

**ANÁLISIS DEL IMPACTO DE PROPUESTAS ACADÉMICAS DE MODELACIÓN
MATEMÁTICA Y SIMULACIÓN EN EL SECTOR EMPRESARIAL DEL VALLE
DEL CAUCA**

ANDRES FELIPE PEÑA ROSERO

**UNIVERSIDAD DEL VALLE – SEDE PALMIRA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y ESTADÍSTICA
PALMIRA
2011**

**ANÁLISIS DEL IMPACTO DE PROPUESTAS ACADÉMICAS DE MODELACIÓN
MATEMÁTICA Y SIMULACIÓN EN EL SECTOR EMPRESARIAL DEL VALLE
DEL CAUCA**

ANDRÉS FELIPE PEÑA ROSERO

**Proyecto de Grado presentado
como requisito para optar por el título de Ingeniero Industrial**

**Director
JIMMY GILBERTO DÁVILA
Magister en Ingeniería**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE – SEDE PALMIRA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y ESTADÍSTICA
PALMIRA
2011**

Nota de aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Ciudad y Fecha (día, mes, año) (Fecha de entrega)

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a todas las personas que me han acompañado en este largo camino, a todos los profesores que han compartido sus conocimientos y enseñanzas con nosotros; en especial al profesor ***Jimmy Gilberto Dávila*** por su apoyo y dedicación durante el desarrollo de este trabajo de grado. A mi familia, por darme la fortaleza y el soporte para alcanzar esta gran meta. A todos los compañeros que de una u otra forma han contribuido a nuestra formación tanto académica como personal.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	1
1. MARCO CONCEPTUAL.....	2
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	4
1.2.1 Justificación teórica.....	4
1.2.2 Justificación práctica.....	5
1.2.3 Justificación investigativa.....	5
2. OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	7
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	7
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	7
3. ESTADO DEL ARTE.....	8
4. MARCO TEÓRICO.....	12
4.1 DEFINICIÓN DE INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES.....	10
4.2 PRINCIPALES MODELOS DE INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES..	15
4.2.1 Programación Lineal.....	15
4.2.2 Programación Entera.....	15
4.2.2.1 Programas Enteros Puros.....	15
4.2.2.2 Programas Enteros Mixtos.....	15
4.2.2.3 Programación No lineal.....	16

4.2.3 Inventarios.....	16
4.2.4 CPM / PERT	17
4.2.4.1 DIFERENCIAS ENTRE LOS METODOS PERT Y CPM.....	17
4.2.5 Cadenas de Markov.....	18
4.2.6 Simulación.....	19
4.2.7 Programación Dinámica.....	20
4.2.8 Programación Estocástica.....	20
4.3 DISCIPLINAS ASOCIADAS AL PROYECTO.....	21
4.3.1 Modelación matemática.....	21
4.3.2 Estadística.....	21
5. METODOLOGÍA.....	22
5.1 DEFINICIÓN DE LOS PRINCIPALES ENTES DEL SISTEMA.....	22
5.2 MODELOS A CONSIDERAR.....	26
5.3 VARIABLES DE INTERÉS.....	26
5.4 REVISIÓN DE PROPUESTAS ACADÉMICAS	27
5.5 EJECUCIÓN Y ANALISIS DE LA ENCUESTA.....	29
5.5.1 Prueba de Independencia (chi cuadrado).....	30
6. DESARROLLO DEL PROYECTO.....	31
6.1 SINTESIS DE LA REVISION DE PROPUESTAS ACADÉMICAS.....	35
6.2 CARACTERIZACIÓN DE LOS TRABAJOS DE GRADO DE INTERÉS...	36
6.3 DESARROLLO DE LA ENCUESTA.....	37
6.3.1 Procedimiento.....	38
6.3.2 Resultados de la encuesta.....	39
6.4 ANÁLISIS DE LAS VARIABLES DE INTERÉS.....	40
6.4.1 Trascendencia en el Tiempo.....	40

6.4.2 Nivel de Utilización.....	42
6.4.3 Impacto.....	45
6.4.4 Capacidad de Adaptación.....	46
6.4.5 Interés.....	47
7. PRUEBAS DE CORRELACIÓN.....	48
8. SINTESIS DE LAS VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA IMPLEMENTACION DE LOS MODELOS PROPUESTOS.....	50
9. CONCLUSIONES.....	51
10. RECOMENDACIONES.....	54
BIBLIOGRAFIA.....	56

DEDICATORIA

A Dios y a la vida, por bendecirme al nacer rodeado de personas maravillosas como mí madre, mi padre y mí hermana que me brindaron su apoyo incondicional en esta larga travesía.

Andrés

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Caracterización de las preguntas.....	27
Tabla 2. Número de propuestas académicas.....	35
Tabla 3. Caracterización de los trabajos de grado de interés.....	37
Tabla 4. Intuición, Experiencia y Habilidad.....	65
Tabla 5. Procedimientos previamente establecidos.....	65
Tabla 6. Apoyado en Modelos matemáticos.....	65
Tabla 7. Asesoría empresas consultoras.....	66
Tabla 8. Grupos multidisciplinarios.....	66
Tabla 9. Modelos de programación lineal, no lineal.....	66
Tabla 10. Modelos de inventarios.....	67
Tabla 11. Modelos econométricos.....	67
Tabla 12. Simulación.....	67
Tabla 13. Modelos estadísticos probabilísticos.....	68
Tabla 14. Respuesta de las universidades a la solicitud de apoyo.....	68
Tabla 15. Que tan satisfactorios fueron los resultados.....	68
Tabla 16. Disponibilidad de solicitar apoyo a las Universidades.....	69
Tabla 17. Disponibilidad de recibir estudiantes en práctica.....	69
Tabla 18. Cantidad de resultados obtenidos.....	69
Tabla 19. Capacidad de toma de decisiones con base al modelo.....	70
Tabla 20. Cambio de los parámetros del modelo.....	70
Tabla 21. Cambio en los procedimientos.....	70
Tabla 22. Nivel de utilización.....	71

Tabla 23. Modelo difícil de operar.....	71
Tabla 24. Modelo poco flexible a los cambios.....	71
Tabla 25. Resultados poco realistas.....	72
Tabla 26. Otras soluciones superan las ofrecidas por el modelo.....	72
Tabla 27. No aporta ninguna información adicional.....	72
Tabla 28. Falta de equipos y programas de cómputo.....	73
Tabla 29. Falta de personal conocedor del tema.....	73
Tabla 30. Falta de tiempo.....	73
Tabla 31. Falta de apoyo gerencial.....	74
Tabla 32. Urgencia de resultados.....	74
Tabla 33. No conocimiento de su utilidad.....	74
Tabla 34. Nivel de impacto generado.....	75
Tabla 35. Planificación de actividades.....	75
Tabla 36. Utilización de recursos disponibles.....	75
Tabla 37. Simplicidad en toma de decisiones.....	76
Tabla 38. Tiempo para atender otros problemas.....	76
Tabla 39. Motivación gerencial y operacional por los resultados.....	76
Tabla 40. Supuestos planteados por el modelo	77
Tabla 41. El enfoque dado al proyecto.....	77
Tabla 42. Aplicación errónea de la herramienta.....	77
Tabla 43. Nivel de incertidumbre del modelo.....	78
Tabla 44. Sistematización – computación.....	78
Tabla 45. Interpretación de resultados.....	78

Tabla 46. Implementación de resultados.....	79
Tabla 47. Falta de conocimiento del tema.....	79
Tabla 48. Presentación de la propuesta.....	79
Tabla 49. Observar la viabilidad del proyecto.....	80
Tabla 50. Conocimiento previo de los beneficios de la herramienta.....	80
Tabla 51. No encontró mejor solución.....	80
Tabla 52. No preocupación por mejorar esta área.....	81
Tabla 53. Disponibilidad de participar en el desarrollo.....	81
Tabla 54. Considerar volver a utilizar esta metodología.....	81
Tabla 55. Modificaciones en el objetivo del proyecto.....	82
Tabla 56. Análisis de resultados a través del tiempo.....	82
Tabla 57. Consultas acerca de mejoras en el modelo.....	82
Tabla 58. Determinación de fallas en el modelo.....	83

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Porcentaje de trabajos de grado de Modelación matemática y simulación en la UNIVERSIDAD DEL VALLE.....	31
Gráfica 2. Porcentaje de trabajos de grado de Modelación matemática y simulación en Universidad ICESI.	32
Gráfica 3. Porcentaje de trabajos de grado de Modelación matemática y simulación en Universidad JAVERIANA.....	33
Gráfica 4. Porcentaje de trabajos de grado de Modelación matemática y simulación en Universidad AUTÓNOMA.....	34
Gráfica 5. Porcentaje total de trabajos de grado de interés en cada Universidad.	35
Grafica 6. Años de trascendencia.....	41
Gráfica 7. Trascendencia en el Tiempo.....	41
Gráfica 8. Nivel de Utilización.....	42
Gráfica 9. Resultados Nivel de Utilización.....	43
Gráfica 10. Impacto Generado.....	44
Gráfica 11. Capacidad de adaptación.....	45
Gráfica 12. Interés.....	47
Gráfica 13. Correlación existente entre Nivel de Utilización con respecto a Eficiencia Operacional en las empresas del sector.....	49
Grafica 14. Correlación existente entre Nivel de Utilización con respecto a la Capacidad de Adaptación una vez el modelo está siendo desarrollado.....	50

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Análisis sistémico del problema.....	25
--	----

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. Cuestionario de la encuesta.....	58
ANEXO B. Tablas de frecuencias <i>Información General</i>	65
ANEXO C. Tablas de frecuencia para variable <i>Trascendencia en el tiempo</i> ...	69
ANEXO D. Tablas de frecuencias para variable <i>Nivel de Utilización</i>	71
ANEXO E. Tablas de frecuencia para la variable <i>Impacto Generado</i>	75
ANEXO F. Tablas de frecuencia para la variable <i>Capacidad de Adaptación</i> ...	77
ANEXO G. Tablas de frecuencia para la variable <i>Interés</i>	79

INTRODUCCIÓN

Este proyecto tiene como propósito diagnosticar las propuestas académicas para el desarrollo e implementación de modelos de investigación de operaciones, en especial la modelación matemática y simulación de procesos productivos, asociados al sector empresarial del Valle del Cauca.

Para todas las empresas sea cual sea el sector al que pertenezcan, es de gran importancia planear y optimizar todas las actividades que realiza, ya que se habla constantemente de tener buenos procesos y utilizar al máximo todos los recursos para cumplir con las metas y objetivos planteados.

La investigación de operaciones ha tenido un creciente impacto en la administración de las organizaciones a nivel mundial, ya que es una herramienta que permite proponer y establecer diferentes soluciones a los problemas tan frecuentemente existentes en las empresas. Igualmente, se hace importante para esta investigación determinar cuál es la situación actual del sector empresarial en el Valle del Cauca a nivel de implementación y utilización de dichos modelos.

Razón por la cual, este proyecto incluye el análisis de diferentes propuestas de modelación matemática y de simulación realizadas en el sector empresarial del Valle del Cauca, la determinación del tipo de propuesta, el impacto generado, el nivel de utilización y conocimiento de estas herramientas, y ventajas y desventajas que trae su implementación.

1. MARCO CONCEPTUAL

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad las empresas del sector empresarial del Valle del Cauca se esfuerzan por aprovechar de la mejor manera todos y cada uno de los recursos que usan durante sus actividades, entre los que se destacan materiales, personas y procesos.

Es por esto, que surge la necesidad de plantear diferentes tipos de propuestas en todas las aplicaciones que tiene la investigación de operaciones dentro de una organización, esto se debe a que “no hay mejor manera de entender la realidad que simplificándola en un modelo y de igual forma la realidad es tan compleja que la mejor manera de entenderla es simplificando su comprensión.”¹

Dado que la investigación de operaciones tiene la facilidad de incursionar en muchas áreas de investigación usando modelos matemáticos, con el objetivo de determinar procesos para la toma de decisiones en campos como la logística de transportes, optimización de recursos, maximización de beneficios y minimización de costos, es importante analizar si los trabajos de grado que son desarrollados académicamente bajo este enfoque están siendo utilizados plenamente por parte de las empresas en las que se ha llevado a cabo un proyecto de este tipo y así poder determinar el nivel de utilización de estos trabajos y de las herramientas ya que algunos inconvenientes de la investigación de operaciones tienen como principal enemigo la necesidad de realizar simplificaciones del problema original para poder manejarlo y obtener una solución.

Por lo tanto, este proyecto pretende estudiar y evaluar los trabajos de grado orientados a desarrollar proyectos de modelación matemática y simulación

¹ NORIEGA Carlos Rodado Revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería y la Sociedad Colombiana de la investigación de Operaciones. Colombia 2002. Pág. 48.

aplicados a la industria del Valle del Cauca, donde se identificarán las variables críticas del problema, cómo fueron definidas, qué modelos son los más conocidos, qué software son los más usados, qué características tiene el modelo, todo con el fin de identificar el nivel de impacto y utilización que se le está dando a dichos modelos.

FORMULACION DEL PROBLEMA

¿Cuál es el nivel de utilización e impacto generado de los trabajos de grado desarrollados académicamente bajo un enfoque de modelación matemática o simulación por parte de las empresas del sector?

1.2 JUSTIFICACIÓN

1.2.1 Justificación teórica

La investigación de operaciones como rama de la matemática aplicada, debe centrarse en la optimización del manejo de los recursos de una empresa a través de su eficiente asignación. Debido al amplio campo de aplicación que tiene la investigación de operaciones, en este estudio se analizarán dos de las aplicaciones más comunes e importantes que tiene esta rama, como lo son la modelación matemática y la simulación de procesos productivos, herramientas que a través del tiempo se han encargado de generar ventajas competitivas para las empresas de diferentes tipos alrededor del mundo. Así mismo, buscan que las organizaciones sean capaces de comprender el proceso productivo de manera global, con el fin de que puedan incorporar en sus prácticas de trabajo la identificación de las principales fuentes de pérdida y así encontrar puntos de apalancamiento importantes para aumentar la productividad, lo cual permite que éstas entreguen permanentemente un mayor valor a sus clientes y por ende, logren niveles de competitividad elevados.

Por otra parte, la utilización de estos modelos de investigación de operaciones reflejan las situaciones reales a las que se enfrentan cada día las empresas, con el propósito de analizarlas y obtener unos resultados que les facilite la toma de decisiones, de modo que se pueda encontrar la solución óptima a los problemas. Por ello, se intenta mostrar la importancia de la utilización de estos modelos en cualquier tipo de sector sea cual sea su campo de aplicación.

1.2.2 Justificación práctica

Dado que el valle del cauca está entre las tres economías más fuertes del país según un “Informe del Departamento Nacional de Planeación en el año 2009 acerca de agenda interna de competitividad y productividad, con una contribución al PIB de 11,2% en el año 2008”², es de gran importancia para las empresas pertenecientes al sector empresarial, mantenerse a la vanguardia de los beneficios generados por este tipo de investigaciones por parte de universidades y personas conocedoras del tema, siendo la “Investigación de operaciones una herramienta que le facilita a las organizaciones obtener un posicionamiento en el plano competitivo”³. De igual manera, la investigación de operaciones se convierte en un soporte para las empresas desde el punto de vista de la eficiencia, ya que esta herramienta permite a las organizaciones manejar y utilizar de la forma más adecuada sus recursos disminuyendo la amplia lista de errores presentes en las organizaciones tales como: Planificación estratégica, manejo de inventarios, reducción de costos, maximización de utilidades, entre otros.

1.2.3 Justificación investigativa

En Colombia, la mayoría de las empresas aún siguen reflexionando acerca de decidir si utilizar o no modelos matemáticos relacionados con la investigación de operaciones para el desarrollo óptimo de sus actividades, desde este punto de vista, diferentes autores como es el caso de “Ignacio Pérez Vélez”⁴ participante de la mesa redonda realizada en el aula máxima de la Escuela Colombiana de Ingeniería, destaca una serie importante de aspectos referentes a la aplicación de la investigación de operaciones en las empresas y cita lo siguiente “las empresas colombianas se encuentran en un dilema sencillo: o aplican investigación de operaciones o desaparecen”.

² AGENDA INTERNA PARA LA PRODUCTIVIDAD Y LA COMPETITIVIDAD (2009) entregado por el Departamento Nacional de Planeación

³ VELEZ Pérez Ignacio, Revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería y la Sociedad Colombiana de la investigación de operaciones. Colombia 2002. Pág. 46-54.

