figura 25**.

**Figura 25**

Análisis de co-citación de fuentes asociada a la brecha existente entre el sector académico y el sector empresarial



*Nota.:* Para el análisis de co-citación de fuentes asociada a la brecha existente entre el sector académico y el sector empresarial se utiliza el software VOSviewer. Que permite a través de una convención de colorimetría identificar los clústeres de las co-citación de fuentes e identificar los conceptos más relevantes.

**Resultados de la investigación cuantitativa de correlación**

A continuación, se presentan los resultados de cada una de las cinco fases del DMAIC (definir, medir, analizar, mejorar y controlar), para evidenciar el desarrollo de la investigación cuantitativa de correlación, en concordancia a los objetivos e hipótesis declarados en la presente investigación.

***Resultados de la fase 1. Definición (competencias requeridas)***

Se presentan los resultados asociados a la ***Fase 1*** así:

- a) Resultados de la identificación de las competencias que son demandadas por el sector empresarial en el marco de la revolución industrial 4.0 en Colombia.
- b) Resultados de la identificación de las competencias que son desarrolladas por los programas de ingeniería de cada una de las IES en Colombia.
- c) Resultados de la identificación de las variables asociadas los a procesos y a la calidad en las IES.

A continuación, se detalla cómo se lograron cada uno resultados obtenidos en la ***Fase 1:***

**a) Resultados de la identificación de las competencias que son demandadas por el sector empresarial en el marco de la revolución industrial 4.0 en Colombia:** con la parametrización de cada una de las páginas web de los portales de empleo seleccionadas (El Empleo.com, Computrabajo y LinkedIn Colombia) y la ejecución del web Scraping en los portales web de empleo, se logra la consolidación de un total de 19.822 registros de las descripciones de cargo (donde se encuentran registrados los requerimientos por competencias del personal solicitado para ocupar las vacantes de empleo.) El web scraping se configuró y se programó, para extraer información en dos fechas: miércoles, 15 de noviembre de 2023 y el martes, 20 de febrero de 2024.

A partir de la data consolidada del proceso de extracción de información con el web Scraping, se procede a realizar el cruce con los términos de competencias asociados a la cuarta revolución industrial que se consolidaron en el ***Eje 2., que está*** asociado a la conceptualización de la cuarta revolución industrial, obteniendo la base de datos denominada: “*competencias demandadas sector empresarial*” con un total de 2.059 registros de perfiles laborales, los cuales presentaron coincidencia con las palabras clave asociadas a las competencias de la cuarta revolución industrial, y que permitieron identificar las (24) competencias relacionadas con las

necesidades del sector empresarial en Colombia: <sup>1</sup>Automatización de procesos, <sup>2</sup>gestión de sistemas de información, <sup>3</sup>gestión de ciberseguridad, <sup>4</sup>programación, <sup>5</sup>gestión de la bioinformática, <sup>6</sup>comunicación de datos, <sup>7</sup>gestión de la integración de tecnológica, <sup>8</sup>robótica, <sup>9</sup>gestión de sistemas, <sup>10</sup>gestión de sistemas mecatrónicos, <sup>11</sup>control automático, <sup>12</sup>gestión de la teleinformática, <sup>13</sup>gestión de la conectividad, <sup>14</sup>internet de las cosas, <sup>15</sup>computación en la nube, <sup>16</sup>big data, <sup>17</sup>analítica de datos, <sup>18</sup>lenguajes de programación, <sup>19</sup>nanotecnología, <sup>20</sup>business intelligence, <sup>21</sup>gestión de la inteligencia artificial, <sup>22</sup>administración de las tecnologías inteligentes, <sup>23</sup>prototipado, y <sup>24</sup>dominio de los modelos computacionales.

Con la obtención de la base de datos “*competencias demandadas sector empresarial*”, se logró identificar que en promedio el 8,5% de las publicaciones de ofertas laborales (perfiles laborales: funciones y descripción de cargo), están relacionadas con las competencias del marco de la cuarta revolución industrial. En la **Tabla 22** se presenta la estadística del procesamiento de los perfiles laborales mediante la aplicación del web scraping.

**Tabla 22**

*Procesamiento de perfiles laborales mediante Web Scraping*

Portal	Parametrización de búsqueda	Fechas de aplicación del Web Scraping	Cantidad perfiles laborales (funciones y descripción de cargo)	Cantidad de perfiles laborales (coincidencia palabras clave competencias industria 4.0)	Porcentaje coincidencias
El empleo.com	<a href="https://www.elemprego.com/co/ofertas-empleo/1-15-millones/15-25-millones/25-35-millones/35-45-millones?trabajo=ingeniero">https://www.elemprego.com/co/ofertas-empleo/1-15-millones/15-25-millones/25-35-millones/35-45-millones?trabajo=ingeniero</a>	miércoles, 15 de noviembre de 2023	9.452	1.068	51.9%
	<a href="https://co.computrabajo.com/empleos-de-ingenieria-y-tecnico-jornada-tiempo-completo?dis=0">https://co.computrabajo.com/empleos-de-ingenieria-y-tecnico-jornada-tiempo-completo?dis=0</a>	martes, 20 de febrero de 2024	8.765	833	40.5%
Computrabajo	<a href="https://co.computrabajo.com/empleos-de-ingenieria-y-tecnico-jornada-tiempo-completo?dis=0">https://co.computrabajo.com/empleos-de-ingenieria-y-tecnico-jornada-tiempo-completo?dis=0</a>	miércoles, 15 de noviembre de 2023	759	64	3.1%

Portal	Parametrización de búsqueda	Fechas de aplicación del Web Scraping	Cantidad perfiles laborales (funciones y descripción de cargo)	Cantidad de perfiles laborales (coincidencia palabras clave competencias industria 4.0)	Porcentaje coincidencias
LinkedIn Colombia	<a href="https://co.computrabajo.com/empleos-de-ingenieria-y-tecnico-jornada-tiempo-completo?dis=0">https://co.computrabajo.com/empleos-de-ingenieria-y-tecnico-jornada-tiempo-completo?dis=0</a>	martes, 20 de febrero de 2024	695	87	4.2%
	<a href="https://www.linkedin.com/">https://www.linkedin.com/</a>	miércoles, 15 de noviembre de 2023	95	5	0.2%
		martes, 20 de febrero de 2024	56	2	0.1%
<b>Total consultas procesadas web Scraping</b>			<b>19.822</b>	<b>2.059</b>	<b>100%</b>

*Nota.* En la primera columna se presenta el metabuscador. En la columna dos se presenta la URL parametrizada con los filtros de refinamiento de búsqueda definidos en la metodología. En la tercera columna se muestran los rangos de las fechas en las que se programó y corrió el web Scraping. En la cuarta columna se evidencia la cantidad perfiles laborales (funciones y descripción de cargo) que se encontraron con la parametrización. En la quinta columna se presenta la cantidad de perfiles laborales (coincidencia palabras clave competencias industria 4.0). En la sexta columna se presenta porcentaje de coincidencias.

**b) Resultados de la identificación de las competencias que son desarrolladas por los programas de ingeniería de cada una de las IES en Colombia:** primero se procede con la identificación de programas de ingeniería a nivel de pregrado en Colombia, para lo cual se utiliza como fuente de información primaria la página web del SNIES, descargando las bases de datos consolidadas de estudiantes admitidos a corte 2023, obteniendo un total de 69.764 registros. A esta base de datos se realizan los filtros respectivos asociados a la investigación:

- Programas de ingeniería a nivel profesional de pregrado (con estudiantes matriculados): obteniendo un resultado de 66 programas activos a corte diciembre 2023 en ingeniería a nivel de pregrado en Colombia.
- Cantidad de IES públicas y privadas que ofertan programas de ingeniería: son 159 IES de las cuales:
  - 49 son públicas
  - 110 privadas

- Programas de ingeniería a nivel profesional de pregrado ofertados por IES acreditadas de alta calidad y no acreditadas en Colombia a corte 2023:

- IES acreditadas de alta calidad:
  - 32 IES públicas
  - 45 IES privadas
- IES no acreditadas de alta calidad:
  - 17 IES públicas
  - 65 IES privadas

También se logró evidenciar el porcentaje de participación de ubicación geográfica de las IES que ofertan programas de ingeniería a nivel profesional de pregrado en Colombia, el cual es presentado en la **Tabla 23**.

**Tabla 23**

*Porcentaje de ubicación de IES en Colombia*

<b>Domicilio IES</b>	<b>Total</b>
Bogotá, D.C.	44,8%
Medellín	13,0%
Barranquilla	6,7%
Bucaramanga	5,8%
Cali	4,5%
Cartagena de Indias	3,7%
Tunja	2,4%
Montería	1,8%
Popayán	1,6%
Envigado	1,4%
San Gil	1,4%
Pasto	1,3%
Neiva	1,3%
Ibagué	1,2%
Manizales	1,1%
Pereira	1,1%
Villavicencio	1,0%
Sincelejo	0,9%
Armenia	0,8%

Domicilio IES	Total
Chía	0,8%
Rivera	0,5%
Santa Marta	0,5%
Caldas	0,5%
Rio Negro	0,5%
Girardot	0,3%
Quibdó	0,3%
Barrancabermeja	0,2%
Socorro	0,2%
Cartago	0,2%
Bello	0,2%
San José de Cúcuta	0,2%
<b>Total general</b>	<b>100,0%</b>

*Nota.* Se utiliza como fuente de información para el dato estadístico la página del SNIES. En la primera columna se presenta ciudad y en la segunda columna se presenta la partición porcentual por cada una de las ciudades en orden descendente (frecuencia relativa.) En total son 159 IES que ofertan programas de ingeniería en Colombia a corte del 2023.

Segundo se consolida una base de datos con las competencias desarrolladas por los programas de ingeniería a nivel profesional de pregrado de las IES. Esta base de datos proviene de los perfiles de egresados de cada uno de los programas académicos que son publicados en sus portales web, y que se denominó: “*competencias desarrolladas por los programas de ingeniería de las IES*”. En esta base de datos se logró compilar un total de 657 perfiles de egresados de todos los programas de ingeniería (a nivel de pregrado) ofertados en el año 2023 por las IES en Colombia.

Al tener la base datos “*competencias desarrolladas por los programas de ingeniería de las IES*”, se procedió a realizar el cruce de información con los términos asociados la cuarta revolución industrial, que se consolidaron en el *Eje 2.*, asociado a la conceptualización de la cuarta revolución industrial , con la finalidad de identificar los términos con mayor coincidencia (moda) en el cruce de las bases de datos, como se muestra en la *Tabla 24.*

**Tabla 24**

*Competencias desarrolladas por las IES y que generan coincidencias con palabras claves industria 4.0*

<b>Moda</b>	<b>Término</b>
89	Automatización
72	Electrónica
42	Sostenibilidad
36	Sistemas de información
30	Robótica
23	Sistemas de control
18	Programación
15	Automatización industrial
14	Automatización de procesos
12	Inteligencia artificial
11	Ingeniería de software
10	cadena de suministro
10	Ingeniería de software
9	Internet de las cosas
9	Transformación digital
8	Ciencias de la computación
6	Gestión de sistemas
6	Instrumentación electrónica

*Nota.* Se presenta la medida de tendencia central (moda) en la primera columna de la tabla, correspondiente a la cantidad de competencias desarrolladas por las IES y que generan coincidencias con palabras asociadas a las palabras claves identificadas en el **Eje 2** (*conceptualización de la cuarta revolución industrial*) y que se evidencia en la segunda columna de la tabla.

El cruce de la base de datos “*competencias desarrolladas por los programas de ingeniería de las IES*” permitió evidenciar que el 19.5% de las 159 instituciones de educación superior (IES) en Colombia que ofertan a corte del 2023 un programa asociado directamente a la ingeniería a nivel de pregrado, tienen declarado explícitamente en sus perfiles de egresados las palabras clave asociadas a los términos utilizados en la cuarta revolución industrial. Para ampliar la información del porcentaje de coincidencias entre los perfiles de egresado y las palabras clave asociadas a las competencias requeridas por la industria 4.0, se presenta en la **Tabla 25**, que

muestra un listado con la moda de la cantidad de veces que un programa de ingeniería no hace coincidencia en su descripción de perfil de egresado con las palabras que se consolidaron en el *Eje 2.*, asociado a la conceptualización de la cuarta revolución industrial .

**Tabla 25**

*Pareto de programa académicos de ingeniería que generaron un bajo porcentaje de coincidencias con las palabras claves asociadas a la industria 4.0*

<b>PROGRAMA ACADEMICO</b>	<b>Moda de No coincidencias</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Ingeniería Industrial	51	18%
Ingeniería de Sistemas	39	14%
Ingeniería Ambiental	31	11%
Ingeniería Civil	28	10%
Ingeniería Mecánica	22	8%
Ingeniería Biomédica	11	4%
Ingeniería Electrónica	8	3%
Ingeniería Química	8	3%
Ingeniería de Telecomunicaciones	7	2%
Ingeniería Mecatrónica	5	2%
Ingeniería de Alimentos	5	2%
Ingeniería Aeronáutica	4	1%
Bioingeniería	4	1%
Ingeniería Eléctrica	4	1%
Ingeniería Geológica	3	1%
<b>Total</b>		<b>80%</b>

*Nota.* En la tabla se presenta el Pareto de programa académicos de ingeniería que generaron un bajo porcentaje de coincidencias con las palabras claves asociadas a la industria 4.0

A continuación se ilustran algunos de los casos de los programas de ingeniería que obtienen un bajo porcentaje de coincidencia con las competencias identificadas en el marco de la cuarta revolución industrial (por protección de datos no se colocan los nombres de las IES que se presentan en la *Tabla 26.*)

**Tabla 26**

*Casos de programas de ingeniería que tienen bajo puntaje de coincidencia con competencias identificadas en el marco de la cuarta revolución industrial*

Programa académico	Perfil egresado
Ingeniería de producción –IES 1	<p><i>“El ingeniero de producción se puede desempeñar en la industria de transformación de bienes y en empresas de servicio en áreas como:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><i>- administración y finanzas</i></li> <li><i>- producción e ingeniería de planta</i></li> <li><i>- planeación y aseguramiento de la calidad</i></li> <li><i>- desarrollo e ingeniería de materiales</i></li> <li><i>- gestión estratégica organizacional</i></li> <li><i>- gestión y desarrollo del talento humano</i></li> <li><i>- diseño y desarrollo de productos</i></li> <li><i>- investigación aplicada e innovación</i></li> <li><i>- logística integral.”</i></li> </ul>
Ingeniería industrial - IES 2	<p><i>“El ingeniero industrial es un profesional capaz de mejorar la forma de una empresa a partir de la dirección de operaciones, perfeccionando continuamente toda actividad de manufactura o de servicio en donde un proceso tenga lugar. debe evaluar las condiciones de higiene, seguridad y ambiente en los procesos de producción de bienes y servicios, analizando sistemáticamente los métodos de trabajo. Además, debe determinar la necesidad de espacio, recursos técnicos, humanos y financieros para lograr optimizar los servicios a través de la calidad total de los productos.”</i></p>
Ingeniería de sistemas - IES 3	<p><i>“Como ingeniero de sistemas, podrás trabajar de forma eficiente con las necesidades y requerimientos de un software y hardware, teniendo un gran conocimiento para medir su calidad a través de las normas ya vigentes.”</i></p>
Ingeniería de sistemas - IES 4	<p><i>“El programa de ingeniería de sistemas se caracteriza por formar ingenieros con competencias integrales, y además el aspirante de ingeniería de sistemas debe ser una persona con las siguientes características:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><i>- creatividad, imaginación e ingenio.</i></li> <li><i>- buena disposición para trabajo en equipo.</i></li> <li><i>- capacidad de organización, los métodos y las estrategias para la resolución de problemas.</i></li> <li><i>- intereses en el análisis y el estudio de escenarios basados en la razón y la lógica.</i></li> <li><i>- buen desempeño en pruebas de estado en las áreas de matemáticas, lenguaje y física.”</i></li> </ul>

*Nota.* En la tabla se presentan cuatro (4) casos de perfiles de programas profesionales de ingeniería en Colombia, que a corte 2023 tienen un bajo puntaje de coincidencia con competencias identificadas en el marco de la cuarta revolución industrial. Por protección de datos de las IES no se colocan los nombres, sino que en la primera columna junto a la denominación del programa académico se agrega una convención: “- IES y un consecutivo”. En la segunda columna se evidencia el perfil original del caso presentado.

**c) Resultados de la identificación de las variables asociadas a los procesos y a la calidad en las IES:** para el diseño del modelo cuantitativo de procesos propuesto, se incorporarán las variables identificadas y descritas en la *Tabla 19* del presente documento, que son:

- [M] *metodologías de calidad* (cantidad de métodos o técnicas para monitorear el cumplimiento de requerimientos de los stakeholders y asegurar la calidad al interior de los procesos.)
- [H] *herramientas de mejora continua* (cantidad de metodologías, técnicas o herramientas para el mejoramiento continuo de los procesos.)
- [Z] *gestión por procesos* (cantidad de certificaciones de gestión por procesos.)
- [C] *acreditaciones por competencias* (evaluación dicotómica binaria. Donde (1) representa que tiene acreditación de aprendizaje por competencias y (0) representa que no tiene acreditación de aprendizaje, analizada por cada programa profesional de ingeniería ofertado por la IES)
- [X] *acreditación de alta calidad* (evaluación dicotómica binaria. Donde (1) representa que tiene acreditación de alta calidad y (0) representa que no tiene acreditación de alta calidad, analizada por cada programa profesional de ingeniería ofertado por la IES)
- [S] *sector* (evaluación dicotómica binaria. Donde (1) representa IES privada y (0) representa IES pública).

- **[P]:** *número de coincidencias de palabras claves* (proviene del cruce de las bases de datos consolidadas en la **Fase I:** “*competencias desarrolladas por los programas de ingeniería de las IES*” versus “*competencias demandadas sector empresarial.*”)

Estas variables se analizan al interior del modelo de procesos propuesto, para identificar la significancia de cada una de ellas con respecto a la variable de respuesta **[Y]**, la cual está asociada al cumplimiento de competencias requeridas por el sector empresarial en el marco de la cuarta revolución industrial.

Para poder operar el modelo cuantitativo de procesos, se requiere generar un desdoblamiento de complejidad para el caso de las variables **[M]**, **[H]** y **[Z]**, desagregándolas en un segundo nivel de sub-variables ( $x_{ij}$ ), así:

- **[M]** *metodologías de calidad:*
  - Certificación ISO 9001 ( $x_{i1}$ )
  - Lean Manufacturing ( $x_{i2}$ )
  - Six Sigma ( $x_{i3}$ )
  - Propios de la empresa ( $x_{i4}$ )
- **[H]** *herramientas de mejora continua*
  - Herramientas de planeación de calidad ( $x_{i5}$ ). Son aquellas herramientas asociadas al seguimiento de los indicadores de gestión, tales como tableros estratégicos de gestión (ejemplos: tableros como Balanced Score Card o Hoshin Kanri.)
  - Herramientas de ejecución de calidad ( $x_{i6}$ ). Son aquellas herramientas asociadas a la calidad al interior de los procesos de los programas de ingeniería, por ejemplo: círculos de calidad, eventos kaizen (de mejora continua) y/o acciones preventivas.

- Herramientas de control y verificación de calidad ( $x_{i7}$ ). Son aquellas herramientas asociadas al seguimiento y aseguramiento de los requisitos de los stakeholders, tales como: muestreo estadístico, diagramas de causa - efecto, matrices de riesgo y/o seguimiento hallazgos de auditorías.
- [Z] *gestión por procesos*
  - Implementación de tableros de gestión automatizados (tipo: Power Bi-Power Pivot y/o Tableau) ( $x_{i8}$ )
  - Implementación de herramientas de workflow (con software) ( $x_{i9}$ )
  - Implementación de ERP (Enterprise Resource Planning) ( $x_{i10}$ )
  - Procesos documentados (tipo: procedimientos, instructivos y/o manuales) ( $x_{i11}$ )
  - Implementación del proceso de auditorías ( $x_{i12}$ )
  - Implementación del proceso de peticiones, quejas, reclamos y sugerencias (PQRS) ( $x_{i13}$ )
  - Implementación del proceso de capacitación y entrenamiento al personal que opera los procesos académicos y administrativos ( $x_{i14}$ )

Las variables [C], [X], [P] y [S] al estar en forma cuantitativa, no requieren de sub-variables ( $x_{ij}$ ), ya que se incorporan de manera directa al en el modelo de procesos propuesto.

Las sub-variables ( $x_{ij}$ ) estan representadas cada una de ellas por una escala de valoración numérica de 0 a 4 (siendo (0) la valoración más baja y (4) la más alta, tal como se muestra en la **Tabla 27**. Donde se detalla la puntuación asignada para la valoración al interior del modelo de procesos propuesto.

**Tabla 27**

*Valoración de las sub-variables ( $x_{ij}$ )*

Criterios de valoración		Valoración	Sub-variables ( $x_{ij}$ )	Variables asociadas a los ejes de la investigación
-	Tiene certificación	4	Certificación ISO 9001 ( $x_{i1}$ )	<b>Metodologías de calidad: [M]</b>
-	En proceso de consecución de la certificación	3		
-	Certificación inactiva	2		
-	No es de su interés o no conoce la certificación	0		
-	Tiene certificación	4	Certificación Lean Manufacturing ( $x_{i2}$ )	
-	En proceso de consecución de la certificación	3		
-	Certificación inactiva	2		
-	No es de su interés o no conoce la certificación	0		
-	Tiene certificación	4	Certificación Six Sigma ( $x_{i3}$ )	
-	En proceso de consecución de la certificación	3		
-	Certificación inactiva	2		
-	No es de su interés o no conoce la certificación	0		
-	Tiene certificación en uso	4	Certificación propia de la empresa ( $x_{i4}$ )	
-	En proceso de implementación de la certificación	3		
-	Certificación inactiva (quedó en estado hold)	2		
-	No es de su interés o no conoce la certificación	0		
-	Tiene en uso un tablero estratégico de gestión (ejemplos: tableros como Balanced Score Card o Hoshin Kanri)	4	Herramientas de planeación de calidad ( $x_{i5}$ )	
-	En proceso de desarrollo o de implementación	3		
-	Lo tiene implementado pero con oportunidades de mejora significativas	2		
-	No es de su interés o no lo conoce	0		
-	Tiene en uso: círculos de calidad, eventos kaizen (de mejora continua) y/o acciones preventivas.	4	Herramientas de ejecución de calidad ( $x_{i6}$ )	<b>Herramientas de mejora continua: [H]</b>
-	En proceso de desarrollo o de implementación	3		
-	Lo tiene implementado pero con oportunidades de mejora significativas	2		
•	No es de su interés o no lo conoce	0		
•	Tiene en uso: muestreo estadístico, diagramas de causa - efecto, matrices de riesgo y/o seguimiento hallazgos de auditorías.	4	Herramientas de control y verificación de calidad ( $x_{i7}$ )	
•	En proceso de desarrollo o de implementación	3		

Criterios de valoración	Valoración	Sub-variables ( $x_{ij}$ )	VARIABLES ASOCIADAS A LOS EJES DE LA INVESTIGACIÓN
• Lo tiene implementado pero con oportunidades de mejora significativas	2		<b>Gestión por procesos [Z]</b>
• No es de su interés o no lo conoce	0		
• Ya está implementado (tipo: Power Bi- Power Pivot y/o Tableau)	4		
• En proceso de implementación	3	Tableros de gestión automatizados ( $x_{i8}$ )	
• Lo tiene implementado pero con oportunidades de mejora significativas	2		
• No es de su interés o no lo conoce	0		
• Ya está implementado (con software)	4		
• En proceso de implementación	3	Implementación de herramientas de workflow ( $x_{i9}$ )	
• Lo tiene implementado pero con oportunidades de mejora significativas	2		
• No es de su interés o no lo conoce	0		
• Ya está implementado	4		
• En proceso de implementación	3	Implementación de un ERP (Enterprise Resource Planning) ( $x_{i10}$ )	
• Lo tiene implementado pero con oportunidades de mejora significativas	2		
• No es de su interés o no lo conoce	0		
• Ya está implementado (tipo: procedimientos, instructivos y/o manuales)	4		
• En proceso de implementación	3	Procesos documentados ( $x_{i11}$ )	
• Lo tiene implementado pero con oportunidades de mejora significativas	2		
• No es de su interés o no lo conoce	0		
• Ya está implementado	4		
• En proceso de implementación	3	Implementación del proceso de auditorías ( $x_{i12}$ )	
• Lo tiene implementado pero con oportunidades de mejora significativas	2		
• No es de su interés o no lo conoce	0		
• Ya está implementado	4		
• En proceso de implementación	3	Implementación del proceso de peticiones, quejas, reclamos y sugerencias (PQRS) ( $x_{i13}$ )	
• Lo tiene implementado pero con oportunidades de mejora significativas	2		
• No es de su interés o no lo conoce	0		
• Ya está implementado	4	Implementación del proceso de capacitación y entrenamiento al personal	
• En proceso de implementación	3		

Criterios de valoración	Valoración	Sub-variables ( $x_{ij}$ )	Variables asociadas a los ejes de la investigación
<ul style="list-style-type: none"> <li>Lo tiene implementado pero con oportunidades de mejora significativas</li> </ul>	2	que opera los procesos ( $x_{i14}$ )	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Tiene acreditación de aprendizaje por competencias</li> </ul>	1		
<ul style="list-style-type: none"> <li>No es de su interés o no lo conoce</li> </ul>	0		
<ul style="list-style-type: none"> <li>Tiene acreditación de aprendizaje por competencias</li> </ul>	1		Acreditaciones por competencias: [C]
<ul style="list-style-type: none"> <li>No tiene acreditación de aprendizaje por competencias</li> </ul>	0		
<ul style="list-style-type: none"> <li>Tiene acreditación de alta calidad</li> </ul>	1		Acreditación de alta calidad: [X]
<ul style="list-style-type: none"> <li>No tiene acreditación de alta calidad</li> </ul>	0		
<ul style="list-style-type: none"> <li>IES privada</li> </ul>	1		Sector: [S]
<ul style="list-style-type: none"> <li>IES pública</li> </ul>	0		

*Nota.* En la tabla se detalla la puntuación asignada para la valoración para cada una de las variables que se incorporan al modelo de procesos propuesto. En la primera columna se presenta los criterios de valoración. En la segunda columna se presenta la puntuación para cada criterio de valoración (siendo 0 el valor más bajo y 4 el valor más alto; para el caso de valoraciones dicotómicas 0 asignado al valor bajo y 1 al valor alto.) En la tercera columna se encuentran las Sub-variables ( $x_{ij}$ ) que provienen de la desagregación de las herramientas, técnicas o metodologías utilizadas por cada uno de los autores identificados los ejes de conceptualización detallados en la **Tabla 19** (*Consolidación de variables identificadas en los ejes de conceptualización de la investigación*) y en la cuarta columna se visualizan las variables (cada una de ellas tiene la letra que la representa al interior del modelo (la asignación de las letras para cada variable no obedece algún patrón, se asignó de manera arbitraria.)

**Resultados de la fase 2. Medición (puntuación)**

**Resultados de la puntuación de coincidencia de competencias requeridas por el sector empresarial y las desarrolladas por el sector académico:** para poder obtener el resultado de la valoración inicial para cada una de las 159 IES del presente estudio, se ejecutan las siguientes dos etapas:

- Etapas 1:** se calcula la variable [P]: “*número de coincidencias de palabras claves por programa académico de una IES*”. (La variable [P] es única por cada programa académico de una IES.)

El valor de la variable [P] se obtiene del número de coincidencias obtenidas por cada uno de los programas de ingeniería posterior al cruce de las dos bases de datos identificadas en la *Fase 1* (“competencias requeridas por el sector empresarial” y las “competencias desarrolladas por los programas de ingeniería de las IES”).

**Etapa 2:** se calcula la variable [P’ (*p prima*)]: “número promedio de coincidencias de palabras clave por IES”. (La variable [P’] es el promedio de los resultados de las variables [P] obtenidos por los programas académicos y será el valor obtenido como puntaje de la IES analizada.) Este cálculo se obtiene, a partir de la aplicación de la fórmula de la *Ecuación 2*.

La obtención del valor de la variable [P’] permite realizar el primer ordenamiento (de mayor a menor) de las IES, dejando en los primeros puestos a las IES que tengan un mayor valor en las coincidencias posterior cruce de información.

**Ecuación 2**

*Fórmula de cálculo inicial para las puntuaciones de las IES*

$$\bar{P}' = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i$$

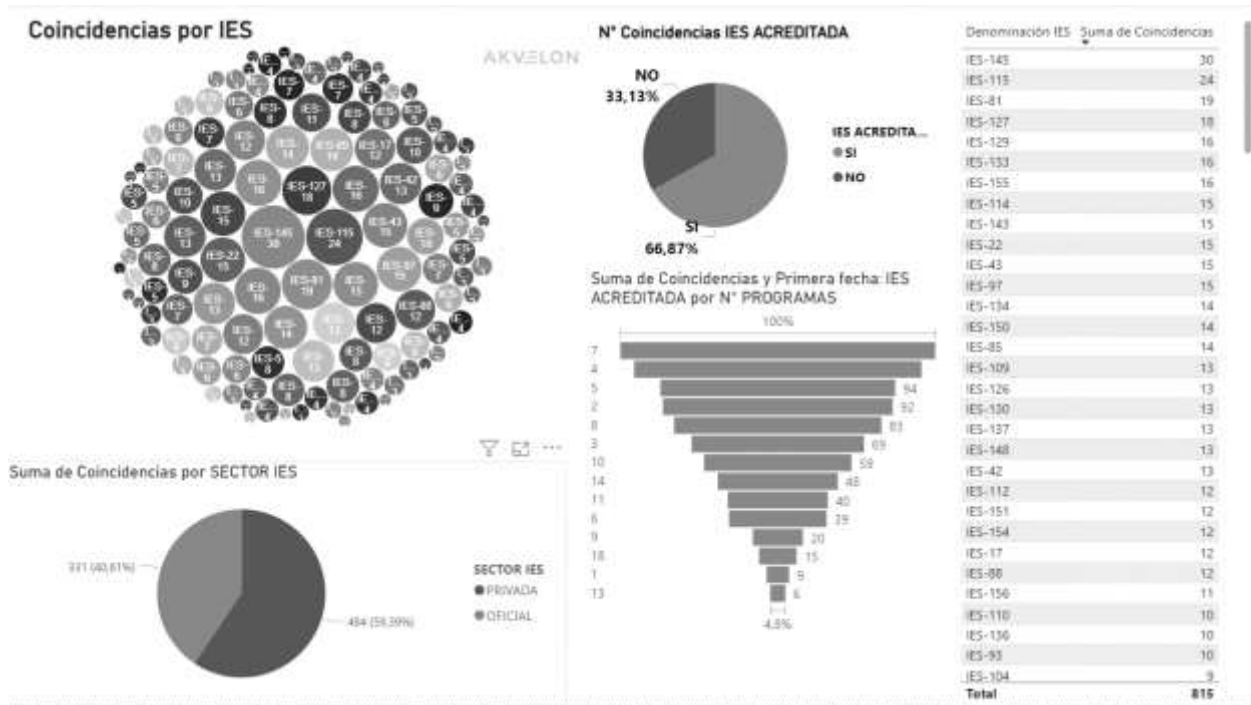
*Nota.* La ecuación fue desarrollada por el autor de esta investigación en el año 2023. Donde:

- **n**= es el número de programas de ingeniería a nivel de pregrado de una misma IES
- **P<sub>i</sub>**= número de coincidencias de palabras asociadas a las competencias por programa académico de una IES

Los resultados obtenidos para la variable [P’] para cada una de las 159 IES que ofertan programas académicos de ingeniería a nivel de pregrado en Colombia a corte 2023, se presentan, a través de un tablero utilizando el software de Microsoft Power Bi que ilustra las posiciones de las IES de mayor a menor tal y como se ilustra en la *Figura 26*.

Figura 26

Tablero Power Bi del modelo de procesos propuesto



Nota. En la figura se ilustra el tablero de los resultados para la variable [P] “número promedio de coincidencias de palabras clave por IES” para cada una de las IES que oferta programas académicos de ingeniería a nivel de pregrado en Colombia a corte 2023. El tablero fue elaborado por el autor de esta investigación utilizando el software de Power Bi de Microsoft Office, el cual se compone de cinco (5) gráficas, que son desarrolladas en el presente documento. Por derecho a la confidencialidad de la información, los nombres de las IES se renombraron con la nomenclatura compuesta por IES y seguido de un número consecutivo, el listado original se encuentra en custodia de la investigación para uso explícito académico.

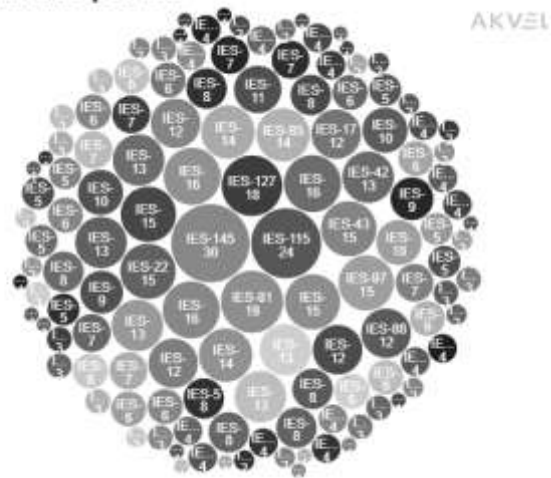
En el tablero de Power Bi se presentan los resultados obtenidos por cada una de las IES, como se evidencia en la **Figura 26**, donde se puede observar que la IES con mayor valoración de la variable [P] “número promedio de coincidencias de palabras clave por IES” es la IES-145 con una puntuación de 30 coincidencias, es del sector público y cuenta con 14 programas de ingeniería, como se evidencia en la **Figura 27**.

**Figura 27**

*Puntuación variable [P'] para cada una de las IES*

Denominación IES	Suma de Coincidencias
IES-145	30
IES-115	24
IES-81	19
IES-127	18
IES-129	16
IES-133	16
IES-155	16
IES-114	15
IES-143	15
IES-22	15
IES-43	15
IES-97	15
IES-134	14
IES-150	14
IES-85	14
IES-109	13
IES-126	13
IES-130	13
IES-137	13
IES-148	13
IES-42	13
IES-112	12
IES-151	12
IES-154	12
IES-17	12
IES-88	12
IES-156	11
IES-110	10
IES-136	10
IES-95	10
IES-104	9
<b>Total</b>	<b>815</b>

**Coincidencias por IES**

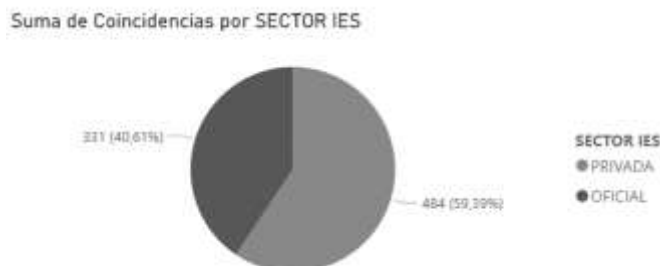


*Nota.* En la figura se presenta en primera columna la denominación asignada para cada IES y con la que se representa al interior del modelo de procesos propuesto. En la segunda columna se evidencia la puntuación obtenida por cada IES para la variable [P'] “*número promedio de coincidencias de palabras clave por IES.*” En gráfico de la derecha denominado: “*Bubble name*”, permite identificar de manera gráfica la magnitud del puntaje obtenido por cada IES, al ser más grande la esfera de la IES corresponde directamente proporcional a tener un mayor puntaje de la variable[P']. El rango de medición (escala discreta positiva) es: mínimo puntaje= 0 puntos (no genera ninguna coincidencia) y el máximo puntaje = 66 puntos (Punto óptimo del modelo.)

También se puede evidenciar en la **Figura 28** que 59,39% de las IES (*el total de IES analizado es de 159*) son del sector privado, logrando conjuntamente entre las IES privadas obtener un puntaje de coincidencias de 484 puntos del total que fue de 815 puntos.

**Figura 28**

*Análisis de la variable [S] Sector de las IES (Privado y Público)*

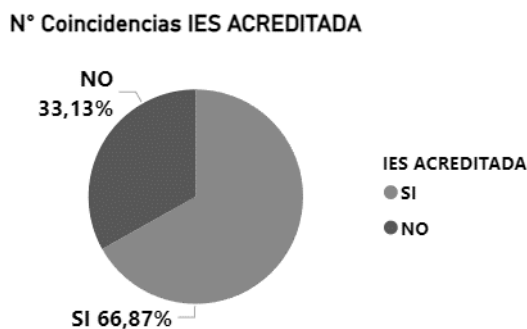


*Nota.* En la figura se puede evidenciar los porcentajes de participación obtenidos por las IES privadas y públicas sobre la variable en análisis: [P] “*número promedio de coincidencias de palabras clave por IES.*”. El total de IES analizadas en el estudio fue de 159 a corte del año 2023. El total de puntuación de todas las IES tanto públicas como privadas fue de 815 puntos.