⁴ Ibíd. p.52.

Por otra parte, Carlos Julio Vidal en su tesis “El impacto de la investigación de operaciones en el sector empresarial de Cali y su área de influencia. Reporte final de la investigación.”⁵ Destaca y lleva a cabo un análisis acerca de la importancia de la investigación de operaciones y el impacto que ésta tiene en el sector empresarial de Cali, de igual manera, diagnostica la aplicación que tiene esta rama de la matemática, como fundamental en el proceso de crecimiento de cualquier organización.

Igualmente, en “Determinación del estado de inserción de los modelos matemáticos y de Investigación de Operaciones en el sector empresarial de Cali y su área de influencia”⁶. Se realiza un diagnóstico de la situación actual de la aplicación de las diversas técnicas de investigación de operaciones en el medio industrial y empresarial de Cali y su área de influencia, el objetivo es determinar entre un grupo de modelos previamente determinados, los que más se usan, cómo es el manejo de estos modelos por parte de las empresas y su nivel de aplicabilidad.

Por lo tanto, la intención de esta investigación es dar continuidad a los trabajos que se han desarrollado de manera similar para la consecución de las metas planteadas, este proceso actualizará los dos estudios anteriormente nombrados y contribuirá a fortalecer la relación Universidad – Empresa ya que se entregará un diagnóstico donde se identifiquen cuales son los aspectos más relevantes de la implementación de dichas herramientas en un entorno real.

⁵ VIDAL Carlos Julio, El impacto de la Investigación de Operaciones en el sector empresarial y su área de influencia. Reporte final de la investigación. Cali 1996.

⁶ GUARAN, Sepúlveda y HERRANDO Mario, Determinación del estado de inserción de los modelos matemáticos y de Investigación de Operaciones en el sector empresarial de Cali y su área de influencia. Cali 1995.

2. OBJETIVOS DEL PROYECTO

2.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar el desarrollo e implementación de propuestas académicas de modelación matemática y de simulación, con el fin de identificar su nivel de utilización en el sector empresarial del Valle del Cauca.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ❖ Identificar modelos matemáticos que se han propuesto académicamente para la optimización de recursos en las diferentes empresas del sector.
- ❖ Establecer cuáles son las características más relevantes de los modelos propuestos.
- ❖ Determinar el nivel de utilización de los modelos matemáticos y de la simulación de procesos en el sector empresarial del Valle del Cauca.
- ❖ Evaluar las ventajas y desventajas de la implementación real de los diferentes tipos de modelos propuestos.

3. ESTADO DEL ARTE

Carlos Julio Vidal en “El impacto de la investigación de operaciones en el sector empresarial de Cali y su área de influencia (1996)”⁷ realiza un análisis a todas las aplicaciones de la investigación de operaciones ejecutadas en el sector empresarial de la ciudad. Así mismo, se investiga el nivel de aplicabilidad de estos modelos, y se determina la influencia tanto en el sector empresarial como en la sociedad.

Por otro lado, Martha Luz Suarez Rincón en un artículo publicado en la “Revista papeles de administración hoy (2008)”⁸ destaca la importancia y el alto grado de relación entre competitividad e investigación de operaciones, y ejemplifica cual es el impacto de la aplicación de diversas técnicas a grandes empresas.

En “La revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería y la Sociedad Colombiana de Investigación de Operaciones (2002)”⁹ se publica un debate con la participación de reconocidos personajes tanto del sector académico como del industrial, donde el tema principal es el papel que cumplen las tecnologías de investigación de operaciones en un escenario de competitividad, también resaltan las debilidades y las fortalezas de llevar a cabo estas prácticas de investigación.

Por otra parte, Guaran Sepúlveda y Mario Herrando en un trabajo de grado titulado “Determinación del estado de inserción de los modelos matemáticos y de

⁷ VIDAL, Carlos Julio, El impacto de la investigación de operaciones en el sector empresarial de Cali y su área de influencia. Cali 1996.

⁸ RINCÓN, Martha Luz, Revista papeles de administración hoy. Colombia 2008.

⁹ Revista Escuela Colombiana de Ingeniería y la sociedad Colombiana de Investigación de operaciones. 2002.

investigación de operaciones en el sector empresarial de Cali y su área de influencia” formulan un problema y analizan la importancia de aplicar modelos matemáticos basados en la investigación de operaciones, subrayando constantemente la aceptación de esta herramienta no sólo como ventaja competitiva, sino también como elemento fundamental para las empresas actuales de mantenerse en un entorno que exige cada vez mas adaptación a cambios y a entornos inesperados.

Algunos trabajos realizados para analizar el impacto de la Investigación de Operaciones sobre diferentes industrias como “Impact of Operations Research on the Evolution of the Airline Industry (2005)”¹⁰, demuestra que técnicas de Investigación de Operaciones han sido aplicadas a todas las áreas de gestión que van desde la fase de planificación estratégica, hasta el post análisis de las operaciones en la industria de las aerolíneas obteniendo muy buenos resultados.

De la misma manera en “The Application of Operations Research Techniques to Financial Markets (2000)”¹¹ se revisa la aplicación de Investigación de Operaciones en el sector de los mercados financieros determinando que la programación matemática es la técnica más utilizada mientras Montecarlo y otros métodos de simulación se están destacando como métodos de aplicación y solución.

Un artículo trabajado por Teow Kiok et al. (2009) titulado “Practical Operations Research Applications for Healthcare Managers”¹² establece la importancia de tener conocimiento en técnicas de aplicación de Investigación de Operaciones

¹⁰ CLARKE, Michael, SMITH, Barry. Impact of Operations Research on the evolution of the Airline Industry. 2005 [Artículo en Internet] www.ebscohost.com [Consulta: Enero 2011]

¹¹ BOARD, John, ZIEMBA William. The application of Operations Research to Financial Markets. 2000 [Artículo en Internet] www.edoc.hu-berlin.de [Consulta: Octubre 2010]

¹² TEOW, Liang Kiok. Practical Operations Research Applications for Healthcare Managers. 2009 [Artículo en Internet] www.annals.edu.sg [Consulta: Septiembre 2010]

donde destacan las múltiples aplicaciones que tienen estas herramientas y enfatiza en los beneficios que trae la mejora continua en proyectos de este tipo.

En la revisión bibliográfica efectuada con respecto al uso e impacto de la Investigación de Operaciones se identificó a Hannu Kivijarvi (1997) ¹³ propone un análisis del estado y la práctica de la Investigación de Operaciones como herramienta de solución a problemas en Finlandia.

Gazmuri Pedro (2002)¹⁴, presentó en un artículo publicado en la Revista de Ingeniería de la Universidad de los Andes, un informe acerca del gran impacto que tiene la Investigación de Operaciones en la forma de gestionar las empresas y el cambio que necesita el ámbito de la docencia en la forma de desarrollar proyectos de esta clase. El artículo se trabaja en 3 secciones y al final hacen una comparación entre el uso de la Investigación de Operaciones en Chile y otros países más desarrollados.

Por su parte Arnason Ragnan (2009)¹⁵, desarrolló un artículo donde se presentaban las aplicaciones que tuvo la Investigación de Operaciones para mejorar la eficiencia económica de las operaciones de pesca ya que existe un gran problema de gestión multidisciplinar donde aspectos como ecología, marina, biología, matemáticas, económica, ciencia política y antropología son determinantes en la solución del problema, es por ello que se diseña un plan de estudios de modelación matemática que es adaptado, ejecutado y analizado al sector de la pesca.

¹³ KIVIJARVI, Hannu, Operations research and its practice in Finland –an update [Artículo en Internet]www.sciencedirect.com [Consulta Noviembre 2010].

¹⁴ GAZMURI, Pedro, Hacia un uso efectivo de la Investigación de Operaciones en Chile: Diagnostico y proposiciones [Artículo en Internet]www.dii.uchile.cl [Consulta Marzo 2011].

¹⁵ RAGNAN, Arnanson, Fisheries management and Operations Research [Artículo en Internet] www.sciencedirect.com [Consulta: Mayo 2011]

En Colombia, “Ecopetrol diseñó en los años 70 la infraestructura petrolera del país basado en un modelo de Programación Lineal. Como apoyo a la planeación de la capacidad y frecuencia de las rutas, Transmilenio realizó un estudio de teoría de filas en 2000, que se actualizó en 2007. Más recientemente, los modelos matemáticos soportados en computador han permitido a AeroRepública convertirse en la aerolínea más puntual de Colombia en septiembre de 2008.

Como se puede ver en los ejemplos presentados, las grandes multinacionales se han beneficiado en forma significativa al adoptar las técnicas de la investigación operativa. Las reducciones en costos que permiten los modelos matemáticos están en la misma línea de las estrategias de liderazgo en costo para creación de ventaja competitiva propuestas por Porter. Los modelos de simulación y pronósticos de las tendencias del mercado también pueden ser claves para apoyar las estrategias de diferenciación y enfoque. Las decisiones que se toman en el área de operaciones de las organizaciones impactan en la capacidad de competir en los mercados globales, donde la investigación de operaciones aporta mejoras en la productividad y con ello, se puede concluir que las decisiones tomadas con base en los modelos matemáticos de la investigación de operaciones aumentan la competitividad en el ámbito empresarial.”¹⁶

¹⁶ RINCÓN, Martha Luz, Revista papeles de administración hoy. Colombia 2008.

4. MARCO TEÓRICO

4.1 DEFINICIÓN DE INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES

Según Krajewski¹⁷ (2000) la investigación de operaciones soporta un conjunto de decisiones tácticas y estratégicas relacionadas con los procesos productivos en las organizaciones, entre las cuales se pueden enumerar las siguientes:

- Logística: Capacidad, localización y distribución de productos y servicios.
- Coordinación de la cadena de suministro interna y externa.
- Pronósticos de demanda.
- Gestión de inventarios.
- Planeación de requerimientos de materiales.
- Programación de la producción y asignación de recursos.
- Gestión de proyectos.

El área de producción y operaciones en las organizaciones es clave en la competitividad empresarial, puesto que en ella radica la generación de los bienes y servicios que van a competir en los mercados locales, nacionales y globales.

Frederick Hillier y Gerald Lieberman (2001), profesores de la universidad de Stamford expresan: “La investigación de operaciones ha tenido un creciente impacto en la administración de las organizaciones. Tanto el número como la variedad de sus aplicaciones continúan creciendo con rapidez y no se ve que vaya a disminuir. De hecho a excepción de las computadoras, parece que la extensión de este impacto no tiene rival con otros desarrollos recientes.”¹⁸

¹⁷ KRAJEWSKI, Lee J. RITZMAN, Larry P. MALHOTRA, Mnoij K. Administración de operaciones, procesos y cadenas de valor. 8 ed. México; Pearson Educación. 2008.

¹⁸ HILLIER, Frederick y LIEBERMAN, Gerald, Introducción a la Investigación de Operaciones. 7 ed. España. Editorial Mc GRAW-HILL.

“La investigación de operaciones, notablemente tiene un efecto impresionante en el mejoramiento de la eficiencia de numerosas organizaciones de todo el mundo contribuyendo significativamente al incremento de la productividad de la economía de varios países, una característica adicional de la investigación de operaciones, es que intenta encontrar una mejor solución llamada solución óptima para el problema en cuestión se dice “una mejor solución” porque es posible que existan muchas soluciones que puedan considerarse como la mejor.”

La definición de CHURCHMAN, ACKOFF Y ARNOFF et al (1957) señala que la investigación de operaciones es la aplicación por grupos interdisciplinarios del método científico a problemas relacionados con el control de las organizaciones o sistemas (hombre-máquina), a fin de que se produzcan soluciones que permitan el cumplimiento de los objetivos de la organización.

De este modo, según esta definición se pueden destacar los siguientes conceptos:

1. Una organización es un sistema formado por componentes que interaccionan entre sí, estas interacciones pueden ser: algunas controladas y otras no.
2. En un sistema la información es una parte fundamental, ya que entre las componentes fluye información que ocasiona la interacción entre ellas. Igualmente, dentro de la estructura de los sistemas se encuentran recursos que generan interacciones. Por ende, los objetivos de la organización hacen referencia a la eficacia y eficiencia con que las componentes pueden controlarse, donde el control es un mecanismo de autocorrección del sistema que permite evaluar los resultados en términos de los objetivos establecidos.
3. La complejidad de los problemas que se presentan en las organizaciones ya no encajan en una sola disciplina del conocimiento, sino que se han convertido en multidisciplinarios, por lo cual para su análisis y solución se requieren grupos compuestos por especialistas de diferentes áreas del conocimiento que logran comunicarse con un lenguaje común.

4. La investigación de operaciones es la aplicación de la metodología científica a través de modelos matemáticos, primero para representar al problema y luego para resolverlo. De esta manera, la definición de la sociedad de investigación de operaciones de la Gran Bretaña es la siguiente:

La investigación de operaciones es el ataque de la ciencia moderna a los complejos problemas que surgen en la dirección y en la administración de grandes sistemas de hombres, máquinas, materiales y dinero, en la industria, en los negocios, en el gobierno y en la defensa. Su actitud diferencial consiste en desarrollar un modelo científico del sistema tal que incorpore valoraciones de factores como el azar y el riesgo y mediante el cual se predigan y comparen los resultados de decisiones, estrategias o controles alternativos. Su propósito es el de ayudar a la gerencia a determinar científicamente sus políticas y acciones.

Para James E. Shambin en su libro “investigación de operaciones un enfoque fundamental”¹⁹ un sistema, ya sea empresa u organización se debe describir mediante un modelo que más adelante se manipulará para determinar la mejor forma de operar del sistema.

Por esta razón, el éxito de un estudio aplicativo de los modelos de investigación de operaciones depende del apoyo recibido por parte de la administración, por lo que se recomienda hacer participante activo de todas las actividades y fases del estudio.

La Investigación de Operaciones con frecuencia llamada ciencia de la administración, es simplemente un enfoque científico en la toma de decisiones que busca el mejor diseño y operar un sistema, por lo regular en condiciones que requieren la asignación de recursos escasos.²⁰

¹⁹ SHAMBIN, James, Investigación de Operaciones un enfoque fundamental. 5 ed. México. Editorial McGRAW-HILL. 1986.

²⁰ WINSTON, Wayne. Investigación de Operaciones aplicaciones y algoritmos. 4 ed. México. Editorial Thomson. 2004

4.2 PRINCIPALES MODELOS DE INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES

4.2.1 Programación Lineal

Es una de las principales ramas de la Investigación Operativa. En esta categoría se consideran todos aquellos modelos de optimización donde las funciones que lo componen, es decir, función objetivo y restricciones, son funciones lineales en las variables de decisión. Los modelos de Programación Lineal por su sencillez son frecuentemente usados para abordar una gran variedad de problemas de naturaleza real en ingeniería y ciencias sociales, lo que ha permitido a empresas y organizaciones importantes beneficios y ahorros asociados a su utilización.

4.2.2 Programación Entera

Es un término general para los modelos de programación matemática que presentan condiciones de integridad (condiciones que estipulan que algunas o todas las variables de decisión deben tener valores enteros). Ya se ha apuntado que los modelos de programación lineal entera son modelos de programación lineal que tienen la característica adicional de que algunas de las variables de decisión deben tener valores enteros. Existen diversas clasificaciones de esta categoría de modelos:

4.2.2.1 Programas Enteros Puros

Un modelo entero puro (PLE) es, como su nombre lo indica, un problema en el que se exige que todas las variables de decisión tengan valores enteros

4.2.2.2 Programas Enteros Mixtos

Un problema en el que solo se requieren que algunas variables tengan valores enteros mientras que otras pueden asumir cualquier número no negativo (es decir, cualquier valor continuo) se llama programación lineal entera mixta (PLEM).

4.2.2.3 Programación No lineal

Es el proceso de resolución de un sistema de igualdades y desigualdades sujetas a un conjunto de restricciones sobre un conjunto de variables reales desconocidas, con una función objetivo a maximizar (o minimizar), cuando alguna de las restricciones o la función objetivo no son lineales.

4.2.3 Inventarios

Las empresas mantienen inventarios de materias primas y de productos terminados. Los inventarios de materias primas sirven como entradas al proceso de producción y los inventarios de productos terminados sirven para satisfacer la demanda de los clientes. Puesto que estos inventarios representan frecuentemente una considerable inversión, las decisiones con respecto a las cantidades de inventarios son importantes. Los modelos de inventario y la descripción matemática de los sistemas de inventario constituyen una base para estas decisiones.

Mantener un inventario (existencia de bienes) para su venta o uso futuro es una práctica común en el mundo de los negocios. Las empresas de venta al menudeo, los mayoristas, los fabricantes y aún los bancos de sangre por lo general almacenan bienes o artículos. ¿Cómo decide una instalación de este tipo sobre su "política de inventarios", es decir, cuándo, cuánto y cómo se reabastece? En una empresa pequeña, el administrador puede llevar un recuento de su inventario y tomar estas decisiones. Sin embargo, como esto puede no ser factible incluso en empresas chicas, muchas compañías han ahorrado grandes sumas de dinero al aplicar la "administración científica del inventario". En particular, ellos:

1. Formulan un modelo matemático que describe el comportamiento del sistema de inventarios.
2. Derivan una política óptima de inventarios con respecto a este modelo.

3. Con frecuencia, utilizan una computadora para mantener un registro de los niveles de inventario y señalar cuándo conviene reabastecer.

4.2.4 CPM / PERT

Admitiendo que la ejecución de un proyecto o elaboración se puede subdividir en planear, programar y controlar, y hablando de manera clásica, podemos considerar las técnicas PERT (Program Evaluation and review Technique) y el CPM (Critical Path Method,) que son los más usuales para un primer cometido. En general estas técnicas resultan útiles para una gran variedad de proyectos que contemplen:

- Investigación y desarrollo de nuevos productos y procesos.
- Construcción de plantas, edificios, y carreteras.
- Diseño de equipo grande y complejo.
- Diseño e instalación de sistemas nuevos.
- Diseño y control de epidemias
- Y otras múltiples aplicaciones en las cuales se requiera una planificación adecuada.

En los proyectos como estos, los administradores deben programar y coordinar las diversas tareas o actividades a desarrollar, las cuales no necesariamente son secuenciales, y aun en este caso estas actividades son interdependientes. Si bien es cierto que, algunas actividades en paralelo que originan una tercera.

4.2.4.1 DIFERENCIAS ENTRE LOS METODOS PERT Y CPM

La principal diferencia entre los métodos es la manera en que se realizan los estimativos de tiempo.

PERT

- Probabilístico.
- Considera que la variable de tiempo es una variable desconocida de la cual solo se tienen datos estimativos.
- El tiempo esperado de finalización de un proyecto es la suma de todos los tiempos esperados de las actividades sobre la ruta crítica.
- Suponiendo que las distribuciones de los tiempos de las actividades son independientes, (una suposición fuertemente cuestionable), la varianza del proyecto es la suma de las varianzas de las actividades en la ruta crítica.
- Considera tres estimativos de tiempos: el más probable, tiempo optimista, tiempo pesimista.

CPM

- Determinístico.
- Considera que los tiempos de las actividades se conocen y se pueden variar cambiando el nivel de recursos utilizados.
- A medida que el proyecto avanza, estos estimados se utilizan para controlar y monitorear el progreso. Si ocurre algún retardo en el proyecto,
- Considera que las actividades son continuas e interdependientes, siguen un orden cronológico y ofrece parámetros del momento oportuno del inicio de la actividad.
- Considera tiempos normales y acelerados de una determinada actividad, según la cantidad de recursos aplicados en la misma.

4.2.5 Cadenas de Markov

Las cadenas de Markov, son una herramienta para analizar el comportamiento y el gobierno de determinados tipos de procesos estocásticos, esto es, procesos que evolucionan de forma NO determinista a lo largo del tiempo en torno a un conjunto de estados.

Una cadena de Markov, por tanto, representa un sistema que varía su estado a lo largo del tiempo, siendo cada cambio una transición del sistema. Dichos cambios no están predeterminados, aunque sí lo está la probabilidad del próximo estado en función de los estados anteriores, probabilidad que es constante a lo largo del tiempo (sistema homogéneo en el tiempo). Eventualmente, en una transición el nuevo estado puede ser el mismo que el anterior y es posible que exista la posibilidad de influir en las probabilidades de transición actuando adecuadamente sobre el sistema (decisión).

4.2.6 Simulación

La simulación es una técnica muy poderosa y ampliamente usada en las ciencias para analizar y estudiar sistemas complejos. En Investigaciones se formularon modelos que se resolvían en forma analítica. En casi todos estos modelos la meta era determinar soluciones óptimas. Sin embargo, debido a la complejidad, las relaciones estocásticas, etc., no todos los problemas del mundo real se pueden representar adecuadamente en forma de modelo. Cuando se intenta utilizar modelos analíticos para sistemas como éstos, en general necesitan de tantas hipótesis de simplificación que es probable que las soluciones no sean buenas, o bien, sean inadecuadas para su realización. En ese caso, con frecuencia la única opción de modelado y análisis de que dispone quien toma decisiones es la simulación. Simular, es reproducir artificialmente un fenómeno o las relaciones entrada-salida de un sistema. Esto ocurre siempre y cuando la operación de un sistema o la experimentación en él son imposibles, costosas, peligrosas o poco prácticas, como en el entrenamiento de personal de operación, pilotos de aviones, etc.

La simulación por computadora está relacionada con los simuladores. Por simulador entendemos no sólo un programa de simulación y la computadora que lo realiza, sino también un aparato que muestra visualmente y a menudo físicamente las entradas y salidas (resultados) de la simulación, como es el caso

de los simuladores profesionales de vuelo. A partir del advenimiento de las computadoras electrónicas, la simulación ha sido una de las herramientas más importantes y útiles para analizar el diseño y operación de complejos procesos o sistemas. Simular, según el Diccionario Universitario Webster, es “fingir, llegar a la esencia de algo, prescindiendo de la realidad”.

4.2.7 Programación Dinámica

La programación dinámica es un enfoque general para la solución de problemas en los que es necesario tomar decisiones en etapas sucesivas. Las decisiones tomadas en una etapa condicionan la evolución futura del sistema, afectando a las situaciones en las que el sistema se encontrará en el futuro (denominadas estados), y a las decisiones que se plantearán en el futuro.

Conviene resaltar que a diferencia de la programación lineal, el modelado de problemas de programación dinámica no sigue una forma estándar. Así, para cada problema será necesario especificar cada uno de los componentes que caracterizan un problema de programación dinámica.

El procedimiento general de resolución de estas situaciones se divide en el análisis recursivo de cada una de las etapas del problema, en orden inverso, es decir comenzando por la última y pasando en cada iteración a la etapa antecesora. El análisis de la primera etapa finaliza con la obtención del óptimo del problema.

4.2.8 Programación Estocástica

La programación estocástica analiza la resolución de problemas de programación matemática en los que algunos parámetros son desconocidos pero se conoce la distribución de probabilidad asociada a ellos y, por tanto, las situaciones que se analizan mediante la misma son situaciones de riesgo.

Prékopa²¹(1995) define la programación estocástica como la resolución de problemas de programación matemática en los que algunos o todos los parámetros son variables aleatorias. En programación estocástica se relaja, por tanto, la hipótesis de que todos los parámetros del problema son deterministas, permitiendo tratar como variables aleatorias parámetros sujetos a incertidumbre o a posibles errores en su medición o estimación y de los que se conoce su distribución de probabilidad.

4.3 DISCIPLINAS ASOCIADAS AL PROYECTO

4.3.1 Modelación matemática

En el campo de de las ciencias aplicadas, un modelo matemático es un tipo de modelo científico que utiliza algún formulismo matemático, para expresar relaciones, proposiciones sustantivas de hechos, variables, parámetros, entidades y relaciones entre variables y/o entidades u operaciones.

Estos modelos se utilizan para analizar los comportamientos de sistemas complejos ante situaciones que resultan difíciles de observar en la realidad.

En las matemáticas propiamente dichas, un modelo matemático es un conjunto sobre el cual se han definido relaciones unarias, binarias y trinarías, y que permite satisfacer las proposiciones derivadas del conjunto de axiomas de la teoría²².

4.3.2 Estadística

La estadística es una ciencia con base matemática referente a la recolección, análisis e interpretación de datos, que busca explicar condiciones regulares en fenómenos de tipo aleatorio.²³

La Estadística es la ciencia cuyo objetivo es reunir una información cuantitativa concerniente a individuos, grupos, series de hechos, etc. y deducir de ello gracias al análisis de estos datos unos significados precisos o unas previsiones para el futuro. La estadística, en general, es la ciencia que trata de la recopilación,

²¹ PRÉKOPA, Andras, Stochastic Programming Mathematics and Applications. 1 ed. 1995 Editorial Publisher.

²² MORALES, Rigoberto. Modelo Matemático. [Artículo en Internet] licmoralesvidea.files.wordpress.com.

²³ SPIEGEL, MURRAY R. Probabilidad y estadística, 1 ed. 1994 México, Mc Graw-Hill Interamericana.

organización presentación, análisis e interpretación de datos numéricos con el fin de realizar una toma de decisión más efectiva. Para la realización de una encuesta a la población total se trabaja con un censo; se denomina censo, en estadística descriptiva, al recuento de individuos que conforman una población estadística, definida como un conjunto de elementos de referencia sobre el que se realizan las observaciones. El censo de una población estadística consiste, básicamente, en obtener el número total de individuos mediante las más diversas técnicas de recuento.

5. METODOLOGÍA

5.1 DEFINICIÓN DE LOS PRINCIPALES ENTES DEL SISTEMA

Para llevar a cabo el análisis del impacto de la investigación de operaciones en el sector empresarial del Valle del Cauca, es necesario definir todos y cada uno de los entes que hacen parte y tienen relación directa con la investigación llevada a cabo. Entre estos se encuentran:

Universidades: Se entiende por universidades, todo ente o establecimiento dedicados a la enseñanza superior y la investigación. En el departamento del Valle del Cauca, hay un total de 16 universidades a continuación mencionadas:

- Corporación Universitaria Minuto de Dios (Uniminuto), sedes Cali, Buga, Florida
- Fundación Universitaria Católica Lumen Gentium, sede Cali
- Pontificia Universidad Javeriana, sede Cali
- Universidad Autónoma de Occidente, sede Cali
- Universidad Central del Valle del Cauca, sede Tuluá
- Universidad de San Buenaventura, sede Cali

- Universidad del Pacífico, sede Buenaventura
- Universidad del Valle, sedes Cali, Zarzal
- Universidad Icesi, sede Cali
- Universidad Libre de Colombia, sede Cali
- Universidad Mariana Pasto
- Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira
- Universidad Pontificia Bolivariana, sede Palmira
- Universidad Santiago de Cali, sedes Cali, Palmira
- Universidad Cooperativa de Colombia, sede Cali
- Universidad Antonio Nariño, sede Palmira

Para efectos de la investigación, solo se tuvieron en cuenta las universidades que ofrecen el programa académico de Ingeniería Industrial.

- Universidad del Valle, sedes Cali, Zarzal, Palmira, Cartago.
- Pontificia Universidad Javeriana, sede Cali
- Universidad Autónoma de Occidente, sede Cali
- Universidad de San Buenaventura, sede Cali
- Universidad Icesi, sede Cali
- Universidad Central del Valle del Cauca, sede Tuluá
- Universidad Libre de Colombia, sede Cali
- Universidad Santiago de Cali, sede Cali
- Universidad Pontificia Bolivariana, sede Palmira

Este ente tiene la función más importante dentro del sistema a estudiar, debido a que es el encargado de mantener un equilibrio entre la relación con los

profesionales, empresas, estudiantes y recursos para lograr un excelente nivel de correlación que traiga consigo el mayor de los beneficios desde el punto de vista económico, social, corporativo utilizando la totalidad de los recursos disponibles.

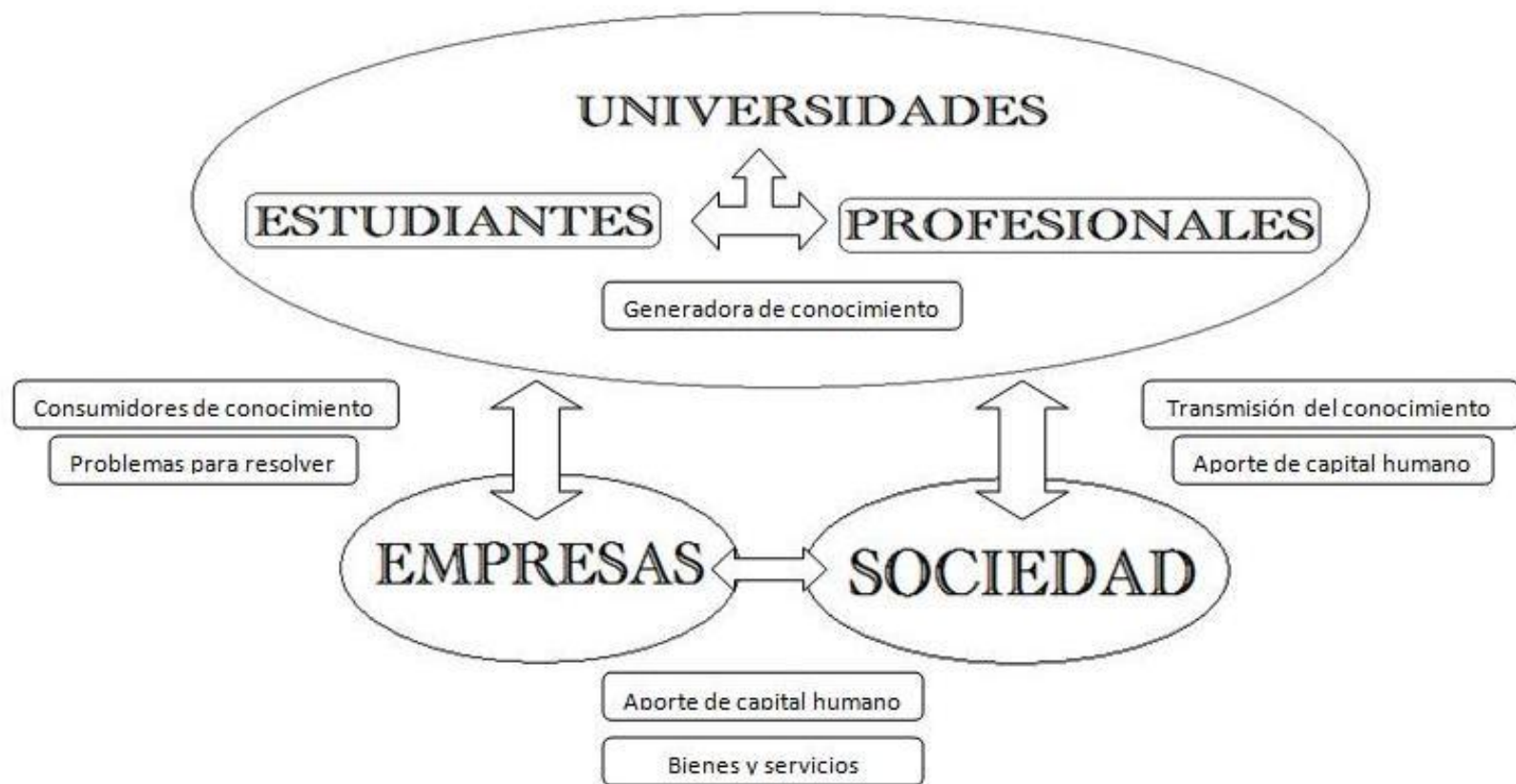
Profesionales: Definidos como todas las personas cuyo estudio (pregrado, postgrado maestría pertenecientes a universidades) ha culminado de manera exitosa y tienen la capacidad de tomar decisiones en cualquier situación que se presente, en cualquier entorno en el que se desenvuelvan. Es por esto que el profesional tiene un papel fundamental dentro de este sistema ya que hace parte del capital humano pero a la vez intangible como lo son las ideas, las decisiones, y todo aquello que ningún otro ente pueda hacer. Al igual que el estudiante es considerado de los factores más importantes dentro de la organización.

Estudiantes: Un estudiante es aquella persona dedicada a la lectura, puesta en práctica y aprehensión de conocimientos sobre alguna materia o arte. Es considerado el capital más importante de cualquier ente u organización debido a que es el encargado de administrar y transformar los recursos de la manera más adecuada, con el fin de obtener los beneficios deseados.