Igualmente, el tablero Power Bi permite evidenciar en la **Figura 29** que el 66,87% de las IES están acreditadas de alta calidad y logran un puntaje acumulado entre ellas de 545 coincidencias del total que fue de 815 coincidencias.

**Figura 29**

*Análisis de la variable [X] acreditación de alta calidad (Sí y No)*



*Nota.* En la figura se puede evidenciar los porcentajes de participación obtenidos por las IES que están acreditadas de alta calidad y las no acreditadas de alta calidad sobre la variable en análisis: [P] “*número promedio de coincidencias de palabras clave por IES.*”. El total de IES analizadas en el estudio fue de 159 a corte del año 2023. El total de puntuación de todas las IES tanto públicas como privadas fue de 815 puntos.

**Figura 30**

*Análisis de la cantidad de programas por cada IES y nivel de coincidencia*



*Nota.* En la figura se puede visualizar en el gráfico de embudo. Al lado izquierdo se ubica la cantidad de programas ofertados de ingeniería a nivel de pregrado por las IES en Colombia a corte del año 2023. En el lado derecho de la gráfica se puede evidenciar el valor promedio del puntaje obtenido por las IES para la variable [P] “*número promedio de coincidencias de palabras clave por IES.*”

**Resultados de la fase 3. Análisis (evaluar la significancia -ANOVA)**

**Resultados del análisis de varianza (ANOVA) para las variables del modelo de procesos propuesto:** en este acápite se presentan los resultados asociados al análisis de varianza (ANOVA) de las variables propuestas para el modelo de procesos propuesto en la investigación, con la finalidad de validar el nivel de significancia de cada una de las variables, con respecto a la variable de respuesta final del modelo que se denomina: [Y] “*puntuación programa de ingeniería por IES*”.

Para desarrollar el análisis de varianza a las variables y sub-variables ( $x_{ij}$ ) identificadas y caracterizadas en la *Fase 1* y que son detalladas en la *Tabla 27*, se realiza por medio del software estadístico de Minitab versión 2017 (se trabaja con este software al contar con las tres interfaces

de gestión de datos: visualización gráfica, visualización paso a paso de los resultados obtenidos y de su procesamiento estadístico), utilizando un nivel de confianza del 95% (se trabaja con este nivel, ya que el intervalo de confianza abarca el valor verdadero entre el 95% de 100 % de los análisis realizado (Sthle & Wold, 1989) ). La prueba estadística de aceptación o rechazo de la hipótesis nula ( $h_0$ ) que indica que sí es significativa la variable analizada, se realiza mediante el resultado obtenido para la probabilidad (p-value) del F estadístico utilizado en el modelo de análisis de varianza de ANOVA.

*Nota.* Al momento de obtener un valor del p-value menor al alpha ( $\alpha = 0,05$  que es el complemento del nivel de confianza definido de 0.95), se aprueba la hipótesis nula ( $h_0$ ) para la variable en análisis. (Stoker et al., 2020)

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para cada una de las variables y sub-variables ( $x_{ij}$ ):

- Análisis de significancia para la variable *Sector* [S] (IES pública o privada). En la **Tabla 28**, se puede evidenciar la validación de la prueba de hipótesis nula ( $h_0$ ) que indica que la variable [S] es significativa para la variable de respuesta [Y], con un P-value = 0.001 que es menor al  $\alpha = 0,05$ .

**Tabla 28**

*Prueba de ANOVA variable Sector [S]*

Variable	Grados de libertad	Sumatoria de cuadrados (SS)	Media de la varianza de sumatoria de cuadrados (MS)	F estadístico	P-value
<i>Sector</i> [S]	1	709,3	709,35	11,29	<b>0,001</b>
Error	150	9.422,6	62,82		
Total	151	10.132,0			

*Nota de probabilidad.* Se puede observar en la última columna la probabilidad P-value= 0.001 utilizando la distribución F estadístico y el método de sumatoria de cuadrados para el análisis de varianza de la variable Sector [S].

- Análisis de significancia para la variable [X] *acreditación de alta calidad* (IES acreditada de alta calidad o no acreditada). En la **Tabla 29** se puede evidenciar la validación de la prueba de hipótesis nula ( $h_0$ ) que indica que la variable [X] es significativa para la variable de respuesta [Y], con un P-value = 0.027 que es menor al  $\alpha = 0,05$ .

**Tabla 29**

*Prueba de ANOVA variable acreditación de alta calidad [X]*

Variable	Grados de libertad	Sumatoria de cuadrados (SS)	Media de la varianza de sumatoria de cuadrados (MS)	F estadístico	P-value
[X] <i>acreditación de alta calidad</i>	1	327,1	327,14	5,0	<b>0,027</b>
Error	150	9.804,8	65,37		
Total	151	10.132,0			

*Nota de probabilidad.* Se puede observar en la última columna la probabilidad P-value= 0.027 utilizando la distribución F estadístico y el método de sumatoria de cuadrados para el análisis de varianza de la variable acreditación de alta calidad [X]

- Análisis de significancia para las sub-variables ( $x_{ij}$ ). En la **Tabla 30** se puede evidenciar la validación de la prueba de hipótesis nula ( $h_0$ ) que indica que las sub-variables:
  - Certificación ISO 9001 ( $x_{i1}$ )
  - Lean Manufacturing ( $x_{i2}$ )
  - Certificación propia de la empresa ( $x_{i4}$ ), son significativas para la variable de respuesta [Y], al tener un valor de P-value menor que alpha ( $\alpha = 0,05$ ). Para el caso de la su-

variable ( $x_{i10}$ ) “implementación de un ERP” no es significativa al ser mayor el valor de P-value con respecto al alpha.

**Tabla 30**

*Prueba de ANOVA de las sub-variables ( $x_{ij}$ )*

Variable	Grados de libertad	Sumatoria de cuadrados (SS)	Media de la varianza de sumatoria de cuadrados (MS)	F estadístico	P-value
$X_{i1}$	3	195,17	65,056	9,44	0,049
$X_{i2}$	2	200,65	100,323	14,56	0,029
$X_{i4}$	2	145,00	72,500	10,52	0,044
$X_{i10}$	2	82,58	41,292	5,99	0,090
Error	3	20,67	6,889		
Total	12	1.712,77			

*Nota.* Para el caso de las variables:  $X_{i3}$ ;  $X_{i5}$ ;  $X_{i6}$ ;  $X_{i7}$ ;  $X_{i8}$ ;  $X_{i9}$ ;  $X_{i11}$ ;  $X_{i12}$ ;  $X_{i13}$ ;  $X_{i14}$  descritas y detalladas en la **Figura 28**, debido a que la mayoría de las respuestas de las IES encuestadas por medio del instrumento de recolección de información aplicado, fueron respuestas asociadas a la valoración igual a cero (0) [*no lo conoce o no lo tiene implementado*], cuantitativamente el modelo de análisis de varianza se queda sin información suficiente para poder estimar y realizar el análisis de ANOVA de estas sub-variables. Desde un punto de vista analítico, cuando una variable no presenta suficiente información para ser incluida en el análisis cuantitativo, indica claramente su mínima importancia en el desarrollo de la investigación.

*Nota de probabilidad.* Se puede observar en la última columna la probabilidad P-value utilizando la distribución F estadístico y el método de sumatoria de cuadrados para el análisis de varianza de las variables:

- Certificación ISO 9001 ( $x_{i1}$ ) = 0,049
- Lean Manufacturing ( $x_{i2}$ ) = 0,029
- Certificación propia de la empresa ( $x_{i4}$ ) = 0,044
- Sistema de ERP ( $x_{i10}$ ) = 0,090

**Regresión lineal múltiple obtenida del modelo de procesos:** se visualiza en la

**Ecuación 3** la regresión lineal múltiple obtenida con el análisis de ANOVA de las sub-variables ( $x_{ij}$ ), que es un insumo para el modelo cuantitativo de procesos propuesto, al ser una ecuación

predictiva del modelo determinístico de la variable de respuesta [Y], que permite identificar la configuración óptima de variables que logre el mayor puntaje para la IES, como se ilustrará en la **Figura 32**.

**Ecuación 3**

*De la regresión lineal múltiple de las variables (x<sub>ij</sub>)*

$$Y = 28,36 + 5,75 X_{1_0} - 4,25 X_{1_2} - 9,25 X_{1_3} + 7,75 X_{1_4} - 1,22 X_{2_0} - 8,89 X_{2_3} + 10,11 X_{2_4} - 12,33 X_{4_0} + 11,67 X_{4_3} + 0,67 X_{4_4} - 1,56 X_{10_2} - 6,56 X_{10_3} + 8,11 X_{10_4}$$

<sup>a</sup> *Nota.* En la ecuación se obtiene un coeficiente de determinación R<sup>2</sup> de 95,17%, correspondiente al resultado de la regresión lineal múltiple.

<sup>b</sup> *Nota.* En este caso, el grado de ajuste de la ecuación de regresión lineal múltiple es superior a 85%, indicando que es un modelo adecuado para la predicción.

<sup>c</sup> *Nota.* A partir del coeficiente de determinación R<sup>2</sup> de 95,17%, se calcula el coeficiente de correlación (r) de las variables con respecto a la variable de respuesta [Y], obteniendo un valor de: r = 0.9756

Se puede evidenciar la correlación de las variables analizadas en el modelo cuantitativo de procesos propuesto en la investigación al tener un coeficiente de correlación (r) de 0.9756.

Adicionalmente, se realiza la validación de normalidad (véase la **Figura 31**) de los datos utilizados en la regresión múltiple. Se utiliza la estimación de mínimos cuadrados incorporando los predictores asociados a las variables (x<sub>ij</sub>) uno por cada una de ellos, como se muestra en la **Ecuación 4**.

En el modelo de mínimos cuadrados se define la función [f (x)], que se representa por cada uno de los predictores (β) asociados a las variables (x<sub>ij</sub>), donde se presentan los valores de los coeficientes (β) que se estiman, a partir de la muestra (n) de las IES seleccionadas. Este método de estimación de mínimos cuadrados se calcula utilizando la **Ecuación 4**.

**Ecuación 4**

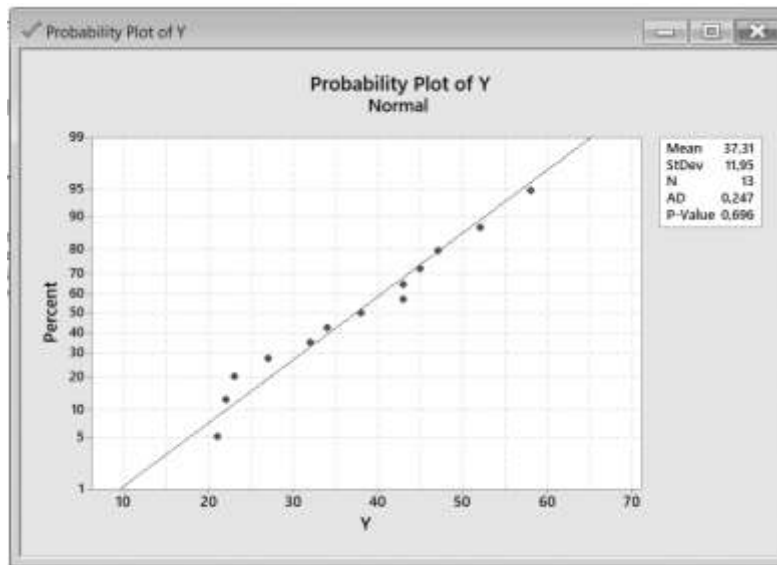
*Mínimos cuadrados*

$$\min \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{f}(x_i))^2$$

*Nota.* La ecuación relaciona los predictores ( $\beta$ ) con la variable de respuesta [Y]. Donde la función  $f(x)$  representa el valor esperado (media) de la variable de respuesta [Y] por cada valor de los  $X_i$ .

**Figura 31**

*Prueba de normalidad para los datos de la ecuación de regresión múltiple del modelo cuantitativo de procesos propuesto*



*Nota de probabilidad.* En la parte superior derecha de la figura se encuentra en el recuadro el valor P-value= 0.696 (calculado con un nivel de confianza del 95%) que al analizarlo con el complemento del nivel de confianza al alpha ( $\alpha$ )=0.05, se aprueba la normalidad de los datos analizados (13 registros de IES) para la validación de la prueba de normalidad en la ecuación de regresión múltiple, al ser P-value > ( $\alpha$ ).

Al tabular los resultados obtenidos de las IES encuestadas por medio del instrumento de recolección de información aplicado en conformidad a la ficha técnica de muestreo que se

presenta en la **Tabla 33**, se identifica el resultado óptimo para la variable de respuesta [Y] “puntuación programa de ingeniería por IES” que se presenta en la **Figura 32**.

El modelo cuantitativo de procesos propuesto en esta investigación tabula las sub-variables ( $x_{ij}$ ) y las variables identificadas anteriormente como significativas ( $x_{i1}$ ,  $x_{i2}$ ,  $x_{i4}$ , [X] y [C]):

- Certificación ISO 9001 ( $x_{i1}$ )
- Lean Manufacturing ( $x_{i2}$ )
- Certificación propia de la empresa ( $x_{i4}$ )
- Idealmente que cuenten con un sistema de ERP ( $x_{i10}$ ) para la operacionalización de

los procesos de las IES (pero no tiene mayor incidencia en la variable de respuesta [Y] al no ser significativa esta sub-variable)

- Variable [X] acreditación de alta calidad
- Variable [C] acreditaciones por competencias. Logrando así un valor óptimo

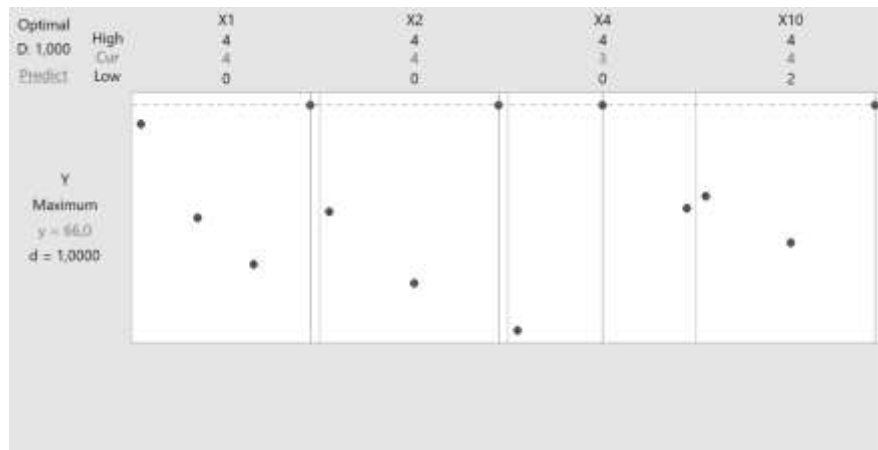
(máximo) para la variable de respuesta [Y] de 66 puntos con una desviación estándar de 1 punto para la IES con la configuración que se muestra en la **Figura 32**, en conformidad a la puntuación que puede tomar cada variable y sub-variable:

- ( $x_{i1}$ ) = 4 (*tiene certificación*)
- ( $x_{i2}$ ) = 4 (*tiene certificación*)
- ( $x_{i4}$ ) = 3 (*en proceso de consecución de la certificación*)
- ( $x_{i10}$ ) = 4 (*ya está implementado y funcionando*)
- Variable [X] = 1 (*tiene acreditación de alta calidad*)
- Variable [C] = 1 (*tiene certificación de aprendizaje por competencias*)

Es en este punto de la investigación que se demuestra el cumplimiento a la hipótesis número dos (2): “Al diseñar un modelo cuantitativo de procesos para las IES, será posible identificar la configuración óptima de variables para lograr el mayor grado de cumplimiento de las competencias demandadas por el sector empresarial en el marco de la cuarta revolución industrial”. Al evidenciar que la IES que incorpore la configuración óptima de las variables propuestas en el modelo ( $X_{i1}=4$ ,  $X_{i2}=4$ ,  $X_{i4}=3$ ,  $X_{i10}=4$ ,  $[x]=1$  y  $[c]=1$ ) tendrá una respuesta óptima de 66 puntos (con desviación estándar de +/- 1 punto) en las coincidencias asociadas a las competencias requeridas por el sector empresarial en el marco de las palabras claves asociadas a la cuarta revolución industrial, este puntaje se logra, a partir de la ecuación de regresión múltiple del modelo *Ecuación 3*.

**Figura 32**

*Ilustración de la respuesta óptima de las variables significativas*



*Nota de probabilidad.* En la parte media del margen de la izquierda de la figura, se encuentra el valor óptimo (mayor valor a encontrar) para la variable de respuesta [Y] = 66 puntos, el cual será obtenido a partir de la configuración de las sub-variables X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub>, X<sub>3</sub> y X<sub>10</sub> que fueron significativas en el análisis de ANOVA y que se presentan en la parte superior de la figura.



	0	15	18,5%
	2	0	0,0%
	3	4	4,9%
	4	62	76,5%
<b>Xi1</b>			0,0%
<b>Total general</b>		<b>81</b>	<b>100,0%</b>

	0	57	70,4%
	4	24	29,6%
<b>Xi2</b>			0,0%
<b>Total general</b>		<b>81</b>	<b>100,0%</b>

Variable: **Xi4**

<b>Certificación</b>			
<b>Propia de la empresa</b>			
<b>(Xi4)</b>			
	#	Frecuencia	
<b>Valoración por</b>	Coincidencias	relativa	
<b>variable: (4 puntaje</b>		(% )	
<b>máximo y 0 puntaje</b>			
<b>mínimo)</b>			
	0	14	17,3%
	3	4	4,9%
	4	63	77,8%
<b>Xi4</b>		<b>81</b>	<b>100,0%</b>

<sup>a</sup> Nota. En la tabla se presenta un fragmento del tablero ecualizador de las sub-variables ( $x_{ij}$ ) significativas, ya que el tablero completo se encuentra detallado en el presente documento en el **ANEXO 2**.

<sup>b</sup> Nota. Cada uno de los cuadrantes de la figura, representan una variable o una sub-variable que muestran el número de coincidencias con las palabras claves asociadas a las competencias requeridas por el sector industrial en el marco de la cuarta revolución industrial “#coincidencias”. En la tercera columna de cada cuadrante se muestran la frecuencia relativa en porcentaje de participación de cada uno de los puntajes obtenidos en cada variable y sub-variable en conformidad a los niveles establecidos (0 valor más bajo y 4 el valor más alto.) En la **Tabla 27** se presenta la valoración para cada una de las sub-variables ( $x_{ij}$ ), que corresponde a las convenciones numéricas de 0 a 4 por cada variable.