Empresas: Es la unidad económico-social con fines de lucro, en la que el capital, recursos naturales, el trabajo y la dirección se coordinan para llevar a cabo una producción socialmente útil, de acuerdo con las exigencias del bien común. Este organismo es el que transforma las exigencias del entorno en bienes o servicios, y a su vez recibe información, que la mantiene a la vanguardia en todos sus procesos por parte de universidades, centros de investigación etc. Para observar de mejor manera los principales entes del sistema, se decidió realizar un análisis sistémico del problema relación universidad-empresa para ello se examinarán las fuentes generadoras y los receptores de la más importante variable como es la del conocimiento, ya que en esta se basa toda esta relación a estudiar.

Fuente: El autor

Figura 1. Análisis sistémico del problema.



Fuente: El autor

5.2 MODELOS A CONSIDERAR

Para efectos de este proyecto, se define que se hará el análisis de todos los modelos matemáticos y de simulación propuestos y desarrollados por los estudiantes para el sector empresarial del Valle del Cauca, los cuales serán caracterizados definiendo los aspectos más importantes de cada uno como lo son:

- Tipo de modelo
- Empresa o sector a la que se le aplicó el modelo
- Departamento de la empresa a la que fue aplicado
- Herramienta computacional utilizada para desarrollar el modelo
- Variables críticas del Modelo

5.3 VARIABLES DE INTERÉS

Se considerarán diferentes variables de interés que servirán para dar un diagnóstico de la situación actual del nivel de utilización de los modelos diseñados e implementados en las empresas del Valle del Cauca. Dichas variables fueron definidas para medir aspectos cualitativos que muestren el impacto de la ejecución de estas herramientas dentro de la empresa. Igualmente, se busca determinar y dar a conocer qué tanto de lo que se desarrolla en la universidad es aplicado en un entorno empresarial cuando se desean implementar modelos o propuestas para el mejoramiento de algún interés por parte de la empresa o del sector. Dichas variables son:

NIVEL DE UTILIZACIÓN: Cuál es el nivel de utilización de un modelo dentro de la empresa y qué supuestos del modelo son posibles asumir.

TRANSCENDENCIA EN EL TIEMPO: Cuál es la duración de este proyecto sobre la empresa, es decir si aún está implementado, se han hecho cambios mínimos o significativos sobre el modelo inicial.

INTERÉS: Muestra el nivel de interés por parte del encargado del departamento donde se va a aplicar el modelo, su disposición, opiniones y aportes generados por el mismo.

CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN: Indica que tan difícil fue o ha sido la implementación del modelo propuesto teniendo en cuenta las capacidades de la empresa.

IMPACTO: Medición de efectos a corto y largo plazo, producidos por la implementación de un proyecto de modelación matemática o simulación a una empresa del sector empresarial.

Para la medición las variables de interés, se establecen diferentes indicadores que ayudarán de manera cualitativa con su análisis, estos indicadores están definidos como los ítems que en cada pregunta, la persona encuestada tiene que responder.

En la tabla 1, se muestra la caracterización de las preguntas que se desarrollarán en la encuesta:

Tabla 1. Caracterización de las preguntas.

Variable	Indicadores a desarrollar
Como resuelven problemas las organizaciones	Intuición, experiencia y habilidad
	Procedimientos previamente establecidos
	Apoyado en modelos matemáticos
	Asesoría de empresas consultoras
	Grupos multidisciplinarios.
Uso de herramientas de simulación y modelación matemática	Modelos de programación lineal, no lineal
	Modelos de inventarios
	Modelos econométricos
	Simulación
	Modelos estadísticos probabilísticos.
Relación empresa-universidad	Apoyo a las universidades para la solución
	Satisfacción de los resultados
	Solicitar apoyo de las universidades
	Estudiantes para realizar práctica

Trascendencia en el Tiempo	Desde cuándo tiene implementado este modelo
	Cantidad de resultados obtenidos
	Capacidad de toma de decisiones con base al modelo
	Cambio de los parámetros del modelo por cambios en alguna variable que fue considerada como determinante.
	Cambios en los procedimientos para llevar a cabo las actividades del departamento
Impacto Generado	Cuál es el nivel de impacto generado desde la implementación
	Dónde se ha notado más la implementación de este modelo
	Planificación de actividades.
	Utilización de los recursos disponibles.
	Simplicidad en la toma de decisiones.
	Tiempo para la atención de otros problemas
	Motivación gerencial y operacional por los resultados obtenidos
Nivel de Utilización	Califique en su departamento el nivel de utilización del modelo
	Modelo difícil de operar
	Modelo poco flexible a los cambios
	Resultados poco realistas
	Otras soluciones superan las ofrecidas por el modelo
	El modelo no aporta ninguna información adicional
	Falta de equipos y programas de cómputo
	Falta de personal conocedor del tema
	Falta de tiempo
	Falta de apoyo gerencial
	Urgencia de resultados
Capacidad de adaptación	No se conoce su utilidad
	Supuestos planteados por el modelo
	El enfoque dado al proyecto
	Aplicación errónea de la herramienta
	Nivel de incertidumbre del modelo
	Sistematización/computación
	Interpretación de resultados
	Implementación de los resultados
Interés	Falta de conocimiento del tema
	Presentación de la propuesta
	Observar la viabilidad del proyecto entregado
	Conocimiento previo de los beneficios de esta herramienta
	No hay mejor solución para el problema
	No se habían preocupado por la mejora de esta sección.
	Qué tanto estuvo dispuesto a participar en cada una de las actividades
	Consideraría volver a utilizar este tipo de metodología
	Modificación del objetivo principal del modelo
	Análisis de los resultados obtenidos a través del tiempo
	Consultas acerca de posibles mejoras del modelo
	Determinación de una falla en el modelo propuesto

5.4 REVISIÓN DE LAS PROPUESTAS ACADÉMICAS

Este trabajo de grado, es un estudio de tipo investigativo y descriptivo que “consiste en conocer las situaciones, costumbres y actitudes predominantes a través de la descripción exacta de las actividades, objetos, procesos y personas. Su meta no se limita a la recolección de datos, sino a la predicción e identificación de las relaciones que existen entre dos o más variables. Los investigadores no son meros tabuladores, sino que recogen los datos sobre la base de una hipótesis o teoría, exponen y resumen la información de manera cuidadosa y luego analizan minuciosamente los resultados, a fin de extraer generalizaciones significativas que contribuyan al conocimiento”²⁴ y permitirá realizar un diagnóstico del impacto y utilización de los modelos matemáticos y de simulación relacionados con la investigación de operaciones en el sector empresarial del Valle del Cauca. “las etapas constituyen más bien acciones que efectuamos para cumplir con los objetivos de la investigación y responder a las preguntas del estudio”.²⁵ Para ello se inicia con la revisión de los trabajos de grado, mediante visitas a las universidades que ofrecen el programa de ingeniería industrial.

Las universidades fueron visitadas una a una revisando los listados de trabajos de grado de ingeniería industrial, analizándolos y determinando cuáles eran de interés, es decir, aquellos donde se hubiesen desarrollado modelos matemáticos o de simulación aplicados a empresas del sector empresarial y que en su contenido tuvieran el nombre de la empresa donde fue establecida esta propuesta.

5.5 EJECUCIÓN Y ANALISIS DE LA ENCUESTA.

Es necesario llevar a cabo una encuesta a toda la población existente, este tipo de encuestas es conocido como censo, ya que la población a analizar era pequeña

²⁴ MEYER, W,J 1979, Síntesis de la estrategia de la investigación Disponible en www.metodologia.over-blog.es

²⁵ SAMPIERI, Roberto, Metodología de la Investigación. 4 ed. México Editorial McGraw- Hill.

relativamente comparada con el total de la población que potencialmente podría ser analizada.

El censo permite obtener una “recolección, presentación, descripción, análisis e interpretación de una colección de datos, de igual manera consiste en resumir éstos con uno o dos elementos de información (medidas descriptivas) que caracterizan la totalidad de los mismos”²⁶. La Estadística Descriptiva es el método para obtener de un conjunto de datos, conclusiones sobre sí mismos y no sobrepasan el conocimiento proporcionado por éstos. Puede utilizarse para resumir o describir cualquier conjunto ya sea que se trate de una población o de una muestra, cuando en la etapa preliminar de la Inferencia Estadística se conocen los elementos de una muestra.

5.5.1 Prueba de independencia (*Chi-Cuadrado*)

La prueba de independencia Chi-cuadrado, nos permite determinar si existe una relación entre dos variables categóricas. Es necesario resaltar que esta prueba nos indica si existe o no una relación entre las variables, pero no indica el grado o el tipo de relación; es decir, no indica el porcentaje de influencia de una variable sobre la otra o la variable que causa la influencia.

Para comprender el análisis de correlación realizado es importante conocer términos como:

χ^2 = Ji cuadrado.

H_0 = Hipótesis Nula - independencia en las variables.

H_A = Hipótesis Alterna– dependencia entre variables.

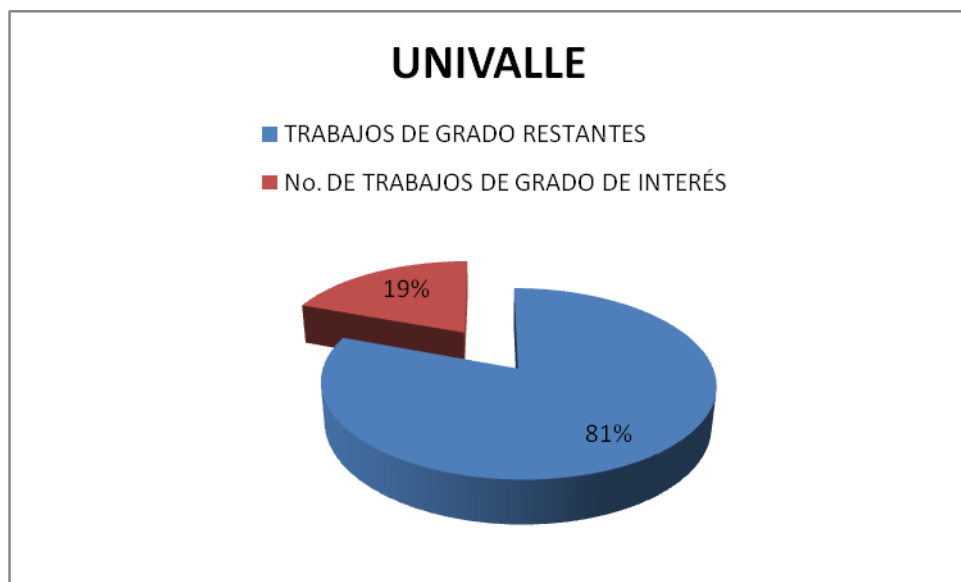
L a χ^2 se halla ubicando los grados de libertad con la probabilidad de 0.95 en la tabla de ji cuadrada.

²⁶ SAMPIERI, Roberto, Metodología de la Investigación. 4 ed. México Editorial McGraw- Hill

6. DESARROLLO DEL PROYECTO

La revisión de datos entrega resultados que se analizarán posteriormente de manera estadística para observar la situación actual del estudio. En total, se revisaron 1204 trabajos de grado de ingeniería industrial en las 9 universidades nombradas anteriormente. Los resultados fueron los siguientes:

Gráfica 1. Porcentaje de trabajos de grado de Modelación Matemática y Simulación en la UNIVERSIDAD DEL VALLE.



Fuente: El autor.

La UNIVERSIDAD DEL VALLE aporta 150 trabajos de grado de Ingeniería Industrial donde en sólo 29 (19%) se ha diseñado algún tipo de modelo matemático, o se ha empleado la simulación para mostrar mejoras en algún proceso. El resto son desarrollados en los diferentes enfoques que brinda la ingeniería industrial con un total de 121 (81%) trabajos de grado. El número de trabajos enfocados a simulación son 19, mientras que el número de trabajos de

modelación matemática son 10. Cabe resaltar que esta universidad es la que más aporta trabajos de grado pertinentes para esta investigación.

Gráfica 2. Porcentaje de trabajos de grado de Modelación Matemática y Simulación en la ICESI



Fuente: El autor.

La siguiente universidad donde se realizó la revisión de información es la ICESI, la cual aporta sólo 4 (4%) trabajos de grado de modelación matemática o de simulación de un total de 103 estudios en ingeniería industrial, el resto se desarrollan bajo otro enfoque distinto al de interés.

Todos los trabajos de grado revisados en esta universidad que hacían parte del estudio, eran trabajos de simulación aplicados; tres de ellos al departamento de producción y el otro al proceso logístico de diferentes empresas.

Gráfica 3. Porcentaje de trabajos de grado de Modelación Matemática y Simulación en la JAVERIANA.

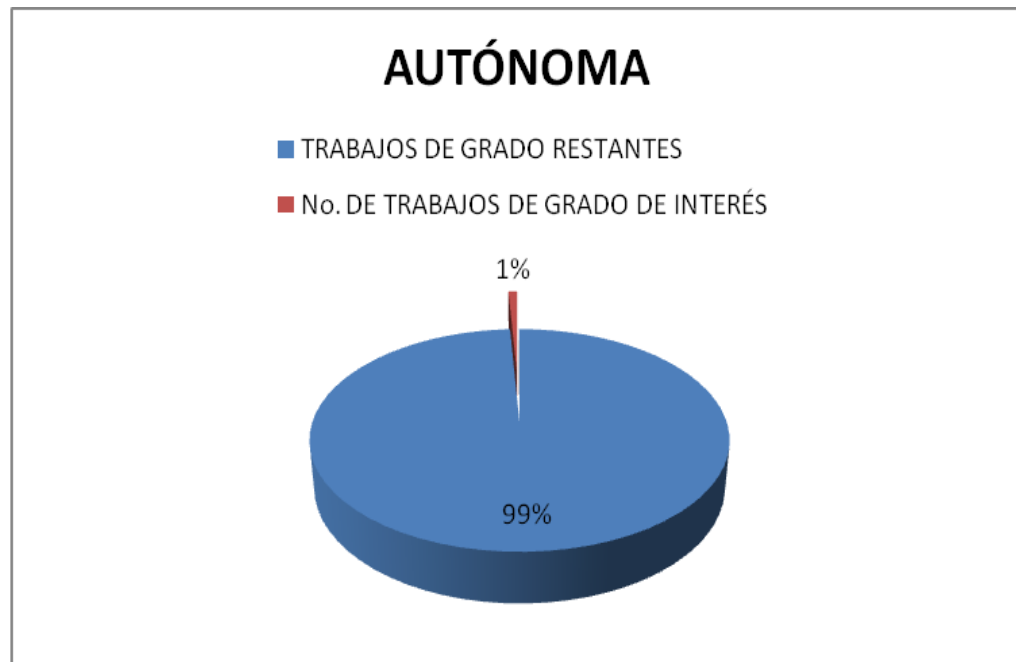


Fuente: El autor.

Por otro lado, en la universidad JAVERIANA, se obtienen 80 trabajos de grado de ingeniería, de los cuales 3 (3%) son de interés y el resto hacen parte de las otras áreas de aplicación de la ingeniería industrial.

Al igual que en la universidad ICESI, en esta universidad, en los tres trabajos de grado que son de interés para el proyecto, se utiliza como principal herramienta la simulación, en donde dos de ellos fueron aplicados en el departamento de producción de alguna empresa, y el otro en una cadena de abastecimiento donde analiza la situación actual, y plantean diferentes tipos de escenarios para estudiar la viabilidad de algunas propuestas de mejora.

Gráfica 4. Porcentaje de trabajos de grado de modelación matemática y simulación en la AUTONOMA DE OCCIDENTE.



Fuente: El autor.

La universidad AUTÓNOMA DE OCCIDENTE, aporta 239 trabajos de grado de ingeniería industrial, de los cuales existen 2 (1%) relacionados con el tema de interés, los cuales están enfocados, uno a la simulación de procesos y el otro al diseño de un modelo matemático dirigido a procesos determinantes de cada una de las empresas donde fue aplicado.