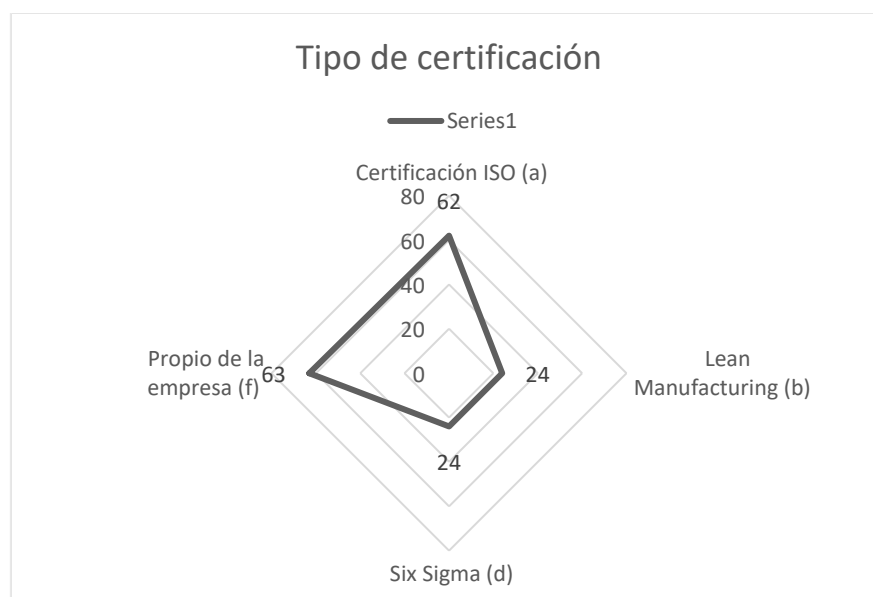
A partir de los resultados presentados en la anterior **Tabla 31**, se evidencia que si una IES quiere obtener el puntaje óptimo (máximo) de 66 puntos como se definió en la **Fase 3**, debe estar certificada en ISO 9001 ( $x_{i1}$ ), apalancado con un desarrollo de certificación propia de la IES ( $x_{i4}$ )

orientada al diseño y aplicación de herramientas de seguimiento y aseguramiento de la calidad de los procesos al interior de los programas académicos de ingeniería a nivel de pregrado (a la medida de las necesidades y recursos que dispone la IES), pero que le asegure el monitoreo y cumplimiento de los requerimientos del sector empresarial.

El tablero ecualizador también permite generar de manera gráfica los resultados presentados por cada una de las variables que se desean visualizar. Continuando con el análisis presentado en la **Tabla 31** del tablero ecualizador, se presenta un gráfico de tipo radial que ilustra las sub-variables significativas ( $X_{i1}$ ,  $X_{i2}$ , y  $X_{i4}$ ) identificadas en el modelo de procesos, como se visualiza en la **Figura 33**, logrando evidenciar nuevamente que las IES deben incorporar en su planeación estratégica la certificación ISO 9001 y el desarrollo de una certificación propia orientada el cumplimiento de requerimientos del sector empresarial (no requieren la certificación de metodologías de lean manufacturing ni de six sigma para cumplir de manera directa con las competencias demandadas en el marco de la cuarta revolución industrial.)

**Figura 33**

*Gráfica radial de representación de resultados de coincidencias por tipología de certificación*



<sup>a</sup> *Nota.* En el gráfico presenta en cada esquina del rombo una sub-variable así: parte superior (certificación ISO), en la parte inferior (Six Sigma), en la parte izquierda (propio de la empresa) y en la parte de la derecha (Lean Manufacturing.)

<sup>b</sup> *Nota.* La línea continua de color oscura representa la magnitud numérica en conformidad a los resultados procesados para cada sub-variable. Se recarga al cuadrante del rombo que tiene mayor puntaje la o las sub-variables.

**Resultado del diseño del modelo cuantitativo de procesos:** el modelo cuantitativo de procesos propuesto en la presente investigación es de tipo determinístico, ya que caracteriza las variables y sub-variables independientes ( $x_{ij}$ ) identificadas en los resultados de la *Fase I*, para poder optimizar (maximizar) la variable de respuesta [Y] “*puntuación programa de ingeniería por IES*”.

Variables independientes ( $x_{ij}$ ) del modelo de procesos propuesto:

- [M] *metodologías de calidad*
  - Certificación ISO 9001 ( $x_{i1}$ )
  - Lean Manufacturing ( $x_{i2}$ )
  - Six Sigma ( $x_{i3}$ )
  - Propios de la empresa ( $x_{i4}$ )
- [H] *herramientas de mejora continua*
  - Herramientas de planeación de calidad ( $x_{i5}$ )
  - Herramientas de ejecución de calidad ( $x_{i6}$ )
  - Herramientas de control y verificación de calidad ( $x_{i7}$ )
- [Z] *gestión por procesos*
  - Tableros de gestión automatizados ( $x_{i8}$ )
  - Implementación de herramientas de workflow ( $x_{i9}$ )
  - Implementación de ERP ( $x_{i10}$ )
  - Procesos documentados ( $x_{i11}$ )

- Implementación del proceso de auditorías ( $x_{i12}$ )
- Implementación del proceso de (PQRS) ( $x_{i13}$ )
- Implementación del Proceso de capacitación y entrenamiento al personal ( $x_{i14}$ )
- [C] *acreditaciones por competencias* ( $x_{i15}$ )
- [X] *acreditación de alta calidad* ( $x_{i16}$ )
- [S] *Sector* ( $x_{i17}$ )
- [P'] *número de coincidencias palabras clave asociadas industria 4.0 por cada*

IES (Entra al modelo directamente como [P'])

El modelo cuantitativo de procesos propuesto se ejecuta en dos momentos:

- **Momento 1**

Cálculo del promedio de respuestas de los programas por cada IES, a partir de las variables y sub-variables ( $x_{ij}$ ) identificadas y caracterizadas en los resultados de las **Fase 2 y 3**, donde se obtiene un valor promedio de la cantidad de respuestas desde los diferentes programas de ingeniería que oferta una misma IES, utilizando la **Ecuación 5**.

**Ecuación 5**

*Fórmula del promedio de respuestas de los programas por cada IES*

$$\bar{M} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_{i1} + x_{i2} + x_{i3} \dots + x_{in})$$

*Nota.* Esta fórmula fue desarrollada por el autor de esta investigación en el año 2023. Donde:

- **n**= cantidad de respuestas obtenidas desde los diferentes programas de ingeniería que oferta una IES
- **X<sub>i</sub>** = puntaje calificado para cada sub-variable y variable por IES

• **Momento 2**

Para hallar la variable de respuesta [Y] “*puntuación final de la IES*”, se toma el valor obtenido de la variable [M] del primer momento, a través de la *Ecuación 5*, y se le adiciona la variable [P’]: “*número de coincidencias palabras clave asociadas industria 4.0 por cada IES*” identificada y caracterizada en la *Fase 1*, tal como se ilustra en la *Ecuación 6*, que es la ecuación principal del modelo cuantitativo de procesos propuesto en la investigación.

**Ecuación 6**

*Fórmula variable de respuesta [Y] “puntuación final de la IES”*

$$Y = \left( \overline{M} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Xi1 + xi2 + xi3 \dots + xin) \right) + P'$$

*Nota.* Esta fórmula fue desarrollada por el autor de esta investigación en el año 2023. Donde:

- **n**= cantidad de respuestas obtenidas desde los diferentes programas de ingeniería que oferta una IES
- **X<sub>i</sub>**= puntaje calificado para cada subcategoría
- **M**= promedio de respuestas de los programas por cada IES
- **P’**= número de coincidencias palabras clave asociadas industria 4.0 por cada IES
- **Y**= puntuación final de la IES

**Resultados de la fase 5. Control (caso aplicado)**

En la *Tabla 32* se presenta el resumen de la cantidad de IES que pertenecen a la población en estudio en conformidad al objetivo de la presente investigación, tomando como fuente de información primaria las bases de datos de SNIES a corte 2023.

**Tabla 32**

*Cantidad de IES y de programas de ingeniería a nivel pregrado en Colombia a corte 2023*

Cantidad de programas académicos de ingeniería (nivel de pregrado)	IES Públicas	IES Privadas	Instituciones de educación superior (IES)
66	49	110	159

*Nota.* La tabla presenta la información de la cantidad de IES que ofertan a corte del año 2023 programas de ingeniería a nivel de pregrado en Colombia, discriminando por la cantidad de IES públicas y privadas.

En la **Tabla 33** se presenta la ficha técnica de la muestra seleccionada para la aplicación del instrumento de recolección de información, que es requerido para el procesamiento de los datos al interior del modelo de procesos propuesto.

**Tabla 33**

*Ficha técnica del muestreo utilizado en la investigación*

Característica de la variable en estudio	Detalle
Tipo de variable:	Discreta al ser cantidad de IES
Característica de la variable en estudio:	Cantidad de IES que ofertan programas de ingeniería a nivel de pregrado que están alineados a las competencias requeridas por el sector empresarial en el marco de la cuarta revolución industrial.
Población (N):	159 IES donde: - 49 son públicas - 110 privadas
Participación porcentual en la población:	30,82% son públicas 69,18% son privadas
<sup>a</sup> Proporción de la población estimada que contiene el atributo en estudio (p):	19,5%
Nivel de confianza	95,0%
Alpha ( $\alpha$ ):	5,0%
<sup>b</sup> Error de estimación (e)	0.2
Coeficiente de confianza - Estadístico de tablas (z):	1,96
Tamaño de muestra: (n)= $p*(1-p) / (e/z)^2$	16
Tamaño de muestra para cada segmento y tipo de muestreo a utilizar	Cantidad de IES para la toma de la muestra (n): 16 4 deben ser públicas 12 deben ser privadas

Característica de la variable en estudio	Detalle
	El método de muestreo utilizado para la selección de la muestra (n) es: <b>aleatorio simple</b> , al ser una población homogénea con respecto a la variable en estudio que son IES que ofertan programas de ingeniería a nivel de pregrado en Colombia.
	Fecha de aplicación del instrumento: entre los meses de abril y julio del año 2024

<sup>a</sup> *Nota de probabilidad:* la proporción de la población estimada que contiene el atributo (*p*) en estudio (número de coincidencias entre los requerimientos del sector empresarial en competencias en el marco de la cuarta revolución industrial y los perfiles de egresados de los programas académicos de ingeniería ofertados por las IES) se obtiene, a través de la consolidación de la base de datos y el cruce de información presentado en el **Eje 3.**, asociado a la conceptualización de los procesos y la calidad en las instituciones de educación superior (IES), logrando evidenciar el 19,5% de coincidencias entre los perfiles de egresado de las IES y las competencias requeridas por el sector empresarial.

<sup>b</sup> *Nota de probabilidad:* El error de estimación (0.2) utilizado para el cálculo de la muestra en la **Tabla 33**, se tomó a partir de una muestra piloto aplicada en el capítulo del libro que se desarrolló como resultado de la presente investigación “*Metodologías de Calidad Fundamentadas en Herramientas de Mejora Continua para Optimizar Procesos Académicos y Administrativos.*” (ISBN (impreso) 978-958-660-611-0 e ISBN (ePub) 978-958-660-612-7.) En este capítulo del libro se presentó un análisis cuantitativo por medio del coeficiente de correlación de Pearson para las variables asociadas a los requerimientos de los stakeholders, a partir de una muestra piloto, como se ilustra en la

**Tabla 34.**

**Tabla 34**

*Muestra piloto desarrollada en el capítulo de libro: “Metodologías de Calidad Fundamentadas en Herramientas de Mejora Continua para Optimizar Procesos Académicos y Administrativos.”*

Institución de educación superior (IES)	Programas académicos de ingeniería a nivel pregrado	Promedio estudiantes
Institución educativa (1)	3 Programas	372
Institución educativa (2)	2 Programas	203
Institución educativa ( 3)	5 Programas	1.263

Institución de educación superior (IES)	Programas académicos de ingeniería a nivel pregrado	Promedio estudiantes
Institución educativa (4)	4 Programas	1.250
<b>Total</b>		<b>3.088</b>

*Nota.* En la tabla se presentan las cuatro IES que hicieron parte de la muestra piloto presentada en el capítulo de libro “*Metodologías de Calidad Fundamentadas en Herramientas de Mejora Continua para Optimizar Procesos Académicos y Administrativos.*”

**Diseño del instrumento de recolección de información:** el diseño del instrumento se fundamentó en la escala de valoración definida para las variables y sub-variables descritas en la **Tabla 27**. Se utiliza la plataforma de Microsoft, a través de la aplicación de un *Forms*, para ser el canal de diligenciamiento del instrumento de recolección de información por parte de las IES de la muestra seleccionada (n) y definida en la **Tabla 33**. A continuación, se relaciona el código de visualización del instrumento en la **Figura 34**.

**Figura 34**

*Código QR del instrumento de recolección de información*



<sup>a</sup> *Nota.* La información consignada en el instrumento es utilizada únicamente con fines académicos al interior de la investigación (por confidencialidad no se presentarán los nombres de las IES, están salvaguardados por el investigador que desarrolla la tesis doctoral.)

<sup>b</sup> *Nota.* La fecha de aplicación del instrumento fue entre los meses de abril y julio del año 2024.

<sup>c</sup> *Nota.* La muestra a la que se aplicó el instrumento de recolección de información es la establecida en la ficha técnica del muestreo que se evidencia en la **Tabla 33**.

Es de resaltar que la última pregunta del instrumento de recolección de información es fuente de insumo continuo para contribuir a la base de datos de palabras claves asociadas a la investigación, así:

- **Pregunta (16)** “Colocar las palabras clave (separadas por guion al medio [-] asociadas a las competencias requeridas en el sector empresarial en el marco de la cuarta revolución industrial y que deben ser formadas desde los programas académicos de ingeniería en Colombia que usted considere relevantes.”

La validación de los resultados obtenidos mediante el instrumento de recolección de información aplicado a las IES de la muestra (véase la **Tabla 33**), se realiza mediante el coeficiente del Alfa de Cronbach. El cual se refiere a un coeficiente que evalúa entre cero (0) a uno (1) la fiabilidad de la información obtenida; donde (0) indica que no existe fiabilidad o que no tiene consistencia interna en los resultados obtenidos y (1) indica que existe una alta fiabilidad interna de los resultados obtenidos en el instrumento de recolección de información. Para que sean aceptados como fiables los resultados obtenidos del instrumento, estos deben estar con Alfa de Cronbach entre 0.8 y 1 (Oviedo et al., s/f).

La fórmula mediante la cual se calcula el coeficiente de validación del alfa de Cronbach es la de la varianza de las respuestas obtenidas mediante la aplicación del instrumento. Esta fórmula se presenta en la **Ecuación 7**.

### **Ecuación 7**

*Calculo del Alfa de Cronbach*

$$\alpha = \frac{k}{k - 1} * \left(1 - \frac{\sum Vi}{Vt}\right)$$

*Nota.* La fórmula presenta el cálculo del coeficiente de Cronbach, a partir del análisis de varianza de las respuestas obtenidas del instrumento de recolección (Cárdenas et al., s/f). Donde:

- $\alpha$ : Alfa de Cronbach
- k: número de respuestas con escala numérica
- Vi: varianza de cada respuesta del instrumento
- Vt: varianza total

Posterior validación del instrumento de recolección de información de la muestra de las IES definidas para el estudio de la investigación mediante el coeficiente de Cronbach, se obtiene un Alfa de Cronbach ( $\alpha$ ) de 0.85 (85%). Donde se puede inferir que la fiabilidad de las respuestas obtenidas es “alta”, al estar en el intervalo de [ fiabilidad alta: ente 0.8 y 1] de la escala de medición de Cronbach.

*Nota.* Los siguientes valores son el detalle de los datos obtenidos de la aplicación del Alfa de Cronbach al instrumento de recolección aplicado a las IES:

- $\alpha$ : Alfa de Cronbach: 0,85
- k: número de respuestas con escala numérica: 14
- $\sum Vi$ : varianza de cada respuesta del instrumento: 28,28
- Vt: varianza total: 131,75

**Corrida del modelo de procesos propuesto en la muestra seleccionada:** en la **Tabla 35** se presentan los resultados para las 16 IES seleccionadas en la muestra (n) con sus respectivos puntajes obtenidos para la variable de respuesta [Y] “*puntuación final de la IES*”, después de aplicar la **Ecuación 6**, que permite evidenciar la valoración final obtenida asociada al número de coincidencias con las competencias requeridas por el sector empresarial por parte de las IES.

**Tabla 35**

*Variable de respuesta [Y] “puntuación final de la IES” para la muestra (n) seleccionada de IES*

IES	Variable respuesta [Y]	Frecuencia relativa	Frecuencia relativa Acumulada
IES 5	58	10%	10%
IES 2	52	9%	19%
IES 14	52	9%	28%
IES 1	47	8%	36%
IES 3	45	8%	44%
IES 4	43	7%	51%
IES 9	43	7%	58%
IES 8	38	7%	65%
IES 6	34	6%	71%
IES 11	32	5%	76%
IES 16	31	5%	82%
IES 10	27	5%	86%

IES	Variable respuesta [Y]	Frecuencia relativa	Frecuencia relativa Acumulada
IES 7	23	4%	90%
IES 13	22	4%	94%
IES 12	21	4%	98%
IES 15	14	2%	100%
<b>Total</b>	<b>582</b>		

<sup>a</sup> *Nota.* Por confidencialidad no se colocan los nombres de las IES que se presentan en la tabla, se muestran con una denominación compuesta por las siglas de institución de educación superior IES y un número de consecutivo asignado a cada una de ellas. Los nombres se salvaguardan por el investigador con fines netamente académicos.

<sup>b</sup> *Nota.* En la tabla se presenta el resultado de cada una de las IES que componen la muestra definida para el estudio, con su correspondiente valor de frecuencia relativa (participación del valor obtenido por cada IES con respecto al valor total (“Total de puntos”) y en la última columna se presenta la frecuencia acumulada de las IES.

Es en este punto de la investigación que se demuestra el cumplimiento a la hipótesis número uno (1): “*Al identificar las variables que inciden en el cumplimiento de los requerimientos por competencias demandadas por el sector empresarial en el marco de la cuarta revolución industrial, se podrá cuantificar y clasificar las IES según su grado de cumplimiento*”. Se evidencia el cumplimiento de la hipótesis, la cual es demostrada en la **Tabla 35**, que muestra la aplicación del modelo cuantitativo de procesos, permitiendo la clasificación (de mayor a menor) grado de cumplimiento asociado al puntaje obtenido en la variable de respuesta [Y] “*puntuación final de la IES*” para cada una de las IES de la muestra (n) seleccionada. Teniendo presente que el modelo propuesto incorpora las variables identificadas como significativas en la **Fase 3** (análisis de significancia a través del modelo de varianza ANOVA.)

**Validación del modelo cuantitativo de procesos propuesto:** para la validación del modelo de procesos propuesto, se realiza la selección de dos IES, las cuales son seleccionadas de manera aleatoria dentro de las IES de la muestra representativa (16 IES) que se presentó en la **Tabla 33**.

Posteriormente se procede con la caracterización y análisis de los resultados obtenidos para las dos IES seleccionadas para la validación del modelo cuantitativo de procesos propuesto en la presente investigación así:

***Primera IES seleccionada para la validación del modelo cuantitativo de procesos***

Es la IES-151 del sector privado, que tiene su domicilio en la ciudad de Bogotá de Colombia, que oferta a corte del año 2024 los siguientes programas académicos de ingeniería a nivel de pregrado:

- Ingeniería industrial (programa acreditado de alta calidad)
- Ingeniería ambiental
- Ingeniería electrónica
- Ciencias de la Computación e Inteligencia Artificial (este programa no se tendrá

presente para el análisis, ya que hace poco tiempo (entre los años 2019 y 2020) se estructuró de cara a dar cumplimiento a las necesidades del mercado y como resultado se alinea como se evidencia en su denominación a la cuarta revolución industrial en un alto nivel.)

Luego se procede con la aplicación del instrumento de recolección de información presentado en la **Figura 34**, donde se registra la valoración por cada variable y sub-variable ( $x_{ij}$ ) para cada uno de los programas académicos de ingeniería del caso en estudio, como se evidencia en las columnas: tres, cuatro y cinco de la **Tabla 36**.

Cuando ya se tiene la valoración por cada variable y sub-variable ( $x_{ij}$ ) de cada uno de los programas, se procede a realizar la sumatoria por cada una de las columnas: tres, cuatro y cinco de la **Tabla 36**. Obteniendo las siguientes puntuaciones por programa académico:

- Ingeniería industrial: 37 puntos
- Ingeniería ambiental: 34 puntos

- Ingeniería electrónica: 33 puntos

Luego de tener los puntajes por cada uno de los programas de la IES, se procede a obtener el promedio que es la variable **[M]** de puntuación parcial para la IES utilizando la **Ecuación 5**, que es la variable intermedia para el modelo matemático de procesos propuesto; para el caso en estudio daría una media de 34.67, como se muestra en la **Ecuación 8**.

**Ecuación 8**

*Valor de la variable intermedia [M] para la IES-151*

$$M = \frac{37 + 34 + 33}{3} = 34.67 \text{ puntos}$$

*Nota.* Esta fórmula es la aplicación del promedio **[M]** de puntuación parcial para la IES utilizando como base la **Ecuación 5** descrita al interior del presente documento.

**Tabla 36**

*Puntaje obtenido por los programas académicos de la IES 151*

Sub-variables	Variables asociadas a los ejes de la investigación	Ingeniería Industrial	Ingeniería Ambiental	Ingeniería Electrónica
Certificación ISO 9001 (x <sub>i1</sub> )		4	4	4
Certificación Lean Manufacturing (x <sub>i2</sub> )	<b>Metodologías de calidad: [M]</b>	0	0	0
Certificación Six Sigma (x <sub>i3</sub> )		0	0	0
Certificación propio de la empresa (x <sub>i4</sub> )		0	0	0
Herramientas de planeación de calidad (x <sub>i5</sub> )		4	3	2
Herramientas de ejecución de calidad (x <sub>i6</sub> )	<b>Herramientas de mejora continua: [H]</b>	3	3	3
Herramientas de control y verificación de calidad (x <sub>i7</sub> )		4	3	3
Tableros de gestión automatizados (x <sub>i8</sub> )		3	3	3
Implementación de herramientas de workflow (x <sub>i9</sub> )	<b>Gestión por procesos [Z]</b>	1	1	1
Implementación de un ERP (x <sub>i10</sub> )		4	4	4

Sub-variables	Variables asociadas a los ejes de la investigación	Ingeniería Industrial	Ingeniería Ambiental	Ingeniería Electrónica
Procesos documentados (x <sub>i11</sub> )		3	3	3
Implementación del proceso de auditorías (x <sub>i12</sub> )		4	4	4
Implementación del proceso (PQRS) (x <sub>i13</sub> )		2	2	2
Implementación del proceso de capacitación (x <sub>i14</sub> )		3	3	3
Acreditaciones por competencias (x <sub>i15</sub> )		0	0	0
Acreditación de alta calidad (x <sub>i16</sub> )		1	0	0
Sector (x <sub>i17</sub> )		1	1	1
	<b>Sumatoria</b>	<b>37</b>	<b>34</b>	<b>33</b>

<sup>a</sup> Nota. Para los tres programas seleccionados en la IES-151 de validación del modelo cuantitativo de procesos propuesto, se evidencian las respuestas obtenidas, a través de la aplicación del instrumento de recolección de información presentado en la **Figura 34**.

<sup>b</sup> Nota. Para la recolección de información se aplicó el instrumento a los Directores Académicos y Decano de los programas de ingeniería seleccionados.

Con el valor obtenido del promedio [M] de puntuación parcial para la IES-151 del caso en estudio, se procede a encontrar la variable de respuesta [Y] “puntuación final de la IES”, utilizando la **Ecuación 6**, donde debemos hacer referencia a la variable [P’] “número promedio de coincidencias de palabras clave por IES”. El valor de la variable [P’] para la IES-151 es de 12 puntos, tal y como se muestra en la **Tabla 37**.

**Tabla 37**

*Zoom de la variable [P’] utilizada en la IES 151*

Programa:	TOTAL:
Número promedio de coincidencias [P’]	12 PUNTOS

Nota. En esta tabla se presentan los resultados de la variable [P’] “número promedio de coincidencias de palabras clave por IES” para cada uno de los programas académicos seleccionados en la IES de validación del modelo cuantitativo de procesos propuesto.

Posterior al cálculo de la **Ecuación 6**, se obtiene el valor para la variable de respuesta [Y] obteniendo un puntaje final para la IES del caso estudio de 47.67 puntos, posterior aplicación de la **Ecuación 9**.

**Ecuación 9**

*Resultado para la IES-151 del caso estudio*

$$[Y] = ([M] + [P']) = 34.67 + 12 = 46.67 \text{ puntos}$$

*Nota.* En la fórmula se presenta el resultado obtenido para la variable de respuesta del modelo cuantitativo de procesos [Y], esta fórmula toma de base la **Ecuación 6**.

**Segunda IES seleccionada para la validación del modelo cuantitativo de procesos**

Es la IES-13 del sector privado, que tiene su domicilio en la ciudad de Bogotá de Colombia, la cual oferta a corte del año 2025 los siguientes programas académicos de ingeniería a nivel de pregrado:

- Ingeniería industrial
- Ingeniería de software

Luego se procede con la aplicación del instrumento de recolección de información presentado en la **Figura 34**, donde se registra la valoración por cada variable y sub-variable ( $x_{ij}$ ) para cada uno de los programas académicos de ingeniería del caso en estudio, como se evidencia en las columnas: tres y cuatro de la **Tabla 38**.

Cuando ya se tiene la valoración por cada variable y sub-variable ( $x_{ij}$ ) de cada uno de los programas, se procede a realizar la sumatoria por cada una de las columnas: tres y cuatro de la **Tabla 38**. Obteniendo las siguientes puntuaciones por programa académico:

- Ingeniería industrial: 34 puntos
- Ingeniería de software: 34 puntos

Luego de tener los puntajes por cada uno de los programas de la IES, se procede a obtener el promedio [M] de puntuación parcial para la IES utilizando la **Ecuación 5**, que es la

variable intermedia para el modelo matemático de procesos propuesto; para el caso en estudio daría una media de 34 puntos, como se muestra en la *Ecuación 10*.

**Ecuación 10**

*Valor de la variable intermedia [M] para el caso IES-13*

$$M = \frac{34 + 34}{2} = 34 \text{ puntos}$$

*Nota.* Esta fórmula es la aplicación del promedio [M] de puntuación parcial para la IES-13 utilizando como base la *Ecuación 5* descrita al interior del presente documento.

**Tabla 38**

*Puntaje obtenido por los programas académicos de la IES- 13*

Sub-variables	Variables asociadas a los ejes de la investigación	Ingeniería Industrial	Ingeniería de software
Certificación ISO 9001 (x <sub>i1</sub> )		2	2
Certificación Lean Manufacturing (x <sub>i2</sub> )	<b>Metodologías de calidad: [M]</b>	0	0
Certificación Six Sigma (x <sub>i3</sub> )		0	0
Certificación propio de la empresa (x <sub>i4</sub> )		3	3
Herramientas de planeación de calidad (x <sub>i5</sub> )		3	3
Herramientas de ejecución de calidad (x <sub>i6</sub> )	<b>Herramientas de mejora continua: [H]</b>	3	3
Herramientas de control y verificación de calidad (x <sub>i7</sub> )		3	3
Tableros de gestión automatizados (x <sub>i8</sub> )		0	0
Implementación de herramientas de workflow (x <sub>i9</sub> )		3	3
Implementación de un ERP (x <sub>i10</sub> )	<b>Gestión por procesos [Z]</b>	3	3
Procesos documentados (x <sub>i11</sub> )		3	3
Implementación del proceso de auditorías (x <sub>i12</sub> )		3	3
Implementación del proceso (PQRS) (x <sub>i13</sub> )		4	4
Implementación del proceso de capacitación (x <sub>i14</sub> )		3	3
Acreditaciones por competencias (x <sub>i15</sub> )		0	0

Sub-variables	Variables asociadas a los ejes de la investigación	Ingeniería Industrial	Ingeniería de software
Acreditación de alta calidad ( $x_{i16}$ )		0	0
Sector ( $x_{i17}$ )		1	1
	<b>Sumatoria</b>	<b>34</b>	<b>34</b>

<sup>a</sup> Nota. Para los dos programas seleccionados en la IES-13 de validación del modelo cuantitativo de procesos propuesto, se evidencian las respuestas obtenidas, a través de la aplicación del instrumento de recolección de información presentado en la **Figura 34**.

<sup>b</sup> Nota. Para la recolección de información se aplicó el instrumento al encargado de los programas seleccionados.

Con el valor obtenido del promedio [**M**] de la puntuación parcial para la IES-13 del caso en estudio, se procede a encontrar la variable de respuesta [**Y**] “*puntuación final de la IES*”, utilizando la **Ecuación 6**, donde debemos hacer referencia a la variable [**P’**] “*número promedio de coincidencias de palabras clave por IES*”. El valor de la variable [**P’**] para la IES-13 es de 6 puntos, tal y como se muestra en la **Tabla 41**.

**Tabla 39**

*Zoom de la variable [**P’**] utilizada en la IES 13*

Programa:	TOTAL:
Número de coincidencias [ <b>P’</b> ]	<b>6 PUNTOS</b>

Nota. En esta tabla se presentan los resultados de la variable [**P’**] “*número promedio de coincidencias de palabras clave por IES*” para cada uno de los programas académicos seleccionados en la IES-13 de validación del modelo cuantitativo de procesos propuesto.

Para no afectar la coincidencia al momento de revisión de plagio del presente documento, solo se presenta a continuación los perfiles de egresado de los dos programas académicos que oferta la IES-13 (Ingeniería Industrial e Ingeniería de Software) a nivel de pregrado en ingeniería con las palabras que hicieron coincidencia con las competencias asociadas a la cuarta revolución industrial y que son el insumo para la variable [**P’**] en la *IES*”. Estas palabras que hacen coincidencia en los dos perfiles se marcan en negrilla y una línea sostenida en la parte inferior de la palabra.

Perfil del egresado Ingeniero de Software: (Puntaje obtenido: 5 puntos): “*Podrás destacar por tu dominio en lenguajes de programación como Java, Python y JavaScript. Tendrás experiencia en desarrollo de aplicaciones web y móviles, y manejo de bases de datos. Poseerás habilidades en metodologías ágiles, control de versiones y pruebas de software, complementadas con soft skills como la resolución de problemas, trabajo en equipo y adaptabilidad.” (Ingeniería Industrial - Uniempresarial, 2024)*

Perfil del egresado Ingeniero Industrial: (Puntaje obtenido: 1 punto): “*Como Profesional en Ingeniería Industrial: administrar y gestionar procesos de producción con eficiencia y calidad. Liderar áreas estratégicas como logística, gestión humana, costos y presupuestos, calidad y productividad, entre otras. Implementar mejoras continuas en la gestión de seguridad y salud en el trabajo. Aplicar metodologías avanzadas en marketing, finanzas y gestión empresarial. Aplicar tecnologías avanzadas como el modelado y la impresión 3D en el diseño y la producción.*”(Ingeniería de Software - Uniempresarial, 2024)

Posterior al cálculo de la variable [M] con la **Ecuación 10**, se obtiene el valor para la variable de respuesta [Y] obteniendo un puntaje final para la IES del caso estudio de 40 puntos, posterior aplicación de la **Ecuación 11**.

### **Ecuación 11**

*Resultado para la IES-13 del caso estudio*

$$[Y] = ([M] + [P']) = 34 + 6 = 40 \text{ puntos}$$

*Nota.* En la fórmula se presenta el resultado obtenido para la variable de respuesta del modelo cuantitativo de procesos [Y]. esta fórmula toma de base la **Ecuación 6**.

Es en este punto de la investigación que se demuestra el cumplimiento a la hipótesis número tres (3): *“Al tener un modelo cuantitativo de procesos, servirá como insumo para la planeación estratégica de los programas de ingeniería a nivel de pregrado de una IES, permeando el proyecto educativo del programa académico (PEP) para responder a las competencias demandadas por el sector empresarial en el marco de la cuarta revolución industrial”*. Al evidenciar en el caso estudio de la IES-151 que obtuvo un valor para la variable de respuesta [Y] de  $46.67 \approx 47$  puntos, con lo cual ocupa la posición número ocho dentro de las 159 IES que ofertan programas de ingeniería a nivel de pregrado en Colombia. La IES -151 busca estar en el top -5 de los primeros puestos, para lo cual permite incorporar un ajuste al interior de su Proyecto Educativo del Programa (PEP) de ingeniería industrial para ser el piloto dentro de la IES del caso de estudio. Dejando evidencia del ajuste propuesto para el perfil del egresado en la acta del comité académico del programa de ingeniería industrial del día 24 de mayo del 2024 (Ar et al., 2024), donde se incorporan la sugerencia de ajustar el perfil a las competencias identificadas, a través el modelo de procesos propuesto en esta investigación doctoral y que están alineadas a la formación de ingenieros industriales para responder con las necesidades del sector empresarial en el marco de la cuarta revolución industrial.

Para el caso de la IES-13 el resultado obtenido de la aplicación del modelo de procesos propuesto en la presente investigación, les sirvió como insumo para validar su grado de cumplimiento de los requerimientos de formación de las competencias demandadas por el sector empresarial en el marco de la cuarta revolución industrial y como insumo para su planeación académica para los programas académicos de Ingeniería de Software e Ingeniería Industrial de cara al inicio del año 2025.

Para validar el modelo propuesto con la IES- 13, se aplicó en las instalaciones de la IES en el mes de enero 2025 la prueba estadística de Chi-cuadrado, donde se tomó los valores observados de las variables ([Y]= 40 puntos) vs. los valores esperados (la IES-13 consideró un cumplimiento esperado de 46 puntos, posterior diligenciamiento del instrumento de recolección de información. Ver **Figura 34**). Se realiza el análisis con un  $\alpha=0,05$ . Los grados de libertad se calculan a partir de  $k-1$ , donde  $k$  es el número de categorías. Para este caso de validación del modelo,  $k=2$  (una categoría para la frecuencia observada y una para la frecuencia esperada), es decir (1) grado de libertad.

### **Ecuación 12**

*Prueba Chi-cuadrado IES-13*

$$\chi^2 = \frac{(40 - 46)^2}{46} = 0.783$$

<sup>a</sup>*Nota.* Se obtiene con la tabla de distribución de Chi-cuadrado (1 grado de libertad y  $\alpha=0,05$ ) un valor  $\chi^2$  crítico de 3.841.

<sup>b</sup>*Nota.* Al ser el valor del Chi-cuadrado menor que el valor crítico, no rechazamos la hipótesis nula ( $H_0$ ), infiriendo que la IES-13 responde a satisfacción a los resultados obtenidos por el modelo propuesto. (Triola, M. F.,2018).

## **4. Sección de los aportes al campo del conocimiento y comparación con otros autores**

Es de resaltar que el aporte en nuevo conocimiento de la presente investigación doctoral, está orientado en el diseño de un modelo cuantitativo de procesos que responde a los requerimientos del sector empresarial en el marco de la cuarta revolución industrial, y que permite:

- Identificar las competencias requeridas por el sector empresarial en el marco de la cuarta revolución industrial, como se evidencia en el *Sección de los resultados de la investigación*.

- Identificar las variables y sub-variables ( $x_{ij}$ ) relacionadas con las competencias que inciden directamente en la brecha entre el sector académico y el empresarial en el contexto de la cuarta revolución industrial en Colombia, el cual se presentó en la **Tabla 27** y que fue validada su significancia y correlación, a través del análisis de varianza (ANOVA) en la **Sección de los resultados de la investigación**.

- Medir las coincidencias (“*competencias desarrolladas por los programas de ingeniería de las IES*” versus las “*competencias demandadas sector empresarial*”), para calcular la variable [P’] “*número promedio de coincidencias de palabras clave por IES*”, permitiendo así jerarquizar las IES (de mayor a menor), a través del diseño y cálculo de la **Ecuación 6**, que es la fórmula para calcular la variable de respuesta del modelo cuantitativo de procesos: [Y] “*puntuación final de la IES.*”

- Identificar la configuración óptima de las variables significativas al interior del modelo propuesto, tal y como se evidencia en la **Figura 32**, para lograr el mayor puntaje de respuesta a las competencias demandadas por el sector empresarial por parte de una IES.