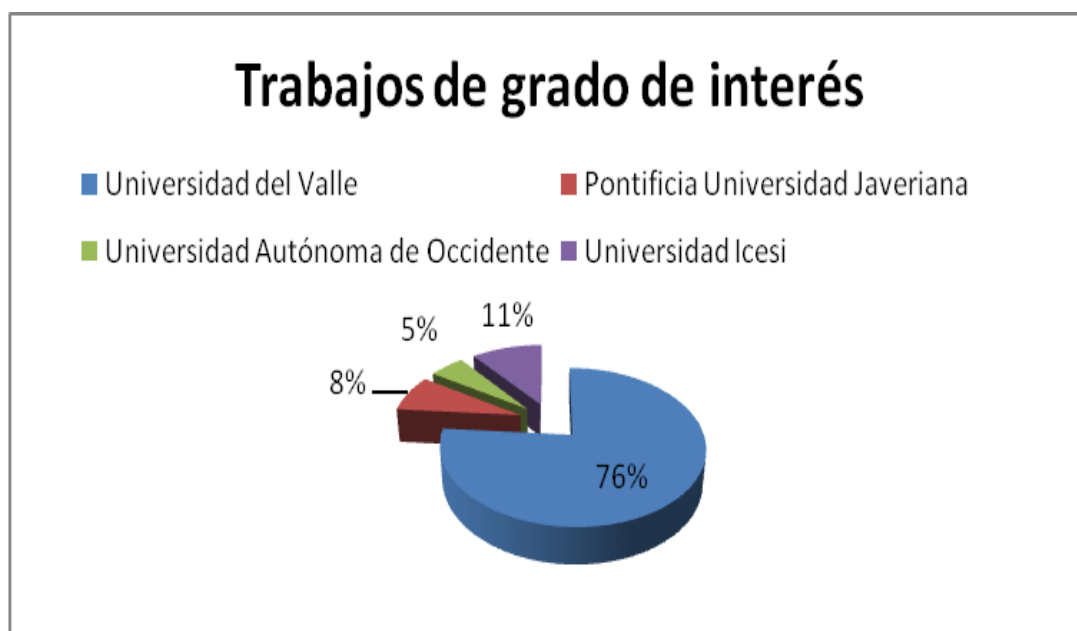
En las universidades SAN BUENAVENTURA, CENTRAL DEL VALLE DEL CAUCA, LIBRE DE CALI, SANTIAGO DE CALI y PONTIFICIA BOLIVARIANA que al igual que las anteriores ofrece el Programa de Ingeniería Industrial donde están los trabajos de grado restantes, no se encontraron trabajos que involucraran modelación matemática o simulación como herramienta para la solución de un problema aplicado en alguna empresa del sector.

6.1 SÍNTESIS DE LA REVISIÓN DE PROPUESTAS ACADÉMICAS

Tabla 2. Número de propuestas académicas

UNIVERSIDADES	No. DE TRABAJOS DE GRADO	No. DE TRABAJOS DE GRADO DE INTERÉS	TRABAJOS DE GRADO RESTANTES	No. DE TRABAJOS DE GRADO DE SIMULACIÓN	No. DE TRABAJOS DE GRADO DE MODELACIÓN MATEMÁTICA
Universidad del Valle	150	29	121	19	10
Pontificia Universidad Javeriana	80	3	77	3	0
Universidad Autónoma de Occidente	242	2	240	1	1
Universidad de San Buenaventura	232	0	232	0	0
Universidad Icesi	103	4	99	4	0
Universidad Central del Valle del Cauca	112	0	112	0	0
Universidad Libre de Colombia	11	0	11	0	0
Universidad Santiago de Cali	196	0	196	0	0
Universidad Pontificia Bolivariana	78	0	78	0	0

Gráfica 5. Porcentaje total de trabajos de grado en cada Universidad



Fuente: El autor

6.2 CARACTERIZACIÓN DE LOS TRABAJOS DE GRADO DE INTERÉS.

Después de la revisión de la información en todas las universidades se determinó que eran de interés para la investigación del presente trabajo de grado, 38 trabajos en los que se había propuesto y desarrollado un modelo matemático o la simulación como factor clave para la solución de problemas identificados en alguna empresa del sector.

Para comenzar a caracterizar y conocer información importante acerca de los trabajos de grado de interés, fue necesario analizar su contenido, sus objetivos, planteamientos del problema y demás temáticas que ayudarán a determinar la orientación de dicho proyecto. Así mismo, hacer un filtro donde sólo se analicen las trabajos de grado que en su contenido tienen el nombre de la empresa donde se llevó a cabo el estudio, ya que éste es un factor determinante para la realización de la encuesta que medirá el nivel de impacto de estos modelos sobre la organización.

Teniendo en cuenta este filtro, el total de trabajos de grado disponibles para realizar el análisis deseado es de dieciséis, en los que se define el tipo de modelo, empresa, departamento al que fue aplicado y por ultimo variables críticas del problema, como se observa en la tabla 3.

Cabe resaltar entre estos trabajos de grado analizados, que la mayoría son trabajos de simulación (12) aplicados al departamento logístico de producción y financiero. No obstante, también se presentan trabajos de modelación matemática en estos departamentos. Las herramientas computacionales más destacadas para simular o para obtener los resultados del modelo fueron Promodel y Excel.

Tabla 3. Caracterización de los trabajos de grado de interés

TIPO DE SIMULACIÓN O MODELACION MATEMÁTICA	APLICADO A :	Herramienta Computacional	VARIABLES CRITICAS DEL PROBLEMA
Simulación de evento discreto	Proceso logístico	Promodel	Optimización de recursos como despachos, tiempos entre carga y descarga, tiempo de llegadas.
Simulación de evento discreto	Departamento de producción	Promodel	Mejoramiento de procesos de traquelado, mejorar calidad del servicio, tiempos de entregas y tiempos de producción.
Simulación de evento discreto	Departamento de producción	Promodel	Tiempo de duración de actividades, capacidad de las locaciones, tiempo de mantenimiento programado.
Simulación de evento discreto	Cadena de abastecimiento	Promodel	Capacidad actual del proceso, maquinaria necesaria, No. personal adicional necesario.
Simulación de evento discreto	Departamento de producción	Promodel	Aumentar niveles de productividad, cumplimiento de especificaciones, manejo de inventarios
Simulación evento continuo	Departamento de producción	Excel	Aumentar uso de recursos, manejo de producto terminado, eficiencia en uso de variables como montacargas, almacenamiento, despacho.
Simulación evento discreto	Departamento de logística	Excel solver.	Ruta optima, optimización de recursos de ruteo, tiempos de servicio.
Modelación matemática	Procesos de mantenimiento	Excel	Mejorar procesos críticos, mejorar uso de recursos, optimizar flujo de información
Modelo de simulación	Proceso enseñanza aprendizaje	Visual basic- Excel	Contribuir al desarrollo de conocimientos de acción y decisión de estudiantes, didácticas integradas a los laboratorios de control de calidad.
Simulación evento discreto	Nivel de servicio del área de laboratorios	Reality VENSIM	Usuarios en capacidad de atender, nivel de servicio, flujo de usuarios a atender
Simulación evento discreto	Departamento financiero y de inventarios	Promodel, Excel	Utilidades netas, ROI, cargas de trabajo, distancia entre locaciones, niveles de inventario, capacidad del proceso.
Simulación evento discreto	Departamento de producción.	Excel	Cantidades a producir por semanas, costos, comportamiento de las políticas.
Simulación evento continuo	Departamento financiero	Crystal Ball	Estructura general de costos, variabilidad de cargos.
Simulación evento continuo	Departamento financiero	Visual basic- Excel	Ingresos, gastos, recuperación de inversión, toneladas de caña por hectarea.
Modelo financiero	Departamento financiero	Excel	Viabilidad, rentabilidad, duración de la actividad,
Modelo de Programación Lineal	Departamento de producción.	Excel	Mejorar el mantenimiento preventivo, cumplimiento de requerimientos, eficiencia de maquinarias, reducir fallas.

Fuente: El autor

6.3 DESARROLLO DE LA ENCUESTA

6.3.1 Procedimiento

El desarrollo del censo fue llevado a cabo en 3 etapas mostradas a continuación:

Etapas de diseño: fue diseñado un cuestionario que ayudará de manera cualitativa a medir todas las variables de interés anteriormente planteadas. Cada variable tiene una diversidad de preguntas que responden y que entregan datos que analizados generarán un diagnóstico acerca del impacto de la aplicación de este tipo de herramientas en las empresas donde se llevo a cabo.

Se elaboró un cuestionario de 16 preguntas, VER ANEXO A, todas las preguntas tienen implícitamente los indicadores mencionados en la tabla 1, que podrán ser calificados de 1 a 5 como excelente (5), Bueno (4), Regular (3), Malo (2), Deficiente (1), debido a esto, y para el correcto análisis de la encuesta cada uno de los ítems que contiene el cuestionario son enumerados, razón por la cual el número total de preguntas a analizar será de 58 como se muestra.

- Preguntas 1 - 14: Información General
- Preguntas 15, 40 - 43: Trascendencia en el Tiempo.
- Preguntas 23, 44 - 48, 53 – 58: Nivel de Utilización.
- Preguntas 16, 22 – 28: Impacto Generado.
- Preguntas 30 – 34, 49 – 52: Capacidad de Adaptación.
- Preguntas 17 – 21, 29, 35 – 39: Interés.

Etapas de medición: el censo fue aplicado a 16 empresas del sector empresarial del Valle del Cauca de manera personal, en las cuales se había propuesto y aplicado un proyecto de modelación matemática o simulación, sabiendo que este método es el más efectivo al momento de ejecutar una investigación de este tipo donde se necesita la interacción entre el encuestado y el encuestador.

Igualmente, fue necesario aclarar a las empresas encuestadas que la información recolectada era de uso académico y se utilizará para efectos del trabajo de grado, además se solicitó dar la información correcta sin ninguna excepción ya que esto no afectará ni actividades, ni el buen nombre de la empresa sino que por el contrario hará de esta investigación un estudio exitoso.

Por otra parte, para el análisis final de las preguntas se determinó que en las encuestas que estén calificadas como excelente (5) o buena (4), serán analizadas de la misma manera ya que están indicando que la pregunta fue respondida de manera positiva, el resto de las preguntas serán analizadas de manera contraria lo que indica que la temática de la pregunta tiene una calificación relativamente baja. La gráfica donde se exhibirán los resultados aparecerán todas las opciones de calificación posibles debido a que es de suma importancia mostrar los porcentajes proyectados por el análisis estadístico, las preguntas están distribuidas de tal manera que el encuestado tenga una secuencia lógica en sus respuestas y la información recolectada sea más certera.

Etapas de tabulación: En esta etapa, el objetivo es organizar los resultados para su correcto análisis, se elaboró una base de datos en Excel donde se agrupan los indicadores pertinentes a cada variable y su ponderación. De la misma manera, se realiza una sumatoria de los porcentajes obtenidos en cada ítem que posteriormente se dividirán sobre el número de ítems analizados generando un promedio que se utilizará para el análisis de la variable.

6.3.2 Resultados de la encuesta

A continuación se dan a conocer los resultados de la encuesta desarrollada para la realización de un diagnóstico que permita analizar de manera clara y concisa cuál es el impacto y el nivel de utilización de los trabajos de grado desarrollados bajo un enfoque de modelación matemática y de simulación en el sector empresarial del Valle del Cauca.

Inicialmente, se analizan las preguntas relativas a Información General que dan un dictamen previo para conocer cuál es la metodología más utilizada por parte de las empresas para resolver los problemas presentes, el uso de herramientas de modelación matemática y de simulación en los procesos empresariales y las condiciones de la relación Empresa – Universidad.

Los resultados establecen que metodologías como intuición, experiencia, habilidad y procedimientos previamente establecidos son los más frecuentes para la resolución de los problemas presentes dentro de las compañías del sector empresarial del Valle del Cauca. VER ANEXO B tablas 4 y 5.

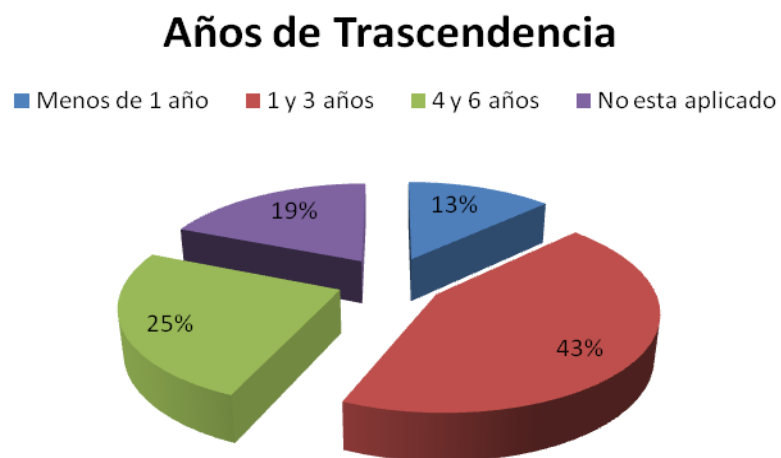
Para determinar el uso y conocimiento de herramientas de investigación de operaciones los resultados de la encuesta muestran que los modelos de inventarios son los más conocidos en este campo por parte de los jefes del departamento, la simulación como instrumento de solución de problemas tiene una calificación intermedia de uso y conocimiento, herramientas como modelos econométricos y modelos estadísticos probabilísticos son los menos conocidos y no son tenidos en cuenta para afrontar problemas de este tipo. VER ANEXO B.

La relación Empresa – Universidad es estable, ya que cuando las empresas han solicitado algún apoyo por parte de las universidades, la respuesta ha sido muy buena y con excelentes resultados, por otra parte, los encargados de solicitar y recibir estudiantes para desarrollar proyectos asociados con modelación matemática y simulación muestran disponibilidad. VER ANEXO B. Tablas 14 – 16.

6.4 ANÁLISIS DE LAS VARIABLES DE INTERES

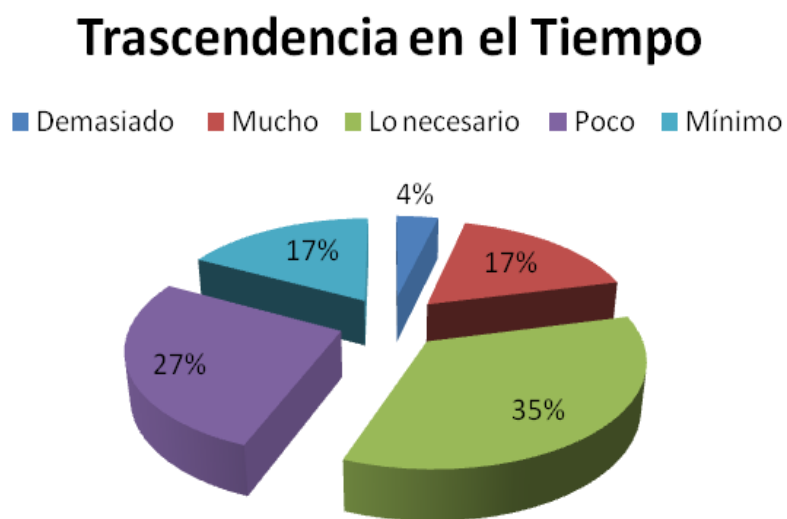
6.4.1 *Trascendencia en el tiempo:* Para comenzar el análisis de esta variable y de acuerdo a los resultados de la encuesta se presentó que un 13% de los modelos analizados están implementados hace menos de un año, el 42% entre 1 y 3 años, el 25% entre 4 y 6 años y el 19% restante indica que el modelo desarrollado no está siendo aplicado o no se tuvo en cuenta desde su diseño.

Gráfica 6. Años de trascendencia



Fuente: El autor

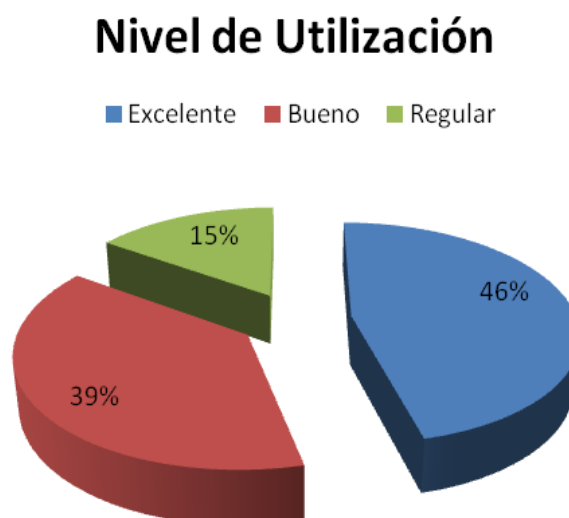
Gráfica 7. Trascendencia en el Tiempo.