- Generar recomendaciones para las IES, por medio del análisis del tablero ecualizador del modelo de procesos propuesto denominado: “*Lean Academy*”, el cual se detalla en el **ANEXO 2**. Para precisar una de las recomendaciones que genera el tablero ecualizador del modelo cuantitativo de procesos propuesto, se presenta en la **Tabla 40** que es la relación porcentual de los programas de ingeniería con acreditación de alta calidad ideal que deben tener las IES para responder en una mayor medida (mejor puntaje para la variable de respuesta [Y]) a las competencias requeridas por el sector empresarial en el marco de la cuarta revolución industrial. La cantidad óptima de programas académicos de ingeniería que deben estar acreditados es entre el 10% y 40% del total de programas de ingeniería que oferta una IES, esta

afirmación es posible, gracias al análisis obtenido mediante la aplicación del instrumento de recolección de información aplicado a la muestra representativa de IES y al análisis de respuestas que genera el modelo propuesto y detallado en la *Sección de los resultados de la investigación*.

**Tabla 40**

*Fragmento del tablero ecualizador “Lean Academy” para medición de la relación de programas de ingeniería con acreditación de alta calidad*

Relación % de programas acreditados de alta calidad	Cantidad coincidencias requerimientos del sector empresarial	Porcentaje IES (%)
0% ninguno	4	4,9%
Entre 1% y 9%	2	2,5%
Entre 10% y 40%	35	43,2%
Entre 80% y 90%	16	19,8%

*Nota.* En la tabla se presenta la relación porcentual de programas de ingeniería a nivel profesional acreditados de alta calidad, a partir de la cantidad de coincidencias presentadas por cada IES. En color gris se encuentra la fila con el mayor porcentaje de coincidencias con los requerimientos demandados por el sector empresarial.

También es de resaltar la metodología desarrollada de manera transversal a la investigación que parte de la identificación de necesidades utilizando la herramienta de web Scraping para la parametrización y programación de lectura y extracción de información requerida, para así poderla consolidarla en una base de datos, permitiendo su análisis y comparación con otras fuentes de información, buscando puntuar los niveles de coincidencia en conformidad a la variable de respuesta definida en el modelo. Esto permite generar clústeres y clasificaciones por nivel de cumplimiento a las coincidencias entre los valores encontrados y los esperados.

En la *Tabla 41* se presentan los aportes de los autores más relevantes del análisis bibliométrico presentado en el *Eje 4.*, y que fueron tenidos en cuenta para el diseño del modelo propuesto, versus el modelo cuantitativo de procesos propuesto en la presente investigación. Se

destacan las diferencias y similitudes entre los modelos referentes de los autores que fueron consultados y base para el diseño del modelo cuantitativo de procesos y el propuesto en la investigación doctoral.

**Tabla 41**

*Aporte al campo de conocimiento vs. aportes de otros autores*

	<b>A Six Sigma and DEA approach for learning outcomes assessment at industrial engineering programs</b>	<b>Efficiency of academic engineering programs in Colombia: an approach through data envelopment analysis</b>	<b>Harmonization of process indicators for institutional quality assurance and academic engineering programs, with multiple reference models or reference frameworks</b>	<b>Evaluation of Educational Quality Under a Six Sigma Approach to Engineering Degrees in Colombia</b>	<b>Assessing and classification of academic efficiency in engineering teaching programs</b>
<b>Autores</b>	Delahoz-Dominguez, E., Zuluaga-Ortiz, R., Suarez-Sánchez, M.	Delahoz-Dominguez, E., Mendoza-Mendoza, A., Visbal-Cadauid, D.	González Clavijo, C.C., Cuervo Díaz, N.A., de Jesús Correa Rodríguez, A.	Zuluaga-Ortiz, R., Delahoz-Dominguez, E., Periñan-Luna, A., Moreira-Villegas, F., Arteta, A.	Hoz, E.D.L., Zuluaga, R., Mendoza, A.
<b>Objetivo</b>	Evaluar el desempeño en el cumplimiento de requisitos de ochenta y nueve carreras de ingeniería industrial en Colombia.	Evaluar los niveles de eficiencia de las universidades que tienen programas de ingeniería utilizando cuatro fases: 1) análisis del contexto, 2) desarrollo de la base de datos y evaluación de la adecuación (DEA), 3) análisis exploratorio de datos y 4) análisis de resultados.	Optimizar los procesos de docencia, a partir del aseguramiento de la calidad en la educación superior.	Desarrollar una metodología para cuantificar la calidad del sistema educativo colombiano, mediante el análisis de las universidades y sus programas académicos.	Validar la eficiencia de los programas académicos de ingeniería.
<b>Modelo utilizado</b>	Análisis envolvente de datos  Metodología six sigma.	Análisis envolvente de datos.	Propuesta de tablero de indicadores orientados al aseguramiento de la calidad.	Metodología six sigma.	Implementan un método de 3 etapas para validar la eficiencia de los programas académicos de ingeniería.
<b>Conclusiones</b>	Evidencian que las IES acreditadas de alta calidad tienen un mayor grado de cumplimiento de los requerimientos demandados que las IES no acreditadas.  También evidenciaron que las IES privadas tienen un grado de cumplimiento que las IES públicas.	En esta investigación se concluyó que las universidades con mayores niveles de eficiencia tienen una mayor capacidad de transformación de los recursos humanos.	Concluyen que las IES se enfrentan a retos para desarrollar sus procesos educativos, lo que les implica abordar diferentes variables asociadas a la calidad y así mismo formular diversos indicadores, lo que genera un reto significativo para las áreas encargadas de asegurar la calidad al interior de los procesos organizacionales de las IES.	Que la metodología six sigma permite valorar el sistema educativo a nivel de la educación superior en Colombia. Obteniendo una métrica favorable frente a los referentes internacionales, validado a través del nivel de la variable six sigma ( $\sigma$ ).	La estructura propuesta por los autores valida y predice la eficiencia de los programas académicos de ingeniería. Por medio de la medición de la eficiencia entre las IES que ofertan programas de ingeniería en Colombia, evitando un sesgo para las IES que matriculan estudiantes con niveles de

	A Six Sigma and DEA approach for learning outcomes assessment at industrial engineering programs	Efficiency of academic engineering programs in Colombia: an approach through data envelopment analysis	Harmonization of process indicators for institutional quality assurance and academic engineering programs, with multiple reference models or reference frameworks	Evaluation of Educational Quality Under a Six Sigma Approach to Engineering Degrees in Colombia	Assessing and classification of academic efficiency in engineering teaching programs
					formación por debajo de la media nacional.
<b>Diferencias con el modelo propuesto en la investigación</b>	Se limita únicamente a programas académicos que ofertan programas profesionales de ingeniería industrial.	Inclusión de variables externas de las IES, como son los resultados de las pruebas estándar que presentan los estudiantes de bachillerato para poder acceder a la educación superior, como variables de entrada para el modelo presentado por los autores.	El enfoque de la investigación está orientado al diseño de indicadores de gestión para medir el aseguramiento de la calidad en las IES.	Se enfocan en la medición del nivel sigma ( $\sigma$ ) del sistema educativo colombiano, y no con la identificación de variables significativas que inciden en la brecha con el sector empresarial.	La investigación se centra en la evidencia de perfiles de estudiantes para medir su eficiencia académica al interior de los programas de ingeniería.
<b>Similitudes con el modelo propuesto en la investigación</b>	Utilizan para el desarrollo metodológico la metodología de six sigma (DMAIC.)	Utilizan modelos cuantitativos para hacer los análisis de eficiencia.  Realizan análisis a programas de ingeniería en Colombia.	Analizan también las certificaciones o acreditaciones de alta calidad tanto por agencias de evaluación nacionales como internacionales.  Realizan análisis en programas de ingeniería.  Toman una institución como caso de estudio.	-Utilizan la metodología six sigma como insumo de gestión educativa de las IES, con la finalidad de segmentar, validar y analizar el sistema educativo colombiano, por medio de 2 puntos de vista: el de las IES de manera holística y el de los programas profesionales.)	La población de estudio corresponde a programas universitarios de ingeniería en Colombia.

*Nota.* En la primera columna se presentan los ejes comparativos: autores, objetivo, método utilizado, conclusiones, diferencias y similitudes con el modelo propuesto en la investigación.

## 5. Sección de limitaciones, recomendaciones y conclusiones

### Limitaciones de la investigación

Dentro de la investigación doctoral se identificó la limitación asociada a la consecución de la información de toda la población de las IES que ofertan programas de ingeniería a nivel de pregrado en Colombia (n=159 IES a corte del año 2023.) Para mitigar esta limitante asociada a la obtención de información de las IES, se remitió la solicitud de diligenciamiento del instrumento

de recolección de información (véase *Figura 34*) y se realizó la solicitud formal escrita, con un seguimiento periódico a la respuesta por parte de las siguientes entidades:

- Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)
- Consejo Profesional Nacional de Ingeniería (COPNIA), logrando completar la información de las 16 IES que se requirieron en la muestra representativa de la investigación.

Otra de las limitantes identificadas al interior de la investigación, fue lograr el acceso a las necesidades por competencias requeridas por el sector empresarial en el marco de la cuarta revolución industrial. Esta limitación se mitigó por medio de la parametrización y programación de un web Scraping, que permitió lograr la identificación de las palabras claves asociadas a las competencias requeridas en el marco de la cuarta revolución industrial en los metabuscadores de los portales de empleo seleccionados, tal como se evidencia en el acápite de *Sección de los resultados de la investigación (Fase I.)*

### **Recomendaciones**

Los resultados obtenidos y presentados mediante el modelo cuantitativo de procesos propuesto, permite abrir la puerta a futuras investigaciones, por lo que se recomienda continuar con la identificación de otras variables o sub-variables que se demuestren matemáticamente su significancia para ser incluidas en el análisis del modelo propuesto, y de manera iterativa lograr el refinamiento del modelo predictivo de la variable de respuesta [Y] a partir de la *Ecuación 6*.

Se recomienda dar continuidad al desarrollo del modelo cuantitativo de procesos, para que se pueda implementar en otras áreas de conocimiento diferentes a las anteriormente demostradas en la investigación (programas académicos de ingeniería a nivel de pregrado), abriendo horizonte en otras disciplinas de programas académicos y otros niveles de formación como lo son los postgrados tanto a nivel nacional como a nivel internacional.

Desde el punto de vista metodológico se recomienda explorar el campo de la dinámica de sistemas por medio de la simulación de las variables identificadas como significativas en el modelo cuantitativo de procesos propuesto, a través de diagramas de ciclos causales por medio del software Vensim, para así poder identificar ciclos de refuerzo y de balance entre las variables y los stakeholders.

Se extiende la invitación a las IES al igual que a las compañías del sector empresarial a seguir investigando de manera colaborativa, a partir de los resultados presentados en la presente investigación, para que así, estos se conviertan en el punto de partida de nuevos modelos alineados a responder no solo a las competencias en el marco de la cuarta revolución industrial, sino abordar las competencias de una manera holística para preparar a nuestros futuros profesionales de una manera integral, tanto en competencias técnicas como blandas, y así asumir los retos organizacionales en mira a las nuevas revoluciones industriales.

Finalmente se recomienda el uso del modelo cuantitativo de procesos desarrollado en la presente investigación por parte de las IES, para que puedan permear sus proyectos educativos (PEP) y reformular internamente los perfiles de los egresados al interior de sus programas académicos, alineándolos a los requerimientos demandados por el sector empresarial y así lograr tener un valor diferencial en el mercado. Para lograr esta finalidad se deben atender las siguientes recomendaciones para su aplicación:

- Periódicamente validar el cumplimiento de las variables que se identificaron como significativas en el modelo (véase *Figura 32*), donde se presenta la configuración óptima para obtener el puntaje óptimo para responder a los requerimientos del sector empresarial.
- En el mismo periodo de validación del anterior punto, desarrollar el instrumento de recolección de información (véase *Figura 34*) asociado a la valoración de las variables y su

puntaje obtenido por cada programa académico de la IES, para validar en que se avanzó con referencia al cumplimiento de las variables requeridas para responder a los retos demandados por el sector empresarial.

- Se recomienda trabajar conjuntamente con las organizaciones del sector empresarial co-creando soluciones que involucren a las empresas en los procesos de mejora continua al interior de los proyectos educativos de los programas académicos de las IES.

### **Conclusiones**

La investigación doctoral evidencia el cumplimiento al 100% de las hipótesis y objetivos definidos, al evidenciar a lo largo del presente documento por medio de validaciones cuantitativas aplicadas a los instrumentos de recolección de información, técnicas y metodologías requeridas para el diseño, aplicación y estimación del modelo de procesos propuesto, el cumplimiento en la construcción de una herramienta cuantitativa de procesos útil para las IES de Colombia, la cual les permite contar con un insumo significativo para la toma de decisiones, orientada a responder a los retos que presentan las organizaciones del sector empresarial con respecto a la formación por competencias requeridas para la operacionalización de sus procesos productivos.

Se logró identificar las competencias requeridas por el sector empresarial en el marco de la cuarta revolución industrial, a través de las tres fuentes de información que se complementaron entre sí (análisis bibliométrico, web Scraping y aplicación de la IA), para atender los requerimientos demandados por el sector empresarial.

Se logró identificar y analizar las variables significativas que inciden directamente en la brecha entre el sector académico y el empresarial en el marco del cumplimiento de las

competencias demandadas para atender los retos de la cuarta revolución industrial en Colombia, por medio del análisis de varianza (ANOVA).

Se logró comprobar la primera hipótesis de la investigación, al evidenciar que con la identificación de las variables que inciden en el cumplimiento de los requerimientos por competencias demandadas por el sector empresarial en el marco de la cuarta revolución industrial, se pudo cuantificar y clasificar las IES (de mayor puntaje de cumplimiento al menor), lo cual se evidencio mediante el cálculo y análisis de la variable denominada [P'] “*número promedio de coincidencias de palabras clave por IES*”.

Se logró estimar un modelo determinístico de procesos para las IES que ofertan programas académicos de ingeniería en Colombia, que incorporó las variables significativas identificadas, permitiendo responder a los requerimientos por competencias del sector empresarial en el marco de la cuarta revolución industrial.

Se pudo evidenciar el cumplimiento de la segunda hipótesis definida al interior de la investigación, por medio de la regresión múltiple, donde se logró evidenciar la configuración óptima de las variables significativas identificadas en el ANOVA, que se requieren para obtener el mayor puntaje de la variable de respuesta asociada a los requerimientos por competencias de las empresas colombianas.

Se logró realizar la validación del modelo cuantitativo de procesos propuesto, a través del análisis de la IES-151 perteneciente al sector privado de la ciudad de Bogotá - Colombia. Donde se aplicó el modelo propuesto y se obtuvo un puntaje de 47.67 puntos. En esta misma IES, se logró que los resultados del modelo de procesos fueran el insumo para la planeación estratégica del programa académico de ingeniería industrial de la IES seleccionada, permeando su proyecto educativo (PEP), evidenciado en la reestructuración del perfil del egresado, desde los resultados

de aprendizaje, identificando las competencias requeridas para responder a las competencias demandadas por el sector empresarial en el marco de la cuarta revolución industrial. Y es así, como también se logró la demostración de la tercera hipótesis declarada al interior de la presente investigación.

Se logró evidenciar y demostrar matemáticamente que la variable de acreditación de alta calidad es significativa, y también que las IES que están acreditadas de alta calidad tienen un 66.87% de coincidencias con los requerimientos demandados por el sector empresarial.

Se logra evidenciar mediante el análisis de información de las bases de datos obtenidas por el modelo propuesto, que el 19,5% de las IES que ofertan programas académicos de ingeniería a nivel de pregrado en Colombia coinciden con los requerimientos demandados por el sector empresarial en el marco de la cuarta revolución industrial.

Con todo lo anterior, se logra evidenciar el cumplimiento de la propuesta epistemológica de la investigación doctoral que se apalancó en una metodología de tipo mixta, por medio de un análisis bibliográfico exploratorio y un método de correlación, que permitieron diseñar, estimar y validar un modelo cuantitativo de procesos, a través de los métodos numéricos demostrados de manera determinística, asegurando el logro de la identificación, caracterización y cumplimiento de los requerimientos demandados por competencias requeridas en el marco de la cuarta revolución industrial por parte del sector empresarial desde las IES en Colombia.

### **Bibliografía**

*ACOFI | Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.* (s/f). Recuperado el 14 de enero de 2025, de <https://www.acofi.edu.co/>

*ACOPI propone acuerdo nacional para salvar la economía - ACOPI.* (s/f). Recuperado el 14 de enero de 2025, de <https://acopi.org.co/acopi-propone-acuerdo-nacional-para-salvar-la->

economía/

- Adams, C. W., Gupta, P., & Wilson, C. E. (2020). *The History of Six Sigma*. Six Sigma Deployment.
- Aguilar, J. L., & Terán, O. R. (2021). COVID-19 y sus implicaciones sociales: una mirada desde las ciencias computacionales. *Educere*.
- ANDI. (2020, diciembre). *Actualizar y diseñar la estrategia de la ANDI a 2025 de acuerdo con los nuevos desafíos que enfrentan sus afiliados y el país*. Vicepresidencia de Estrategia y Desarrollo. <https://andi.com.co/Uploads/Estrategia Nacional ANDI 2025 pag. web.pdf>
- Ar, A. R., Ma, M. A., Alejandro, L., La, A., & Tratar, T. A. (2024). *Comité Académico 202405 (Programa Ingeniería Industrial- Universidad Sergio Arboleda)* (Número 4). <https://www.usergioarboleda.edu.co/>
- Ardanuy, J. (2012). Breve introducción a la bibliometría. *2012. Pág, 1*, 12–12.
- Arenas, I. D. R., Medina, E. J., & Callejas, R. Y. (2021). Competencias profesionales e Industria 4.0: análisis exploratorio para ingeniería industrial y administrativa en Medellín. *Revista Interamericana de Investigación Educación y Pedagogía RIIEP*, *14*(2), 169–194. <https://doi.org/10.15332/25005421.6299>
- Ashton, K. (2009). That Internet of Things Thing. *RFID Journal*.
- Berentsen, A. (2019). Aleksander Berentsen Recommends “Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System” by Satoshi Nakamoto. En *21st Century Economics*. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-17740-9\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-030-17740-9_3)
- Botosan, C. A., & Plumlee, M. A. (2001). Stock option expense: The sword of Damocles revealed. *Accounting Horizons*. <https://doi.org/10.2308/acch.2001.15.4.311>
- Brown, A. (2019). Book Review : Architectural intelligence: how designers and architects

created the digital landscape. *International Journal of Architectural Computing*.

<https://doi.org/10.1177/1478077118775419>

Cárdenas, S. S., electrónica, L. S. P.-R. médica, & 2012, undefined. (s/f). Usos del coeficiente alfa de Cronbach en el análisis de instrumentos escritos. *scielo.sld.cu*. Recuperado el 13 de octubre de 2024, de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=s1684-18242012000100001&script=sci\\_arttext](http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=s1684-18242012000100001&script=sci_arttext)

Creeger, M. (2009). Cloud Computing: An Overview. *Queue*.