Fuente: El autor

Analizando la Gráfica 7 se determinó que del total de encuestados, tanto el 4% correspondiente a demasiado como el 17% que hace parte de la escala de valoración mucho, indica que la capacidad de toma de decisiones con base al modelo y los cambios en los procedimientos de actividades que están involucradas con el mismo, han tenido modificaciones que de una u otra manera han variado los resultados entregados. No obstante, indicadores más relevantes, como cantidad de resultados obtenidos y cambios en los parametros iniciales del modelo, señalan que el comportamiento de dichos modelos a lo largo del tiempo son estables, ya que no han sufrido una alteración considerable que afecte esta variable. VER ANEXO C. Tablas 18, 20.

Gráfica 8. Nivel de Utilización



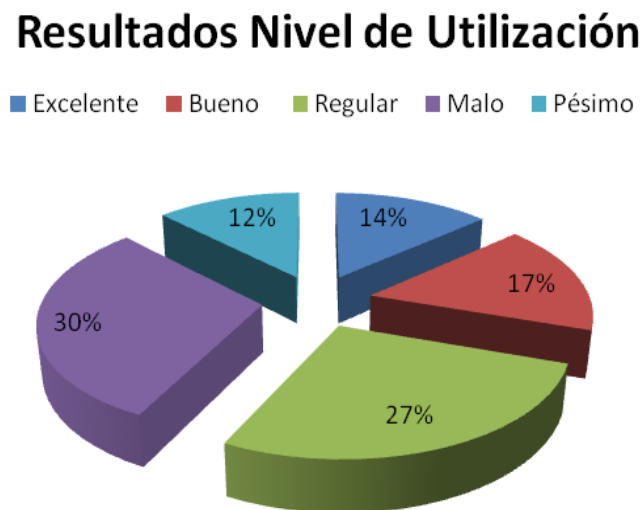
Fuente: El autor

6.4.2 Nivel de utilización: Para llevar a cabo el análisis de esta variable, considerada la de mayor importancia para el desarrollo del presente estudio, primero se analiza un solo indicador (nivel de utilización) que es el que determina

cuál es el nivel de utilización de los modelos propuestos y desarrollados en las empresas objeto de estudio. Este indicador como se ve en la gráfica 8, demuestra que los modelos tienen una gran acogida por parte de las personas encargadas de gestionar el área donde fue aplicado.

Por otra parte, se analizan diferentes aspectos que responden al nivel de utilización del modelo en cuanto a resultados obtenidos y sus causas para que sean positivos o negativos, además se determinan cuales fueron los factores más relevantes para no poner en práctica el proyecto propuesto.

Gráfica 9. Resultados Nivel de Utilización

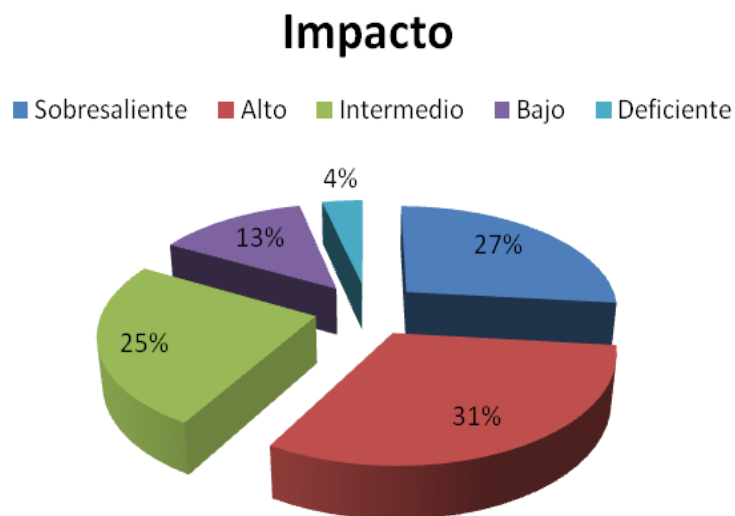


Fuente: El autor.

Observando la Gráfica 9, se establece una respuesta positiva con un 14% correspondiente a excelente y un 17% a la categoría bueno, esto debido a indicadores con una alta ponderación en el análisis de la encuesta, existen factores que inciden negativamente en lo que concierne al nivel de utilización, por eso dentro de esta variable se hace necesario analizar las encuestas en las que los resultados mostraron que no fue o no está implementado el modelo propuesto.

Dichas encuestas revelan que ítems como falta de personal conocedor del tema, falta de tiempo y falta de apoyo gerencial, son las principales causas para que el estudio que se llevó a cabo dentro de la organización no tuviese ninguna importancia y no fuera tomado en cuenta por lo menos como una alternativa de solución. Así mismo, la urgencia de resultados, la falta de conocimiento y el no comprender la utilidad de estas herramientas hacen que de 16 encuestas elaboradas, en tan sólo 3 el modelo no haya sido desarrollado a cabalidad. Cifra considerable, ya que a pesar de que son pocos los trabajos de grado enfocados a desarrollar modelación matemática o de simulación, la mayoría de los trabajos que se realizan tienen la característica de que son bien trabajados y tienen un alto impacto en la organización como factor clave de mejorar cualquier tipo de proceso además de permanecer vigentes a lo largo del tiempo. VER ANEXO D. Tablas 22 – 32.

Gráfica 10. Impacto Generado



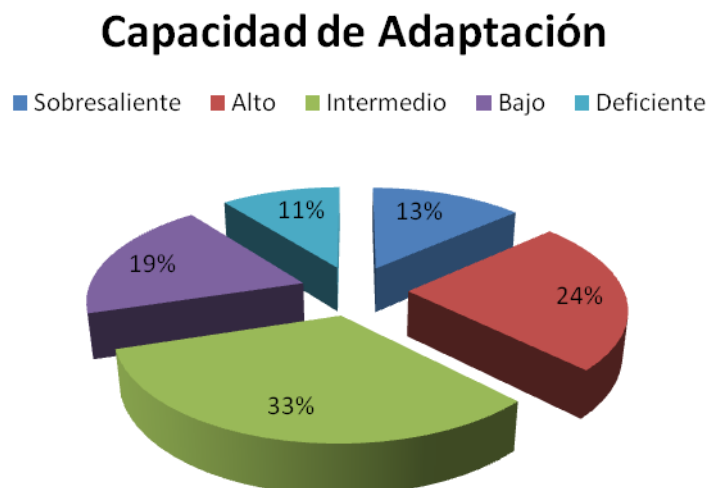
Fuente: El autor.

6.4.3 Impacto: Una manera adecuada de analizar el impacto de la implementación de modelos matemáticos o de simulación desarrollados en una compañía, es analizando las repercusiones que positiva o negativamente tuvo la ejecución del proyecto propuesto operacionalmente.

Variables como la mejora en utilización de los recursos disponibles y la planificación de actividades dentro de la organización con un 27% y 31% calificadas como excelente y buena respectivamente, tienen una aprobación por parte de las personas encargadas de ejecutar estas actividades y demuestran que el modelo desarrollado sí entrega buenos resultados durante su puesta en práctica VER ANEXO E, tablas 35 Y 36.

De igual manera, hay temáticas como simplicidad en toma de decisiones y la obtención de tiempo para otros problemas, que tienen una calificación muy pobre, que no son de mayor relevancia o que no son de fácil percepción por parte de las personas como la simplicidad en la toma de decisiones que operacionalmente discutiendo, aportan de manera negativa con un 17%.

Gráfica 11. Capacidad de adaptación



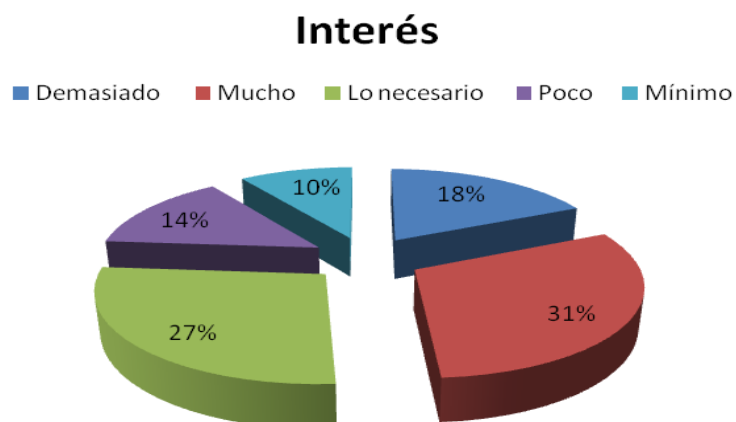
Fuente: El autor

6.4.4 Capacidad de Adaptación: El análisis de esta variable permite determinar con certeza, cuales son los problemas más frecuentes durante la etapa de adaptación, es por esto que las preguntas realizadas en el cuestionario para ayudar a medir dicha variable, están enfocadas a calificar el grado de dificultad que se asumió cuando se comenzó con la implementación del proyecto propuesto.

Existen tres temáticas que marcan notablemente la dificultad de adaptación, dichas temáticas están relacionadas con la interpretación y la implementación de los resultados una vez el modelo comenzó a funcionar, de igual forma y haciendo parte del 13% y 24% mostrados y calificados como sobresaliente y alto respectivamente en la gráfica 11, que hacen parte el tipo de enfoque dado al proyecto y lo que concierne a sistematización y computación VER ANEXO F, tablas 41 Y 44.No obstante, también hay factores asociados a supuestos planteados por el modelo, aplicación errónea de la herramienta, nivel de incertidumbre del modelo y falta de conocimiento del tema, que no tienen incidencias en la adaptación del modelo.

Lo dicho anteriormente, se establece observando los resultados de la gráfica 10, la cual indica que aproximadamente el 60% de los encuestados tienen los conocimientos pertinentes para ajustarse a los cambios que la implementación de un modelo de este tipo puede acarrear.

Gráfica 12. Interés



Fuente: El autor.

6.4.5 Interés: Para la evaluación de esta variable, se analizaron temas de interés como la participación en actividades de diseño del modelo y aportes que sugerían cambios en la determinación del modelo propuesto y otros factores que se analizarán con mayor precaución.

Analizando la gráfica 12, los encuestados contestaron como 18% demasiado y 31% mucho el nivel de interés, teniendo en cuenta aspectos como disponibilidad de volver a utilizar este tipo de metodología para solucionar un problema, la preocupación por participar en la elaboración del modelo y a su vez analizar continuamente los resultados obtenidos a través del tiempo. De modo que estos factores hacen que los porcentajes anteriores tengan una buena participación en lo que a interés se refiere. VER ANEXO G, tablas 53, 55 y 56.

Por otra parte, llevando a cabo el análisis de los indicadores restantes, cabe resaltar que de manera global no tienen una mala calificación, lo que quiere decir que existe un interés marcado por parte de las personas encargadas de dirigir el departamento en participar e interactuar con este tipo de actividades. Sin embargo indicadores como consultas para un mejoramiento continuo del modelo, la

modificación de algún parámetro para obtener los resultados deseados o la determinación de alguna falla durante el funcionamiento del modelo no tienen mucha frecuencia, lo que demuestra la gráfica pertinente a la variable interés con calificaciones de 27%, 14% y 10% como lo necesario, poco y mínimo respectivamente, dando a conocer que los encuestados han declarado un alto interés en participar de actividades bajo un enfoque de modelación matemática o de simulación.

7. PRUEBAS DE CORRELACIÓN

Se hizo necesario para efectos del estudio, realizar un análisis que determinará la relación existente entre las variables anteriormente determinadas. Para llevar a cabo el desarrollo de estas pruebas, se establecieron las variables que hipotéticamente pueden tener nexos entre sus frecuencias, estas variables son:

Nivel de Utilización-Impacto y Nivel de utilización-Capacidad de Adaptación. Dado que la variable Nivel de Utilización es la más relevante del presente estudio, se pretende mirar la correlación entre dicha variable y las dos variables que más tienen vínculos entre sí.

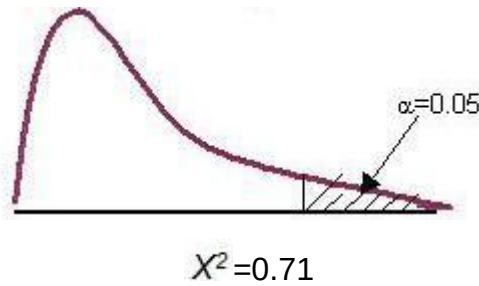
Como se dijo anteriormente se plantearon dos relaciones a las cuales se les realizó el estudio estadístico.

Gráfica 13. Correlación existente entre Nivel de Utilización con respecto a Impacto generado en las empresas del sector.

Hipótesis Nula: El Impacto generado en las empresas es independiente con el Nivel de Utilización.

Hipótesis Alterna: El impacto generado de los modelos desarrollados es dependiente del Nivel de Utilización.

Gráfica 13. Ji cuadrado de independencia.



Fuente: El autor.

Con 4 grados de libertad y una probabilidad de 0.95, el valor de la ji-cuadrada es de 0.71, el cual está ubicado en la gráfica, como el valor de ji-cuadrado de Pearson equivale a 1.26 hallado mediante la aplicación de tablas de contingencia y estadísticos calculados en Excel, este es mayor que 0.71, por lo que se acepta la hipótesis alterna y se ubica en la región de rechazo.

Esto indica que existe una dependencia o incidencia entre el Nivel de Utilización y la Eficiencia Operacional de las empresas analizadas del sector empresarial del Valle del Cuaca.

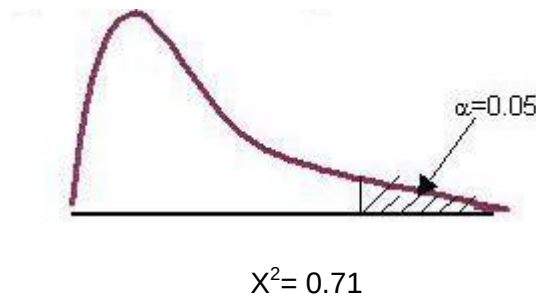
Grafica 14. Correlación existente entre Nivel de Utilización con respecto a la Capacidad de Adaptación una vez el modelo está siendo desarrollado.

Hipótesis Nula: La Capacidad de Adaptación es independiente del Nivel de Utilización.

Hipótesis Alterna: La Capacidad de Adaptación del modelo por parte de las empresas depende del Nivel de Utilización de los modelos.

Este análisis permitirá observar y analizar si existe una correlación entre el utilizar eficientemente los modelos desarrollados dentro de las empresas analizadas y si de alguna manera esta utilización afecta la capacidad que tienen las empresas de adaptarse a los cambios generados por los mismos.

Grafica 14. Ji cuadrado de independencia.



Fuente: El autor

Con los mismos grados de libertad (4) que en el análisis anterior y la misma probabilidad, se determinó el valor del ji cuadrado de Pearson donde se obtuvo un valor de 0.61 hallado mediante los cálculos pertinentes, este valor es menor que 0.71 por lo que se acepta la Hipótesis nula, lo cual indica que no existe una dependencia entre la Capacidad de adaptación de las empresas respecto a los modelos y su Nivel de Utilización.

8. SÍNTESIS VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LOS MODELOS PROPUESTOS.

Finalmente, al evaluar los resultados obtenidos por el estudio, se determinó que las empresas que desarrollan plenamente las propuestas académicas de modelación matemática y de simulación adquieren una serie de ventajas competitivas que las hace más productivas, trayendo consigo eficiencia operacional, minimización de costos, aprovechamiento de recursos y mejoramiento en los procesos.

No obstante, la implementación de este tipo de proyectos requiere de un gran conocimiento del tema, siendo este factor determinante para que el uso de este tipo de herramientas se dificulte y no se aproveche de la manera adecuada.