<https://doi.org/10.1145/1551644.1554608>

Delahoz-Dominguez, E., Zuluaga-Ortiz, R., & Suarez-Sánchez, M. (2023). A Six Sigma and DEA approach for learning outcomes assessment at industrial engineering programs. *International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage*.

<https://doi.org/10.1504/IJSSCA.2023.130283>

Dietsche, K.-H., & Kuhlitz, D. (2014). History of the automobile. En *Fundamentals of Automotive and Engine Technology*. [https://doi.org/10.1007/978-3-658-03972-1\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-658-03972-1_1)

*Empresarios en Colombia, preocupados por brechas de talento humano en el país - ACRIP Nacional*. (s/f). Recuperado el 14 de enero de 2025, de

<https://acripnacional.org/general/empresarios-en-colombia-preocupados-por-brechas-de-talento-humano-en-el-pais/>

English, J. R. (1993). Quality Function Deployment: Integrating Customer Requirements into Product Design. *Journal of Quality Technology*.

<https://doi.org/10.1080/00224065.1993.11979419>

*Estudios Económicos de la OCDE: Colombia 2024*. (2024). [https://doi.org/10.1787/E61E16AD-](https://doi.org/10.1787/E61E16AD-ES)

ES

- Fayol, H. (1916). Administration industrielle et générale. *Bulletin de la Societe de l'Industrie Minderale*.
- Feigenbaum, A. V. (1983). Total quality control third edition. En *Tema1 O Sistema da Qualidade McGraw-Hill Book Company*.
- Fernández, C. ; V. J. ; S. C. R. Juliana; A. E. (2021, abril). *Brechas en el mercado laboral y estereotipos culturales*. <https://andi.com.co/Uploads/Capítulo 2 - Brechas en el mercado laboral y estereotipos culturales CESLA ANDI.pdf>
- Fernandez Mozo, J. M. (2019). “Análisis del Modo y Efecto de Fallas (AMEF)”. *Universidad Privada del Norte*.
- Forbes Staff. (2018). La Cuarta Revolución Industrial llega a las aulas • Forbes México. *Forbes*.
- Friedman, M. (1995). La Segunda Revolución Industrial. *Ciencia política: Revista trimestral para América Latina y España, ISSN 0120-7687, N° 38, 1995, págs. 49-56, 38, 49-56*.  
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4415514&info=resumen&idioma=SPA>
- Gontero, S. A. (2019, noviembre). *La identificación y anticipación de brechas de habilidades laborales en América Latina (Experiencias y lecciones)*. Publicación de las Naciones Unidas. <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/8080ed1c-9bf1-4d8f-a703-bdf6aaca07f3/content>
- Gras, N. S. B. (1917). Work, wages, and profits. En *Journal of Applied Psychology*.
- Gupta, Y. P., & Gupta, M. (1989). A system dynamics model of a JIT-kanban system. *Engineering Costs and Production Economics*. [https://doi.org/10.1016/0167-188X\(89\)90030-X](https://doi.org/10.1016/0167-188X(89)90030-X)
- Hazarika, M., Dixit, U. S., & Davim, J. P. (2019). History of Production and Industrial Engineering Through Contributions of Stalwarts. *Manufacturing Engineering Education*, 1–

29. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101247-5.00001-0>

Humanística, R. C.-U., & 1994, undefined. (s/f). La tercera revolución industrial.

*revistas.javeriana.edu.co*. Recuperado el 8 de octubre de 2024, de

<https://revistas.javeriana.edu.co/index.php/univhumanistica/article/view/9908/>

Imai, M. (2016). *KAIZEN Institute*. KAIZEN Institute.

*Ingeniería de Software - Uniempresarial*. (2024). Perfil de egresado Ingeniero Software.

<https://uniempresarial.edu.co/ingenieria-de-software/>

*Ingeniería Industrial - Uniempresarial*. (2024). Perfil de egresado Ingeniero Industrial.

<https://uniempresarial.edu.co/ingenieria-industrial/>

*Inicio - Consejo Nacional de Acreditación - CNA*. (s/f). Recuperado el 13 de junio de 2024, de

[https://www.cna.gov.co/1779/w3-channel.html?\\_noredirect=1](https://www.cna.gov.co/1779/w3-channel.html?_noredirect=1)

Ishikawa, K. (1981). *What is total quality control : The Japanese way* . *New York*.

ISO. (2022). *ISO - ISO 9001:2015 - Quality management systems — Requirements*. ISO9001:

2015 Standard.

Jeff Hammerbacher Cloudera. (2009). *Hadoop Operations Managing Petabytes with Open*

*Source*. *Scientist*.

Kaplan, R. S., & Norton, D. P. (1992). *The balanced scorecard--measures that drive*

*performance*. *Harvard business review*.

Kaplík, P., Prístavka, M., Bujna, M., & Viderňan, J. (2013). *Use of 8D method to solve*

*problems*. *Advanced Materials Research*.

<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.801.95>

Klaus Schwab. (2017). *La cuarta revolución industrial-The Fourth Industrial Revolution*. Foro

Económico Mundial.

Krotov, V., Johnson, L., & Silva, L. (2020). Tutorial: Legality and ethics of web scraping.

*Communications of the Association for Information Systems.*

<https://doi.org/10.17705/1CAIS.04724>

Lab, L. C.-E., Ambiente, C. A. de M., & 2010, undefined. (2014). Modelos lineales: Regresión, ANOVA y ANCOVA. *tauniversity.org*.

[https://tauniversity.org/sites/default/files/modelos\\_lineales\\_regresion\\_anova\\_y\\_ancova.pdf](https://tauniversity.org/sites/default/files/modelos_lineales_regresion_anova_y_ancova.pdf)

LeanSolutions. (2018). *¿Que es Six Sigma? – Lean Solutions. ¿Que es six sigma?*

Lerena, R. G. (2016). *COMPETENCIAS Y PERFIL DEL INGENIERO IBEROAMERICANO, FORMACIÓN DE PROFESORES Y DESARROLLO TECNOLÓGICO E INNOVACIÓN (Documentos Plan Estratégico ASIBEI)*.

*Los retos de los profesionales de la Ingeniería Industrial | ACOFI | Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.* (s/f). Recuperado el 13 de octubre de 2024, de

<https://www.acofi.edu.co/noticias/los-retos-de-los-profesionales-de-la-ingenieria-industrial/>

Luis, J. A. (2017). Industria 4.0 La cuarta revolucion Industrial. En *Journal of Chemical Information and Modeling*.

Marcillo Parrales, K. G., Mero Lino, E. A., & Ortiz Hernández, M. M. (2021). Impresión 3D como eje de desarrollo en la Industria 4.0. *Serie Científica de la Universidad de las Ciencias Informáticas*.

Marín Niño, J. J., Michelsen Niño, C., Ospina Rodríguez, J., & Rojas Oviedo, L. (2013). Entre el consenso y el disenso. Una mirada a las competencias gerenciales desde la academia y la empresa. *Poliantea*. <https://doi.org/10.15765/plnt.v4i7.295>

Maroto, J. P. (2009). El Ciberespionaje Y La Ciberseguridad. *La Violencia Del Siglo Xxi. Nuevas Dimensiones De La Guerra*.

Mayo, E. (1946). The Social Problems of an Industrial Civilization. *Harvard Law Review*.

<https://doi.org/10.2307/1335838>

Ministerio del Trabajo, el M. de las de T. de la I. y las C. (2020, noviembre 7). *Resultado del estudio de identificación de Brechas de Capital Humano para el sector TIC*. Estudio donde exponen los resultados asociados a los hallazgos del equipo consultor que realizó el estudio y que presenta la medición de las brechas de Capital Humano (IMBCH), donde evaluaron: •

Brecha de cantidad, con el objetivo de identificar qué prog....

[https://mintic.gov.co/portal/715/articles-159493\\_recurso\\_1.pdf](https://mintic.gov.co/portal/715/articles-159493_recurso_1.pdf)

*Modelo de Acreditación ABET | ACOFI | Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.*

(s/f). Recuperado el 13 de octubre de 2024, de <https://www.acofi.edu.co/modelo-de-acreditacion-abet/>

Moor, J. (2006). The Dartmouth College Artificial Intelligence Conference: The next fifty years.

*AI Magazine*.

MTCT. (2023). *PDCA (Plan Do Check Act)*. MindTools.

Ng, D. T. K. (2022). What is the metaverse? Definitions, technologies and the community of inquiry. *Australasian Journal of Educational Technology*.

<https://doi.org/10.14742/ajet.7945>

Nicholas, J. (2016). Hoshin kanri and critical success factors in quality management and lean production. *Total Quality Management and Business Excellence*.

<https://doi.org/10.1080/14783363.2014.976938>

*Observatorio Laboral y Ocupacional Colombiano*. (s/f). Recuperado el 14 de enero de 2025, de

<https://observatorio.sena.edu.co/Tendencia/Informes#tb2024>

Ost, J. H., & Silveira, C. G. da. (2018). Avaliação do processo de transição da ISO 9001:2008

- para a ISO 9001:2015: um estudo voltado para empresas químicas do Estado do Rio Grande do Sul. *Gestão & Produção*. <https://doi.org/10.1590/0104-530x4089-17>
- Oviedo, H., psiquiatría, A. C.-A.-R. colombiana de, & 2005, undefined. (s/f). Aproximación al uso del coeficiente alfa de Cronbach. *scielo.org.co*. Recuperado el 13 de octubre de 2024, de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=s0034-74502005000400009&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=s0034-74502005000400009&script=sci_arttext)
- Paladugu, B. S. K., & Grau, D. (2020). Toyota Production System - Monitoring Construction Work Progress With Lean Principles. En *Encyclopedia of Renewable and Sustainable Materials: Volume 1-5*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803581-8.11512-7>
- Peláez-Valencia, L. E., Trefftz, H., & Delgado-González, I. A. (2020). Acreditación internacional de carreras de ingeniería. *Revista Educación en Ingeniería*.
- Philip, P. (1989). Crosby talks quality. En *The TQM Magazine*. <https://doi.org/10.1108/eb059474>
- Pineda Márquez, K., Morales Rubiano, M. E., & Ortiz Riaga, M. C. (2011). Modelos y mecanismos de interacción universidad-empresa-estado: retos para las universidades colombianas. *Equidad y Desarrollo*. <https://doi.org/10.19052/ed.193>
- Salario para Ingeniero en Colombia - Salario Medio*. (s/f). Recuperado el 9 de octubre de 2024, de <https://co.talent.com/salary?job=ingeniero>
- Salimbeni, S., Biggio, G., Bianchi, S., Franqueiro, M. L., & Patti, F. (2020). Estado actual y factores clave para la evolución de la industria nacional hacia la industria 4.0. *Anuario de Investigación USAL*.
- Schwab, K. (2019). Las claves de la Cuarta Revolución Industrial. En *Las claves de la Cuarta Revolución Industrial Cómo afectará a los negocios y a las personas*.
- Shingo, S. (2019a). A Revolution in Manufacturing: The SMED System. En *A Revolution in Manufacturing: The SMED System*. <https://doi.org/10.4324/9781315136479>

- Shingo, S. (2019b). A study of the toyota production system: From an industrial engineering viewpoint. En *A Study of the Toyota Production System: From an Industrial Engineering Viewpoint*. <https://doi.org/10.4324/9781315136509>
- Shingo, S., & Bodek, N. (2019). Conclusions on Developing Non-Stock Production. En *A Study of the Toyota Production System From an Industrial Engineering Viewpoint*. <https://doi.org/10.4324/9781315136509-4>
- Spear, B. (2008). James Watt: The steam engine and the commercialization of patents. *World Patent Information*, 30(1), 53–58. <https://doi.org/10.1016/J.WPI.2007.05.009>
- Sthle, L., & Wold, S. (1989). Analysis of variance (ANOVA). *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 6(4), 259–272. [https://doi.org/10.1016/0169-7439\(89\)80095-4](https://doi.org/10.1016/0169-7439(89)80095-4)
- Stoker, P., Tian, G., & Kim, J. Y. (2020). Analysis of variance (Anova). En *Basic Quantitative Research Methods for Urban Planners*. <https://doi.org/10.4324/9780429325021-11>
- Taylor, F. W. (2017). The Principles of Scientific Management. En *Modern Economic Classics-Evaluations Through Time*. <https://doi.org/10.4324/9781315270548-22>
- Tomac, N., Radonja, R., & Bonato, J. (2019). Analysis of Henry Ford’s contribution to production and management. *Pomorstvo*. <https://doi.org/10.31217/p.33.1.4>
- Toyoda, E. (1998). History of Japanese automotive technology: My 60 years with automobiles. *JSAE review*. [https://doi.org/10.1016/S0389-4304\(97\)00058-1](https://doi.org/10.1016/S0389-4304(97)00058-1)
- Trevejo-Bocanegra, A., Fernández, D., & Calderón-Ubaqui, V. (2015). Estereolitografía: Conceptos básicos. *Revista Estomatológica Herediana*. <https://doi.org/10.20453/reh.v23i2.2300>
- Tsung, F., & Wang, K. (2023). Six Sigma. En *Springer Handbooks*. [https://doi.org/10.1007/978-1-4471-7503-2\\_13](https://doi.org/10.1007/978-1-4471-7503-2_13)

- Ulloa, G., Pachón, Á., & Arboleda, H. (2013). *PROCESO DE IMPLEMENTACIÓN DE CDIO EN PROGRAMAS DE TECNOLOGÍAS DE INFORMACIÓN Y COMUNICACIONES. UTP pionera en acreditación EUR ACE en Colombia - Gestión de la Comunicación y la Promoción Institucional*. (s/f). Recuperado el 13 de octubre de 2024, de <https://comunicaciones.utp.edu.co/51275/noticias/utp-pionera-en-acreditacion-eur-ace-en-colombia/>
- Vajda, S., & Dantzig, G. B. (1964). Linear Programming and Extensions. *Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)*. <https://doi.org/10.2307/2344013>
- Vavilapalli, V. K., Murthy, A. C., Douglas, C., Agarwal, S., Konar, M., Evans, R., Graves, T., Lowe, J., Shah, H., Seth, S., Saha, B., Curino, C., O’Malley, O., Radia, S., Reed, B., & Baldeschwieler, E. (2013). Apache hadoop YARN: Yet another resource negotiator. *Proceedings of the 4th Annual Symposium on Cloud Computing, SoCC 2013*. <https://doi.org/10.1145/2523616.2523633>
- W., B. L., & Shewhart, W. A. (1940). Statistical Method from the Viewpoint of Quality Control. *Supplement to the Journal of the Royal Statistical Society*. <https://doi.org/10.2307/2983634>
- Washington Accord – ICACIT. (s/f). Recuperado el 13 de octubre de 2024, de <https://new.webicacit.com/acuerdo-washington/>
- Zhou, Z. H. (2021). Machine Learning. En *Machine Learning*. <https://doi.org/10.1007/978-981-15-1967-3>
- Ziegel, E. R., Juran, J. M., & Gryna, F. M. (1990). Juran’s Quality Control Handbook. *Technometrics*. <https://doi.org/10.2307/1269854>

**ANEXO 1.****Matriz consolidada con la documentación utilizada en la investigación**

En este anexo se presenta la *Tabla 42* con la matriz consolidada de la documentación utilizada para la construcción del modelo de proceso propuesto por la investigación doctoral. Esta documentación fue consultada en las fuentes primarias de manera sistemática, a partir de las bases de datos utilizando las ecuaciones de búsquedas definidas en el *Eje 4.*, asociado al análisis bibliométrico de modelos de procesos en la educación superior.

**Tabla 42**

Matriz comparativa del análisis bibliométrico

<b>Título (Original)</b>	<b>Título (Traducción)</b>	<b>Autores</b>	<b>Año</b>	<b>Generador</b>	<b>Descripción</b>	<b>Variable</b>
Business process and rule integration approaches—An empirical analysis of model understanding	Enfoques de integración de reglas y procesos empresariales: análisis empírico de la comprensión de modelos	Wang, W., Chen, T., Indulska, M., Sadiq, S., Weber, B.	2022	Information Systems, 104, 101901	Los autores del artículo presentan como por medio de los modelos de procesos en las empresas se puede modelar los requisitos empresariales (CTQ). Ya que estos modelos evidencian las operaciones y limitaciones de las organizaciones, a través de las reglas de negocio. Estas reglas y modelos de procesos buscan mejorar la eficacia de las actividades organizativas, como el desarrollo de la mejora de los procesos y la mitigación de los riesgos en los procesos.	Reingeniería de procesos académicos basado en TI

Título (Original)	Título (Traducción)	Autores	Año	Generador	Descripción	Variable
Intelligent Framework for Business Process Automation and Re-engineering	Marco inteligente para la automatización y reingeniería de procesos empresariales	Torkhani, R., Laval, J., Malek, H., Moalla, N.	2018	9th International Conference on Intelligent Systems 2018: Theory, Research and Innovation in Applications, IS 2018 - Proceedings, pp. 624-629, 8710523	En este artículo los autores presentan un marco para la mejora y automatización de los procesos de las compañías, por medio de 3 fases: La primera que evidencia una formalización del proceso de negocio, la segunda muestra la capa analítica de los datos y la tercera, es la que se evidencia la automatización de las tareas en los procesos.	Reingeniería de procesos académicos basado en TI
Business process model and business rule integration - Towards a decision framework	Modelo de procesos de negocio e integración de reglas de negocio - Hacia un marco de decisión	Wang, W., Sadiq, S., Indulska, M.	2016	CEUR Workshop Proceedings, 1603	Los autores presentan el resultado de como las organizaciones hacen frente a la gestión del cambio, analizando las arquitecturas de los sistemas de información en conformidad al modelado de requisitos empresariales (CTQ). Los autores presentan la arquitectura de los sistemas de información, donde identifican y evalúan los factores que afectan a las decisiones al interior de los procesos organizacionales.	Integración de reglas de negocio

Título (Original)	Título (Traducción)	Autores	Año	Generador	Descripción	Variable
Towards integrated modeling of business processes and business rules	Hacia una modelización integrada de los procesos y las normas empresariales	Zur Muehlen, Michael, Send mail to zur Muehlen M., Indulska, Marta, Kittel, Kai	2008		Los autores evidencian que las reglas empresariales están sujetas al avance tecnológico, el cual permite la innovación en las reglas de negocio, a partir de sistemas de gestión de procesos empresariales. Evidenciando que el modelo de procesos integrado, permite que se ordene el desarrollo de los artefactos requeridos al interior de los procesos organizacionales.	Modelo de negocio
Interoperability for model-driven development: Current state and future challenges	Interoperabilidad para el desarrollo basado en modelos: Estado actual y retos futuros	Giachetti, G., Valverde, F., Marín, B.	2012	Proceedings - International Conference on Research Challenges in Information Science, art.	Los autores presentan los MDD ( <i>Desarrollo Dirigido por Modelos</i> ), a través del uso de lenguajes de modelado, donde realizan un análisis sistemático de los modelos MDD. Describen un marco general de interoperabilidad de los procesos con la finalidad de poder resolver problemas al interior de los procesos organizacionales.	Modelado de procesos

Título (Original)	Título (Traducción)	Autores	Año	Generador	Descripción	Variable
Matching pedagogical intent with engineering design process models for precollege education	Correspondencia entre la intención pedagógica y los modelos de proceso de diseño de ingeniería para la enseñanza preuniversitaria	Tate, D., Chandler, J., Fontenot, A.D., Talkmitt, S.	2010	Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing: AIEDAM, 24(3), pp. 379–395	Los autores desarrollan las perspectivas de los atributos esenciales que componen el proceso de diseño de la ingeniería. Evidenciando la falta de criterios coherentes por parte de las IES para poder medir los puntos fuertes y débiles de los modelos de procesos académicos y administrativos. Presentan un enfoque basado en: el ciclo de vida del servicio de educación, el enfoque cognitivo y en las actividades aplicadas a los requerimientos empresariales del sector empresarial. Logran concluir que los planes de estudios de los programas de ingeniería deben estar alineados a los resultados del aprendizaje en mira a las necesidades de las organizaciones.	Brecha industria – academia
Aligning undergraduate IS curricula with industry needs	Adaptación de los planes de estudios universitarios a las necesidades de la industria	Benamati, J.H., Ozdemir, Z.D., Smith, H.J.	2010	Communications of the ACM, 53(3), pp. 152–156	Los autores evidencian en su artículo que las compañías contratan personal de nivel operativo para labores que están más allá de sus competencias y conocimientos. También analizan la proyección del número de empleos requeridos por las organizaciones para operar los procesos, donde evidencian un alto crecimiento en las contrataciones de personal, debido a la creciente jubilación de la generación del babyboom. Analizan la empleabilidad en EE.UU, para concluir que el crecimiento en la demanda de cargos como: administradores de bases de datos, ingenieros de software y administradores de sistemas, será más fácil de cubrir en las vacantes, en comparación con otros cargos por la emergente cuarta revolución industrial.	Brecha industria – academia

Título (Original)	Título (Traducción)	Autores	Año	Generador	Descripción	Variable
Designing a course on Business Process Reengineering (BPR): Bridging the gap between business operations and engineering of systems	Diseño de un curso sobre reingeniería de procesos empresariales (BPR): Un puente entre las operaciones empresariales y la ingeniería de sistemas	Jain, R., Erol, O., Chandrasekaran, A.	2007	ASEE Annual Conference and Exposition, Conference Proceedings	Los autores desarrollan en el artículo la reingeniería de procesos, como un enfoque sistemático para la mejora de sus procesos. En este artículo se presenta la reingeniería de procesos como la herramienta para lograr mejoras al interior de los procesos organizacionales.	Brecha industria – academia
A Six Sigma and DEA approach for learning outcomes assessment at industrial engineering programs	Un enfoque Seis Sigma y DEA para la evaluación de los resultados del aprendizaje en programas de ingeniería industrial	Delahoz-Dominguez, E., Zuluaga-Ortiz, R., Suarez-Sánchez, M.	2023	International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage, 14(3), pp. 279–299	En esta investigación los autores presentan la evaluación del desempeño de 89 carreras de ingeniería industrial en Colombia. El enfoque propuesto integra el concepto de Seis Sigma con la evaluación de la eficiencia a partir del análisis envolvente de datos. Las variables de entrada utilizadas por los autores para la métrica Seis Sigma son: el razonamiento cuantitativo, la lectura crítica, las competencias ciudadanas, el inglés y comunicación escrita. La variable de salida es el resultado de aprendizaje. Los autores logran concluir que las IES con acreditación institucional de calidad tienen un mayor nivel de cumplimiento que las no acreditadas.	Evaluación Desempeño

<b>Título (Original)</b>	<b>Título (Traducción)</b>	<b>Autores</b>	<b>Año</b>	<b>Generador</b>	<b>Descripción</b>	<b>Variable</b>
Efficiency of academic engineering programs in Colombia: an approach through data envelopment analysis	Eficiencia de los programas académicos de ingeniería en Colombia: una aproximación a través del análisis envolvente de datos	Delahoz-Dominguez, E., Mendoza-Mendoza, A., Visbal-Cadavid, D.	2012	Journal of Engineering Science and Technology, 17(2), pp. 1105–1118	Los autores de la investigación presentan la evaluación la calidad educativa a partir de la eficiencia académica. Los resultados presentados en la investigación, indican que el 14,3%, el 29,8% y el 88,7%, respectivamente, de los programas de ingeniería analizados son eficientes en Colombia.	Eficiencia de Procesos

Título (Original)	Título (Traducción)	Autores	Año	Generador	Descripción	Variable
Harmonization of process indicators for institution al quality assurance and academic engineering programs, with multiple reference models or reference frameworks	Armonización de los indicadores de proceso para la garantía de calidad institucional y los programas académicos de ingeniería, con múltiples modelos de referencia o marcos de referencia.	González Clavijo, C.C., Cuervo Díaz, N.A., de Jesús Correa Rodríguez, A	2022	Proceedings of the LACCEI international Multi-conference for Engineering, Education and Technology, 2022-July	Los autores presentan la importancia del aseguramiento de la calidad en la educación superior, a partir del estudio de diferentes modelos o marcos de referencia orientado a certificaciones o acreditaciones de calidad, tanto nacionales como internacionales. Los autores proponen establecer un esquema estratégico, que integre los indicadores de aseguramiento de la calidad, con la finalidad de atender los requerimientos del sector empresarial.	Aseguramiento de Calidad

<b>Título (Original)</b>	<b>Título (Traducción)</b>	<b>Autores</b>	<b>Año</b>	<b>Generador</b>	<b>Descripción</b>	<b>Variable</b>
Evaluation of Educational Quality Under a Six Sigma Approach to Engineering Degrees in Colombia	Evaluación de la Calidad Educativa Bajo un Enfoque Seis Sigma de las Carreras de Ingeniería en Colombia	Zuluaga-Ortiz, R., Delahoz-Dominguez, E., Periñan-Luna, A., Moreira-Villegas, F., Arteta, A.	2022	Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics), 13293 LNCS, pp. 172–188	Los autores desarrollan una metodología para medir la calidad del sistema educativo colombiano mediante el análisis de las IES y sus programas académicos. Lo desarrollan mediante la metodología de la calidad: Seis Sigma, lo utilizan como herramienta de gestión educativa con el fin de clasificar, evaluar y analizar el sistema de educación en Colombia. Logran calcular y presentar el nivel sigma del sistema educativo colombiano, evidenciando que este se encuentra en: $Z = 2,17$ e $Y = 75\%$ concluyendo que está de acuerdo con lo establecido en la metodología de este marco de trabajo.	Medición de calidad

<b>Título (Original)</b>	<b>Título (Traducción)</b>	<b>Autores</b>	<b>Año</b>	<b>Generador</b>	<b>Descripción</b>	<b>Variable</b>
Assessing and classification of academic efficiency in engineering teaching programs	Evaluación y clasificación de la eficiencia académica en los programas de enseñanza de la ingeniería	Hoz, E.D.L., Zuluaga, R., Mendoza, A.	2021	Journal on Efficiency and Responsibility in Education and Science, 14(1), pp. 41–52	Los autores en esta investigación utilizan un método de 3 pasos para evaluar la eficiencia académica de los programas de ingeniería. La población del estudio aborda a 256 programas de ingeniería en Colombia. Los autores utilizan un modelo Random Forest que presenta un valor bajo el área de la curva - ROC de 95,8% en la predicción de los perfiles de eficiencia.	Evaluación Desempeño

Título (Original)	Título (Traducción)	Autores	Año	Generador	Descripción	Variable
The engineering curriculum of higher education in Indonesia revisited: The perspective of higher education providers, quality assurance agencies, and industry	Revisión del plan de estudios de ingeniería de la enseñanza superior en Indonesia: La perspectiva de los proveedores de enseñanza superior, los organismos de garantía de la calidad y la industria	Supraba, I., Surjono, Hasiholan, B., Koumpourou, Y., Kremmyda, G.	2023	Transcending Humanitarian Engineering Strategies for Sustainable Futures, pp. 213–234	Los autores presentan en el artículo los problemas humanitarios en Indonesia, con enfoque en las IES y organismos de garantía de la calidad. Los resultados presentados por los autores evidencian que 50% de los programas de postgrado han puesto en marcha programas de ingeniería y así han logrado obtener mejores puntuaciones asociadas a la capacidad de análisis de las problemáticas sociales.	Evaluación Desempeño

Título (Original)	Título (Traducción)	Autores	Año	Generador	Descripción	Variable
Internal Quality Assurance of Academic Programs: A Case Study in Vietnamese Higher Education	Garantía interna de la calidad de los programas académicos: Un estudio de caso en la enseñanza superior vietnamita	Pham, N.T.T., Nguyen, C.H., Pham, H.T., Ta, H.T.T.	2012	SAGE Open, 12(4)	Los autores presentan la necesidad de un sistema eficaz de garantía interna de la calidad (IQA) que fomente la mejora continua de la enseñanza y el aprendizaje en las IES. En el estudio se incluyó el análisis de la infraestructura, los instrumentos y los esfuerzos de mejora continua de la calidad en los programas académicos ofertados por las IES. Estos resultados presentados por los autores permitieron concluir que los programas académicos son afectados en la calidad interna según la infraestructura con la que cuentan.	Medición de calidad
In search of high quality in postsecondary education in Colombia	En busca de la alta calidad de la enseñanza postsecundaria en Colombia	Gama, A.P., Gaitan, A.A.A., Arteaga, M.I.R., Gómez, C.L.C., Mena, A.M.	2015	Proceedings - Frontiers in Education Conference, FIE, 2015-February(February), 7044384	Los autores presentan como afrontar el proceso de acreditación de alta calidad desde dos frentes: <ul style="list-style-type: none"> <li>- La gestión de gran cantidad de información (big data), como lo son datos asociados a la autoevaluación.</li> <li>- El desarrollo de la arquitectura inteligente, basado en el conocimiento de los modelos de procesos.</li> </ul> Los investigadores logran concluir que el modelo de calidad de los programas de ingeniería está fundamentado en los modelos matemáticos y computacionales para el análisis dinámico de información para asegurar el cumplimiento de los requisitos de la acreditación de alta calidad.	Mejoramiento

Título (Original)	Título (Traducción)	Autores	Año	Generador	Descripción	Variable
Skill centered syllabus for undergraduate mechanical engineering education	Plan de estudios centrado en las competencias para la enseñanza universitaria de ingeniería mecánica	Rodríguez, C.F., Pinilla, A.E.	2006	Proceedings of 2006 ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, IMECE2006 - Mechanical Engineering Education	Los autores presentan los cambios en la política de educación superior en Colombia, donde analizaron las IES que ofertan programas de pregrado en ingeniería y que están implementando la reducción en créditos, logrando evidenciar que esta reducción está asociada a la duración en tiempo que cursa un estudiante los requisitos académicos del programa académico y validando que esta práctica es una tendencia mundial, principalmente debido a la falta de recursos financieros que respalden altos estándares de educación profesional.  Adicionalmente, los autores afirman que las IES colombianas están reestructurando sus planes de estudio para ajustarse a los nuevos retos a los que se enfrentan los ingenieros en ejercicio de la ingeniería en Colombia, al ser un país en desarrollo.	Ajuste plan de estudio

<sup>a</sup> Nota. En la tabla se presenta los documentos funcionales que se utilizaron como fuente de información primaria para el diseño del modelo cuantitativo de procesos propuesto en la presente investigación.

<sup>b</sup> Nota. En la primera y segunda columna se presenta el título del documento en su idioma original y su traducción respectiva. En la tercera columna de encuentran los autores de los documentos identificados, En la quinta columna se presenta el año de publicación. En la sexta columna se presenta la editorial que genera el documento. En la séptima columna se presenta una breve descripción de los objetivos, metodología con resultados y conclusiones presentadas por los autores y finalmente en la última columna se presenta la variable que agrupa los aportes de los autores y que es insumo para el modelo propuesto en la investigación.

ANEXO 2

Tablero ecualizador

Tabla 43

Tablero Ecualizador “Lean Academy”

IES	(Varios elementos)			IES	(Varios elementos)		
		<b>X1</b>				<b>X2</b>	
		Coincidencias				Coincidencias	
		Certificación ISO	Requerimientos			Lean	Requerimientos
		(a)	Sector			Manufacturing (b)	Sector
			Empresarial				Empresarial
		0	15			0	57
			18,5%				70,4%
		2	0			4	24
			0,0%				29,6%
		3	4			Xi2	0,0%
			4,9%				
		4	62				
			76,5%				
		Xi1					0,0%
			0,0%				
		<b>Total general</b>	<b>81</b>			<b>81</b>	<b>100,0%</b>
			<b>100,0%</b>				
IES	(Varios elementos)			IES	(Varios elementos)		
		<b>X3</b>				<b>X5</b>	
		Coincidencias				Coincidencias	
		Six Sigma (d)	Requerimientos			Propio de la	Requerimientos
			Sector			empresa (f)	Sector
			Empresarial				Empresarial
			%				%

MODELO DE PROCESOS “LEAN ACADEMY” PARA LA EDUCACIÓN SUPERIOR

	0	57	70,4%
	4	24	29,6%
Xi3			0,0%
<b>Total general</b>	<b>81</b>	<b>100,0%</b>	

(Varios  
elementos)  
IES

X6			
Herramientas de planeación de calidad (g)	Coincidencias		%
	Requerimientos		
	Sector		
	Empresarial		
	0	17	21,0%
	2	4	4,9%
	4	60	74,1%
Xi6			0,0%
<b>Total general</b>	<b>81</b>	<b>100,0%</b>	

(Varios  
elementos)  
IES

X8			
Herramientas de control y verificación de calidad (j)	Coincidencias		%
	Requerimientos		
	Sector		
	Empresarial		
	0	12	11,1%

	0	14	17,3%
	3	4	4,9%
	4	63	77,8%
Xi5			0,0%
<b>Total general</b>	<b>81</b>	<b>100,0%</b>	

(Varios  
elementos)  
IES

X7			
Herramientas de ejecución de calidad (i)	Coincidencias		%
	Requerimientos		
	Sector		
	Empresarial		
	1	14	17,3%
	2	4	4,9%
	3	23	28,4%
	4	40	49,4%
Xi7			0,0%
<b>Total general</b>	<b>81</b>	<b>100,0%</b>	

(Varios  
elementos)  
IES

X9			
Tableros de gestión automatizados (tipo: Power vi- Power pivot y/o Tableau- otros) (k)	Coincidencias		%
	Requerimientos		
	Sector		
	Empresarial		
	0	21	25,9%

	1	14	11,1%
	2	4	22,2%
	3	12	22,2%
	4	39	33,3%
Xi8			0,0%
<b>Total general</b>	<b>81</b>	<b>100,00%</b>	

(Varios  
elementos)

IES

	2	12	14,8%
	3	13	16,0%
	4	35	43,2%
Xi9			0,0%
<b>Total general</b>	<b>81</b>	<b>100,00%</b>	

(Varios  
elementos)

IES

X10			
Implementación de herramientas de workflow (con software) (l)	Coincidencias		%
	Requerimientos		
	Sector		
	Empresarial		
	0	25	30,86%
	2	14	17,28%
	3	4	4,94%
	4	38	46,91%
Xi10			0,00%
<b>Total general</b>	<b>81</b>	<b>100,00%</b>	

(Varios  
elementos)

IES

X11			
Procesos documentados (tipo: procedimientos, instructivos/o manuales) (n)	Coincidencias		%
	Requerimientos		
	Sector		
	Empresarial		
	2	35	43,2%
	3	7	8,6%
	4	39	48,1%
Xi11			0,0%
<b>Total general</b>	<b>81</b>	<b>100,00%</b>	

(Varios  
elementos)

IES

X12			
Proceso de auditorías (o)	Coincidencias		%
	Requerimientos		
	Sector		
	Empresarial		
	2	14	17,3%

X13			
Proceso de gestión de PQRS (peticiones, quejas, reclamos y sugerencias) (p)	Coincidencias		%
	Requerimientos		
	Sector		
	Empresarial		
	2	4	4,9%

	3	4	4,9%
	4	63	77,8%
Xi12			0,0%
<b>Total general</b>	<b>81</b>	<b>100,00%</b>	
<b>IES</b>	(Varios elementos)		

	4	77	95,1%
Xi13			0,0%
<b>Total general</b>	<b>81</b>	<b>100,00%</b>	
<b>IES</b>	(Varios elementos)		

X14			
Certificación:	Coincidencias		%
ABET o EUR-ACE o	Requerimientos		
Washington Accord o	Sector		
CDIO (r)	Empresarial		
	0	16	19,8%
	3	41	50,6%
	4	24	29,6%
Xi14			0,0%
<b>Total general</b>	<b>81</b>	<b>100,00%</b>	

X15			
Relación de	Coincidencias		%
programas de	Requerimientos		
ingeniería con	Sector		
acreditación de alta	Empresarial		
calidad del total de			
programas actuales (v)			
	0	4	4,9%
	1	2	2,5%
	2	35	43,2%
	5	16	19,8%
	6	24	29,6%
Xi15			0,0%
<b>Total general</b>	<b>81</b>	<b>100,00%</b>	

- 0. 0% ninguno
- 1. entre 1% y 9%
- 2. entre 10% y 40%
- 3. 50%
- 4. Entre 60% y 70%
- 5. Entre 80% y 90%
- 6. 100% todos

<sup>a</sup> Nota. En la tabla se presenta el tablero ecualizador de las sub-variables (xij) significativas.

<sup>b</sup> *Nota.* Cada uno de los cuadrantes de la figura, representan una variable o una sub-variable que muestran el número de coincidencias con las palabras claves asociadas a las competencias requeridas por el sector industrial en el marco de la cuarta revolución industrial “# *Coincidencias*”. En la tercera columna de cada cuadrante se muestran la frecuencia relativa en porcentaje de participación de cada uno de los puntajes obtenidos en cada variable y sub-variable en conformidad a los niveles establecidos (0 valor más bajo y 4 el valor más alto.) En la **Tabla 27** se presenta la valoración para cada una de las sub-variables ( $x_{ij}$ ), que corresponde a las convenciones numéricas de 0 a 4 por cada variable.