9. CONCLUSIONES

- El desarrollo e implementación de modelos matemáticos o de simulación en el sector empresarial estudiado es deficiente, ya que una mínima cantidad de trabajos de grado desarrollados dentro de las universidades trabaja con las temáticas estudiadas.
- Los trabajos de grado que fueron desarrollados e implementados en las empresas del sector, tienen un gran nivel de utilización, además de un notable impacto en cuanto a las operaciones de dicha compañía, teniendo como punto relevante la utilización de los recursos disponibles y la planificación de actividades.
- Las metodologías de acudir a grupos multidisciplinarios, modelos estadísticos probabilísticos y a modelos econométricos como herramientas de análisis en la toma de decisiones, son las menos tenidas en cuenta por parte de las empresas de la región.
- Aspectos de suma importancia como falta de personal conocedor del tema, falta de tiempo, falta de apoyo gerencial y el desconocimiento de la utilidad de estas herramientas, son razones de peso para que las empresas del sector empresarial no investiguen acerca del uso de estas herramientas y se priven de sus beneficios.
- La relación Empresa – Universidad, es calificada como medianamente buena, dado los resultados obtenidos en los cuestionarios desarrollados durante el estudio. Adicionalmente, existe un número considerable de encuestados encargados de sus departamentos que están dispuestos a participar de actividades, tener nexos con las universidades y proyectos de este género además de tener en cuenta y aceptar estudiantes para realizar práctica profesional.

- La modelación matemática y la simulación como herramientas de solución a problemas, son temáticas de poco interés por parte de las universidades del departamento que ofrecen el programa de Ingeniería Industrial, ya que se encontraron escasos registros de trabajos de grado de este tipo en 4 de 9 universidades aptas para el desarrollo de proyectos de esta índole.
- Dentro de las características más relevantes de los trabajos de grado estudiados y analizados, se determinó que la mayoría son de simulación dirigidos a evaluar o mejorar un proceso en el área de producción o logística.
- Con base en los resultados de la investigación donde no se encontraron aspectos negativos relacionados con flexibilidad del modelo, modelo difícil de operar, entre otros, se determinó que la mayoría de los modelos matemáticos o de simulación, fueron diseñados de manera acorde a los requerimientos del problema teniendo en cuenta los factores críticos y logrando los objetivos propuestos al inicio de la implementación del proyecto.
- Factores clave como el análisis de resultados y la sistematización y computación de los programas que son necesarios para ejecutar plenamente estas herramientas, son el mayor problema que poseen las empresas para adaptarse a los cambios que trae la implementación de las mismas.
- Luego del análisis de la variable impacto, se determinó que las áreas donde más incide la implementación de un proyecto de grado de modelación matemática o de simulación es operacional y económicamente.

- Con los resultados de correlación ya establecidos, se concluyó que el nivel de utilización de los modelos está relacionado notablemente con la eficiencia operacional presentada en el departamento aplicado. Por otra parte, esta misma variable no incide con la capacidad que tienen las empresas de adoptar estos modelos propuestos.
- Factores como falta de tiempo y falta de apoyo gerencial, son determinantes para impedir el desarrollo a cabalidad de los proyectos propuestos y en el peor de los casos su no implementación.
- El conocimiento de las herramientas para la solución de problemas ofrecidos por la investigación de operaciones es escaso, ya que a pesar de que hay una buena relación entre los entes generadores de conocimiento y las empresas, hace falta una plena interacción entre estas entidades para lograr el máximo beneficio posible.
- Dentro de los resultados del censo, se estableció que los modelos que no están siendo utilizados como instrumento de análisis o mejora en las empresas del sector, tienen como principal debilidad el grado de actualización de estas herramientas a través del tiempo y la presión generada por obtener resultados inmediatos.

10.RECOMENDACIONES

Teniendo en cuenta los beneficios que conlleva la implementación de proyectos de grado enfocados en modelación matemática y de simulación, se recomienda incentivar en los estudiantes, la adopción de este tipo de investigaciones, con el fin de que exista un mayor registro de los beneficios y las ventajas que tiene su utilización y así generar el impacto positivo no sólo en las empresas sino también en los estudiantes y por ende en la misma universidad.

Es importante que aquellas empresas del sector que desarrollaron e implementaron modelación matemática y simulación sigan incentivando su utilización, teniendo en cuenta que los resultados obtenidos en la empresa fueron realmente satisfactorios, de modo que para lograr mejores resultados se puede difundir o capacitar a todas las personas involucradas en el proceso o departamento y así facilitar su operación y adaptación.

Estudiar la posibilidad de crear grupos de investigación en el sector encaminados a resolver, apoyar y fomentar la utilización de herramientas relacionadas con la investigación de operaciones como instrumento generador de ventajas competitivas y mejoras continuas en los procesos de las empresas del sector, trayendo consigo beneficios recíprocos entre Universidades, Empresas y Sociedad.

La información asociada a los trabajos de grado desarrollados por estudiantes y docentes bajo la supervisión de la universidad como ente portador y generador de conocimiento, debe ser mejor aprovechada por el sector empresarial, quien tiene que ofrecer su apoyo en todas las etapas que requieren este tipo de proyectos con el fin de facilitar el desarrollo del mismo.

Es de suma importancia mantener un mejoramiento continuo y constante actualización relacionada con el enfoque del proyecto, ya sea por medio de técnicas de retroalimentación, informes o documentos que sirvan de soporte en el proceso y registren sus resultados, para de esta manera monitorear continuamente el proceso y evitar desviaciones que se puedan presentar en relativas a los objetivos del proyecto.

Universidades que ofrecen el programa de Ingeniería Industrial, deberán preocuparse por desarrollar proyectos relacionados con investigación de operaciones y sus aplicaciones, ya que esto fortalecerá los nexos entre Universidades y Empresas a partir del flujo e intercambio de información que circule entre estos entes.

A pesar de que los trabajos de grado enfocados en modelación matemática o simulación tienen un alto nivel de utilización y un gran impacto, son poco utilizados por parte de las empresas del sector, lo que provoca un llamado de atención a atacar y enfrentar los principales problemas que tienen dichas empresas para aceptar, participar, desarrollar e implementar este tipo de proyectos.

Empresas del sector deben aprovechar que tienen el respaldo de entes generadores de conocimiento que están dispuestos a apoyar, participar y solucionar inconvenientes que puedan ser casos de estudio para la generación de propuestas académicas en busca de mejores resultados.

BIBLIOGRAFÍA

AGUILERA del PINO, Ana María, Análisis de Tablas de Contingencia, Disponible en versión PDF <http://www.ugr.es/~focana/dclasif/aaguilera.pdf> Consultado en el año 2011

BESTERFIELD, D. H. (1995). Control de calidad. 4 ed. Juárez: pretince hall Hispanoamérica, 1994. Cap 5.

GUARAN, Sepúlveda y HERRANDO Mario, Determinación del estado de inserción de los modelos matemáticos y de Investigación de Operaciones en el sector empresarial de Cali y su área de influencia. Cali 1995.

KRAJEWSKI, Lee J. RITZMAN, Larry P. y MALHOTRA, Mnoj K. Administración de operaciones, procesos y cadenas de valor. 8 ed. México; Pearson Educación. 2008.

HILLIER, Frederick y LIEBERMAN, Gerald, Introducción a la Investigación de Operaciones. 7 ed. España. Editorial Mc GRAW-HILL

MARTINEZ BENCARDINO, Ciro. Estadística y muestreo. 12 ed., Bogotá: ecoe ediciones, 2005, p. 389 - 393.

MORAL, Eva Medina, Análisis de Datos Cualitativos, 2005, Disponible en versión PDF http://www.uam.es/personal_pdi/economicas/eva/pdf/tab_conting.pdf

NORIEGA Carlos Rodado Revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería y la Sociedad Colombiana de la investigación de Operaciones. Colombia 2002

PRÉKOPA, Andras, Stochastic Programming Mathematics and Applications. 1 ed. 1995 Editorial Publisher

RINCÓN, Martha Luz, Revista papeles de administración hoy. Colombia 2008.

SHAMBIN, James, Investigación de Operaciones un enfoque fundamental. 5 ed. México. Editorial McGraw-HILL.

SAMPIERI, Roberto, Metodología de la Investigación. 4 ed. México Editorial McGraw- Hill.

VIDAL, Carlos Julio, El impacto de la investigación de operaciones en el sector empresarial de Cali y su área de influencia. Cali 1996.

.

ANEXOS

ANEXO A. Cuestionario de la encuesta.

UNIVERSIDAD DEL VALLE 2011

MODELOS MATEMATICOS Y SIMULACION APLICADOS EN EL SECTOR
EMPRESARIAL DEL VALLE DEL CAUCA

PALMIRA MAYO DE 2011

EMPRESA: _____

DIRECCION: _____

TELEFONO: _____

DEPARTAMENTO: _____

ENCUESTADO: _____

CARGO: _____

FECHA: _____

ENCUESTADOR: _____

NUMERO ENCUESTA: _____

Haciendo uso de su mejor criterio, seleccione la calificación apropiada en la escala de 5 valores que aparece frente a algunas preguntas. El significado de cada uno de los valores es el siguiente

5. Demasiado,	Excelente,	Sobresaliente
4. Mucho,	Bueno,	Alto
3. Lo necesario,	Regular,	Intermedio
2. Poco,	Malo,	Bajo
1. Mínimo,	Pésimo,	Deficiente.

I. INFORMACION GENERAL

1. Para el análisis de problemas y toma de decisiones, indique con qué frecuencia usa cada una de las siguientes metodologías en su departamento:

Intuición, experiencia y habilidad

1	2	3	4	5
1	2	3	4	5
1	2	3	4	5
1	2	3	4	5
1	2	3	4	5

Procedimientos previamente establecidos

Apoyado en modelos matemáticos

Asesoría de empresas consultoras

Grupos multidisciplinarios.

2. Si ha usado modelos matemáticos o de simulación en su departamento, indique con qué frecuencia:

Modelos de programación lineal, no lineal

1	2	3	4	5
1	2	3	4	5
1	2	3	4	5
1	2	3	4	5
1	2	3	4	5

Modelos de inventarios

Modelos econométricos

Simulación

Modelos estadísticos probabilísticos.

3. Qué programas de computador en modelación matemática o simulación existen en su departamento. Indique la aplicación

NOMBRE DEL PROGRAMA

APLICACIÓN

4. Si ha solicitado apoyo a las universidades para la solución en su departamento de problemas complejos como fue la respuesta

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

5. Qué tan satisfactorios fueron los resultados

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

6. Que tan dispuesto esta a solicitar apoyo de las universidades para la solución de algún problema de su departamento

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

7. Qué tan dispuesto esta a recibir en su departamento estudiantes para realizar práctica empresarial, investigaciones o trabajos de grado.

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

En el año _____ se realizó un proyecto de simulación de procesos en el departamento de producción con base en este hecho por favor conteste:

1 INFORMACION ESPECIFICA

1. ¿Desde cuándo tiene implementado este modelo es el departamento?

___ Menos de un año ___ Entre 1 y 3 años ___ Entre 4 y 6 años. ___ No está aplicado

Si está implementado, continúe, de lo contrario pase a la pregunta 14

2. ¿Cuál es el nivel de impacto generado desde la implementación de este modelo?

___ Alto ___ Muy alto ___ Medio ___ Bajo ___ Muy bajo

3. ¿Qué aspectos tuvo en cuenta para la aceptación de este modelo en el departamento?

Presentación de la propuesta

Observar la viabilidad del proyecto entregado

Conocimiento previo de los beneficios de esta herramienta

No encontró mejor salida para la solución del problema

No se habían preocupado por la mejora de esta sección.

1	2	3	4	5
1	2	3	4	5
1	2	3	4	5
1	2	3	4	5
1	2	3	4	5

4. ¿Dónde se ha notado más la implementación de este modelo como la solución a los problemas?

1. Económicamente

2. Operacionalmente

3. Servicios

4. 1 y 2

5. 1 y 3

6. 2 y 3

1	2	3	4	5
1	2	3	4	5
1	2	3	4	5
1	2	3	4	5
1	2	3	4	5
1	2	3	4	5

5. Califique en su departamento el nivel de utilización del modelo propuesto

___ Demasiado ___ Mucho ___ Lo necesario ___ Poco ___ Mínimo

6. ¿Qué nota como jefe del departamento que se logró, se está logrando o se logrará con este modelo implementado?

Planificación de actividades.

Utilización de los recursos disponibles.

Simplicidad en la toma de decisiones.

Tiempo para la atención de otros problemas

Motivación gerencial y operacional por los resultados obtenidos

1	2	3	4	5
1	2	3	4	5
1	2	3	4	5
1	2	3	4	5
1	2	3	4	5

7. ¿Qué tanto estuvo dispuesto a participar en cada una de las actividades del desarrollo e implementación del modelo?

___ Demasiado ___ Mucho ___ Lo necesario ___ Poco ___ Mínimo

8. ¿Qué fue lo más difícil de adaptar durante la implementación de dicho modelo en su departamento?

Supuestos planteados por el modelo

El enfoque dado al proyecto

Aplicación errónea de la herramienta

Nivel de incertidumbre del modelo

No está aplicado en la actualidad

1	2	3	4	5
1	2	3	4	5
1	2	3	4	5
1	2	3	4	5
1	2	3	4	5

9. ¿Consideraría volver a utilizar este tipo de metodología para la solución de algún problema presente en la organización?

Con seguridad lo tendría en cuenta

--

Es muy probable que SI

--

Es muy probable que NO

--

Nunca volvería a considerar esta alternativa

--

10. ¿Ha tenido algún aporte valido para la mejora de este modelo?

Modificación del objetivo principal del modelo

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

Análisis de los resultados obtenidos a través tiempo

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

Consultas acerca de posibles mejoras del modelo

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

Determinación de una falla en el modelo propuesto

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

11. ¿Durante la utilización de este modelo qué factores se han modificado con el transcurrir del tiempo?

Cantidad de resultados obtenidos

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

Capacidad de toma de decisiones en base al modelo

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

Cambio de los parámetros del modelo por cambios en alguna variable que fue considerada como determinante en el mismo.

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

Cambios en los procedimientos para llevar a cabo las actividades del departamento

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

12. Sí el modelo no ha arrojado resultados positivos, cómo ha contribuido cada una de las siguientes causas para que esta situación se presente:

Modelo difícil de operar

Modelo poco flexible a los cambios

Resultados poco realistas

Otras soluciones superan las ofrecidas por el modelo

El modelo no aporta ninguna información adicional.

1	2	3	4	5
1	2	3	4	5
1	2	3	4	5
1	2	3	4	5
1	2	3	4	5
1	2	3	4	5

13. Califique el grado de dificultad que ha tenido en las siguientes etapas cuando quizo usar el modelo planteado como solución:

Sistematización/computación

Interpretación de resultados

Implementación de los resultados

Falta de conocimiento del tema

1	2	3	4	5
1	2	3	4	5
1	2	3	4	5
1	2	3	4	5
1	2	3	4	5

14. Califique cuales son los factores más determinantes para no usar el modelo planteado como herramienta de análisis en la solución del problema

Falta de equipos y programas de cómputo

Falta de personal conocedor del tema

Falta de tiempo

Falta de apoyo gerencial

Urgencia de resultados

No se conoce su utilidad

1	2	3	4	5
1	2	3	4	5
1	2	3	4	5
1	2	3	4	5
1	2	3	4	5
1	2	3	4	5

ANEXO B. Tablas de frecuencias *Información General*

Tabla 4. Intuición, Experiencia y Habilidad

Int, Exp, Habi	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia acumulada	Porcentaje acumulado
5	4	0.25	4	0.25
4	3	0.19	7	0.44
3	8	0.50	15	0.94
2	1	0.06	16	1.00
1	0	0.00	16	1.00
	16	1.00		

Tabla 5. Procedimientos previamente establecidos.

Proced prev. Establecidos	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia acumulada	Porcentaje acumulado
5	6	0.38	6	0.38
4	8	0.50	14	0.88
3	2	0.13	16	1.00
2	0	0.00	16	1.00
1	0	0.00	16	1.00
	16	1.00		

Tabla 6. Apoyado en Modelos matemáticos

Apoyado en mm	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia acumulada	Porcentaje acumulado
5	0	0.00	0	0.00
4	1	0.06	1	0.06
3	7	0.44	8	0.50
2	8	0.50	16	1.00
1	0	0.00	16	1.00
	16	1.00		

Tabla 7. Asesoría empresas consultoras.

Asesoría empresas	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia acumulada	Porcentaje acumulado
5	0	0.00	0	0.00
4	5	0.31	5	0.31
3	2	0.13	7	0.44
2	5	0.31	12	0.75
1	4	0.25	16	1.00
	16	1.00		

Tabla 8. Grupos multidisciplinarios.

Grupos multidisciplinar	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia acumulada	Porcentaje acumulado
5	0	0.00	0	0.00
4	0	0.00	0	0.00
3	0	0.00	0	0.00
2	2	0.13	2	0.13
1	14	0.88	16	1.00
	16	1.00		

Tabla 9. Modelos de programación lineal, no lineal.

Mod PL / NL	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia acumulada	Porcentaje acumulado
5	0	0.00	0	0.00
4	2	0.13	2	0.13
3	7	0.44	9	0.56
2	7	0.44	16	1.00
1	0	0.00	16	1.00
	16	1.00		

Tabla 10. Modelos de inventarios.

Mod Inventario	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia acumulada	Porcentaje acumulado
5	0	0.00	0	0.00
4	7	0.44	7	0.44
3	1	0.06	8	0.50
2	5	0.31	13	0.81
1	3	0.19	16	1.00
	16	1.00		

Tabla 11. Modelos econométricos.

Mod Econom.	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia acumulada	Porcentaje acumulado
5	0	0.00	0	0.00
4	2	0.13	2	0.13
3	3	0.19	5	0.31
2	4	0.25	9	0.56
1	7	0.44	16	1.00
	16	1.00		

Tabla 12. Simulación

Simulación	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia acumulada	Porcentaje acumulado
5	0	0.00	0	0.00
4	4	0.25	4	0.25
3	9	0.56	13	0.81
2	3	0.19	16	1.00
1	0	0.00	16	1.00
	16	1.00		

Tabla 13. Modelos estadísticos probabilísticos.

Mod estadísticos Probabilístico	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia acumulada	Porcentaje acumulado
5	0	0.00	0	0.00
4	0	0.00	0	0.00
3	2	0.13	2	0.13
2	10	0.63	12	0.75
1	4	0.25	16	1.00
	16	1.00		

Tabla 14. Respuesta de las universidades a la solicitud de apoyo.

Respuesta de U	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia acumulada	Porcentaje acumulado
5	2	0.13	2	0.13
4	4	0.25	6	0.38
3	6	0.38	12	0.75
2	3	0.19	15	0.94
1	1	0.06	16	1.00
	16	1.00		

Tabla 15. Que tan satisfactorios fueron los resultados.

Satisfacción resultados	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia acumulada	Porcentaje acumulado
5	2	0.13	2	0.13
4	6	0.38	8	0.50
3	3	0.19	11	0.69
2	3	0.19	14	0.88
1	2	0.13	16	1.00
	16	1.00		

Tabla 16. Disponibilidad de solicitar apoyo a las Universidades.

Solicitud de apoyo a Us	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia acumulada	Porcentaje acumulado
5	6	0.38	6	0.38
4	5	0.31	11	0.69
3	5	0.31	16	1.00
2	0	0.00	16	1.00
1	0	0.00	16	1.00
	16	1.00		

Tabla 17. Disponibilidad de recibir estudiantes en práctica.

Disp. Estudiantes práctica	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia acumulada	Porcentaje acumulado
5	5	0.31	5	0.31
4	8	0.50	13	0.81
3	2	0.13	15	0.94
2	1	0.06	16	1.00
1	0	0.00	16	1.00
	16	1.00		

ANEXO C. Tablas de frecuencia para variable *Trascendencia en el tiempo*.

Tabla 18. Cantidad de resultados obtenidos.

Cant. Resultados obtenidos	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia acumulada	Porcentaje acumulado
5	0	0.00	0	0.00
4	4	0.31	4	0.31
3	2	0.15	6	0.46
2	6	0.46	12	0.92
1	1	0.08	13	1.00
	13	1.00		

Tabla 19. Capacidad de toma de decisiones en base al modelo.

Capac toma de decisiones	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia acumulada	Porcentaje acumulado
5	0	0.00	0	0.00
4	3	0.23	3	0.23
3	9	0.69	12	0.92
2	1	0.08	13	1.00
1	0	0.00	13	1.00
	13	1.00		

Tabla 20. Cambio de los parámetros del modelo.

Cambio parámetros modelo	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia acumulada	Porcentaje acumulado
5	1	0.08	1	0.08
4	1	0.08	2	0.15
3	3	0.23	5	0.38
2	6	0.46	11	0.85
1	2	0.15	13	1.00
	13	1.00		

Tabla 21. Cambio en los procedimientos.

Cambio en procedimiento	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia acumulada	Porcentaje acumulado
5	1	0.08	1	0.08
4	1	0.08	2	0.15
3	4	0.31	6	0.46
2	1	0.08	7	0.54
1	6	0.46	13	1.00
	13	1.00		

ANEXO D. Tablas de frecuencias para variable *Nivel de Utilización*.

Tabla 22. Nivel de Utilización

Nivel de Utilización	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia acumulada	Porcentaje acumulado
5	6	0.46	6	0.46
4	5	0.38	11	0.85
3	2	0.15	13	1.00
2	0	0.00	13	1.00
1	0	0.00	13	1.00
	13	1.00		

Tabla 23. Modelo difícil de operar.

Modelo difícil de operar	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia acumulada	Porcentaje acumulado
5	0	0.00	0	0.00
4	1	0.08	1	0.08
3	4	0.31	5	0.38
2	8	0.62	13	1.00
1	0	0.00	13	1.00
	13	1.00		

Tabla 24. Modelo poco flexible a los cambios.

Modelo poco flexible	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia acumulada	Porcentaje acumulado
5	0	0.00	0	0.00
4	0	0.00	0	0.00
3	5	0.38	5	0.38
2	4	0.31	9	0.69
1	4	0.31	13	1.00
	13	1.00		

Tabla 25. Resultados poco realistas.

Resultados poco realistas	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia acumulada	Porcentaje acumulado
5	0	0.00	0	0.00
4	0	0.00	0	0.00
3	5	0.38	5	0.38
2	5	0.38	10	0.77
1	3	0.23	13	1.00
	13	1.00		

Tabla 26. Otras soluciones superan las ofrecidas por el modelo.

Otras soluciones superan el modelo	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia acumulada	Porcentaje acumulado
5	1	0.08	1	0.08
4	1	0.08	2	0.15
3	3	0.23	5	0.38
2	3	0.23	8	0.62
1	5	0.38	13	1.00
	13	1.00		

Tabla 27. No aporta ninguna información adicional.

No aporta información adicional	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia acumulada	Porcentaje acumulado
5	1	0.08	1	0.08
4	3	0.23	4	0.31
3	4	0.31	8	0.62
2	5	0.38	13	1.00
1	0	0.00	13	1.00
	13	1.00		

Tabla 28. Falta de equipos y programas de cómputo.

Falta equipo y programas	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia acumulada	Porcentaje acumulado
5	0	0.00	0	0.00
4	1	0.33	1	0.33
3	0	0.00	1	0.33
2	2	0.67	3	1.00
1	0	0.00	3	1.00
	3	1.00		

Tabla 29. Falta de personal conocedor del tema.

Falta de personal conocedor	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia acumulada	Porcentaje acumulado
5	1	0.33	1	0.33
4	2	0.67	3	1.00
3	0	0.00	3	1.00
2	0	0.00	3	1.00
1	0	0.00	3	1.00
	3	1.00		

Tabla 30. Falta de tiempo.

Falta de tiempo	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia acumulada	Porcentaje acumulado
5	2	0.67	2	0.67
4	1	0.33	3	1.00
3	0	0.00	3	1.00
2	0	0.00	3	1.00
1	0	0.00	3	1.00
	3	1.00		

Tabla 31. Falta de apoyo gerencial.

Falta de apoyo gerencial	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia acumulada	Porcentaje acumulado
5	1	0.33	1	0.33
4	2	0.67	3	1.00
3	0	0.00	3	1.00
2	0	0.00	3	1.00
1	0	0.00	3	1.00
	3	1.00		

Tabla 32. Urgencia de resultados.

Urgencia de resultados	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia acumulada	Porcentaje acumulado
5	0	0.00	0	0.00
4	0	0.00	0	0.00
3	3	1.00	3	1.00
2	0	0.00	3	1.00
1	0	0.00	3	1.00
	3	1.00		

Tabla 33. No conocimiento de su utilidad.

No conoce su utilidad	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia acumulada	Porcentaje acumulado
5	1	0.33	1	0.33
4	0	0.00	1	0.33
3	0	0.00	1	0.33
2	2	0.67	3	1.00
1	0	0.00	3	1.00
	3	1.00		

ANEXO E. Tablas de frecuencia para la variable *Impacto Generado*.

Tabla 34. Nivel de impacto

Nivel impacto generado	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia acumulada	Porcentaje acumulado
5	1	0.08	1	0.08
4	9	0.69	10	0.77
3	3	0.23	13	1.00
2	0	0.00	13	1.00
1	0	0.00	13	1.00
	13	1.00		

Tabla 35. Planificación de actividades.

Planificación actividades	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia acumulada	Porcentaje acumulado
5	5	0.38	5	0.38
4	3	0.23	8	0.62
3	4	0.31	12	0.92
2	1	0.08	13	1.00
1	0	0.00	13	1.00
	13	1.00		

Tabla 36. Utilización de recursos disponibles.

Utilización recursos disponibles	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia acumulada	Porcentaje acumulado
5	7	0.54	7	0.54
4	4	0.31	11	0.85
3	2	0.15	13	1.00
2	0	0.00	13	1.00
1	0	0.00	13	1.00
	13	1.00		

Tabla 37. Simplicidad en toma de decisiones.

Simplicidad en toma decisiones	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia acumulada	Porcentaje acumulado
5	3	0.23	3	0.23
4	3	0.23	6	0.46
3	1	0.08	7	0.54
2	4	0.31	11	0.85
1	2	0.15	13	1.00
	13	1.00		

Tabla 38. Tiempo para atender otros problemas.

Tiempo para otros problemas	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia acumulada	Porcentaje acumulado
5	1	0.08	1	0.08
4	3	0.23	4	0.31
3	6	0.46	10	0.77
2	2	0.15	12	0.92
1	1	0.08	13	1.00
	13	1.00		

Tabla 39. Motivación gerencial y operacional por los resultados.

Motivación gerencial	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia acumulada	Porcentaje acumulado
5	0	0.00	0	0.00
4	5	0.38	5	0.38
3	4	0.31	9	0.69
2	4	0.31	13	1.00
1	0	0.00	13	1.00
	13	1.00		

ANEXO F. Tablas de frecuencia para la variable *Capacidad de Adaptación*

Tabla 40. Supuestos planteados por el modelo.

Supuesto planteados	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia acumulada	Porcentaje acumulado
5	2	0.15	2	0.15
4	3	0.23	5	0.38
3	3	0.23	8	0.62
2	5	0.38	13	1.00
1	0	0.00	13	1.00
	13	1.00		

Tabla 41. El enfoque dado al proyecto.

Enfoque del proyecto	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia acumulada	Porcentaje acumulado
5	1	0.08	1	0.08
4	6	0.46	7	0.54
3	5	0.38	12	0.92
2	1	0.08	13	1.00
1	0	0.00	13	1.00
	13	1.00		

Tabla 42. Aplicación errónea de la herramienta.

Mal aplicación herramienta	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia acumulada	Porcentaje acumulado
5	0	0.00	0	0.00
4	0	0.00	0	0.00
3	4	0.31	4	0.31
2	4	0.31	8	0.62
1	5	0.38	13	1.00
	13	1.00		

Tabla 43. Nivel de incertidumbre del modelo.

Nivel incertidumbre del modelo	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia acumulada	Porcentaje acumulado
5	0	0.00	0	0.00
4	1	0.08	1	0.08
3	4	0.31	5	0.38
2	4	0.31	9	0.69
1	4	0.31	13	1.00
	13	1.00		

Tabla 44. Sistematización – computación.

Sistematización computación	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia acumulada	Porcentaje acumulado
5	2	0.15	2	0.15
4	4	0.31	6	0.46
3	2	0.15	8	0.62
2	4	0.31	12	0.92
1	1	0.08	13	1.00
	13	1.00		

Tabla 45. Interpretación de resultados.

Interpretación resultados	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia acumulada	Porcentaje acumulado
5	4	0.31	4	0.31
4	4	0.31	8	0.62
3	5	0.38	13	1.00
2	0	0.00	13	1.00
1	0	0.00	13	1.00
	13	1.00		

Tabla 46. Implementación de resultados.

Implementación resultados	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia acumulada	Porcentaje acumulado
5	3	0.23	3	0.23
4	5	0.38	8	0.62
3	4	0.31	12	0.92
2	1	0.08	13	1.00
1	0	0.00	13	1.00
	13	1.00		

Tabla 47. Falta de conocimiento del tema.

Falta conocimiento del tema	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia acumulada	Porcentaje acumulado
5	2	0.15	2	0.15
4	2	0.15	4	0.31
3	7	0.54	11	0.85
2	1	0.08	12	0.92
1	1	0.08	13	1.00
	13	1.00		

ANEXO G. Tablas de frecuencia para la variable *Interés*

Tabla 48. Presentación de la propuesta.

Presentación propuesta	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia acumulada	Porcentaje acumulado
5	4	0.31	4	0.31
4	5	0.38	9	0.69
3	3	0.23	12	0.92
2	1	0.08	13	1.00
1	0	0.00	13	1.00
	13	1.00		

Tabla 49. Observar la viabilidad del proyecto.

Viabilidad del proyecto	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia acumulada	Porcentaje acumulado
5	4	0.31	4	0.31
4	6	0.46	10	0.77
3	3	0.23	13	1.00
2	0	0.00	13	1.00
1	0	0.00	13	1.00
	13	1.00		

Tabla 50. Conocimiento previo de los beneficios de la herramienta.

Conocimiento previo beneficios	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia acumulada	Porcentaje acumulado
5	2	0.15	2	0.15
4	5	0.38	7	0.54
3	3	0.23	10	0.77
2	3	0.23	13	1.00
1	0	0.00	13	1.00
	13	1.00		

Tabla 51. No encontró mejor solución.

No mejor solución	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia acumulada	Porcentaje acumulado
5	0	0.00	0	0.00
4	1	0.08	1	0.08
3	3	0.23	4	0.31
2	4	0.31	8	0.62
1	5	0.38	13	1.00
	13	1.00		

Tabla 52. No preocupación por mejorar esta área.

No preocupa problemas	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia acumulada	Porcentaje acumulado
5	0	0.00	0	0.00
4	6	0.46	6	0.46
3	3	0.23	9	0.69
2	1	0.08	10	0.77
1	3	0.23	13	1.00
	13	1.00		

Tabla 53. Disponibilidad de participar en el desarrollo.

Disponibilidad participar	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia acumulada	Porcentaje acumulado
5	5	0.38	5	0.38
4	4	0.31	9	0.69
3	4	0.31	13	1.00
2	0	0.00	13	1.00
1	0	0.00	13	1.00
	13	1.00		

Tabla 54. Considerar volver a utilizar esta metodología.

Volver a utilizar esta metodología	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia acumulada	Porcentaje acumulado
5	0	0.00	0	0.00
4	8	0.62	8	0.62
3	5	0.38	13	1.00
2	0	0.00	13	1.00
1	0	0.00	13	1.00
	13	1.00		

Tabla 55. Modificaciones en el objetivo del proyecto.

Modifica objetivo principal	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia acumulada	Porcentaje acumulado
5	2	0.15	2	0.15
4	2	0.15	4	0.31
3	4	0.31	8	0.62
2	3	0.23	11	0.85
1	2	0.15	13	1.00
	13	1.00		

Tabla 56. Análisis de resultados a través del tiempo.

Análisis de resultados	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia acumulada	Porcentaje acumulado
5	5	0.38	5	0.38
4	3	0.23	8	0.62
3	4	0.31	12	0.92
2	1	0.08	13	1.00
1	0	0.00	13	1.00
	13	1.00		

Tabla 57. Consultas acerca de mejoras en el modelo.

Consultas posibles mejoras	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia acumulada	Porcentaje acumulado
5	3	0.23	3	0.23
4	2	0.15	5	0.38
3	5	0.38	10	0.77
2	0	0.00	10	0.77
1	3	0.23	13	1.00
	13	1.00		

Tabla 58. Determinación de fallas en el modelo.

Determinación de fallas	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia acumulada	Porcentaje acumulado
5	1	0.08	1	0.08
4	2	0.15	3	0.23
3	2	0.15	5	0.38
2	7	0.54	12	0.92
1	1	0.08	13	1.00
	13	1.00		