



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Gestión de Proyectos Complejos: Perspectiva desde la Complejidad

Luz Stella Cardona Meza

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Departamento de Ingeniería Industrial
Doctorado Ingeniería-Industria y Organizaciones
Manizales, Colombia
2019

Gestión de Proyectos Complejos: Perspectiva desde la Complejidad

Luz Stella Cardona Meza

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:
Ph.D. en Ingeniería

Director (a):
Ing. Ph.D. Luz Arabany Ramírez Castañeda
Codirector (a):
Ing. Ph.D. Jorge Eduardo Hurtado Gómez

Línea de Investigación:
Organizaciones, sistemas y gestión de la tecnología, la Información, el conocimiento y la
innovación tecnológica

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Departamento de Ingeniería Industrial
Doctorado Ingeniería-Industria y Organizaciones
Manizales, Colombia
2019

Dedicatoria

A las personas y mi familia que estuvieron cerca de mí durante este tiempo de estudio, su paciencia y comprensión, todo con el propósito de hacer lo posible por sacar este trabajo de grado adelante. A Gerard Olivar Tost por apoyarme y animarme a continuar aun en los momentos de dificultad y a aquellas personas que siempre me dieron esperanza y me hacían ver todas las dificultades como una oportunidad para continuar adelante.

Agradecimientos

Agradezco a los profesores Luz Arabany Ramírez Castañeda y Jorge Eduardo Hurtado Gómez, mis directores de mi tesis, por el acompañamiento, enseñanzas y revisiones que me permitieron avanzar y culminar este proyecto de vida.

Resumen

Gran parte del pensamiento que domina la gestión de proyectos como se aplica hoy, se basa todavía en teorías de control desarrolladas en algunos casos desde los años de 1950. Sin embargo, los problemas se producen cuando se aplican unilateralmente a todo tipo de proyecto. En entornos complejos los problemas de gestión surgen de suponer que los resultados pueden ser totalmente determinados inicialmente y luego entregarse como estaba previsto. Sin embargo, una vez que un proyecto alcanza un tamaño crítico, un nivel de ambigüedad e interconexión y los enfoques basados en el control no funcionan.

Estudios que han monitoreado proyectos muestran el bajo porcentaje de desempeño: en algunos casos sólo el 15% y en otros el 39% superan el éxito. Algunos autores han concluido que la perspectiva clásica ha resultado insuficiente para entender la dinámica de la complejidad.

Los proyectos que abordan situaciones complejas, pueden describirse como sistemas adaptativos complejos, con múltiples componentes dinámicos interdependientes, múltiples procesos de retroalimentación, relaciones no lineales y manejo de datos duros (dinámica de procesos) y de datos blandos (dinámica del equipo ejecutor).

Este trabajo propone un modelo para el estudio de los proyectos, desde una perspectiva evolutiva, pasando de la perspectiva clásica basada en el estándar internacional PMBOK® a la visión de la complejidad. A través de redes complejas se simuló la estructura dinámica del proyecto y sus trayectorias, simulaciones que condujeron a una herramienta de decisión a partir de la identificación de procesos críticos, con el propósito de obtener un mejor desempeño en los proyectos.

Palabras clave: perspectiva clásica, sistemas complejos, red compleja, gestión de proyectos, PMBOK®.

Complex Project Management: Perspective from Complexity

Abstract

Much of the thinking that dominates project management as it applies today is still based on control theories developed in some cases since the 1950s. However, problems occur when they are applied unilaterally to all types of projects. In complex environments, management problems arise from the assumption that results can be fully determined initially and then delivered as intended. However, once a project reaches a critical size, a level of ambiguity and interconnectedness and control-based approaches do not work.

Studies that have monitored projects show the low percentage of performance: in some cases only 15% and in others 39% exceed success. Some authors have concluded that the classical perspective has proved insufficient to understand the dynamics of complexity.

Projects that address complex situations can be described as complex adaptive systems, with multiple interdependent dynamic components, multiple feedback processes, non-linear relationships and management of hard data (process dynamics) and soft data (dynamics of the implementing team).

This work proposes a model for the study of projects, from an evolutionary perspective, going from the classical perspective based on the international standard PMBOK® to the vision of complexity. Through complex networks the dynamic structure of the project and its trajectories were simulated, simulations that led to a decision tool from the identification of critical processes, with the purpose of obtaining a better performance in the projects.

Key words: classical perspective, complex systems, complex network, project management, PMBOK®.

Tabla de contenido

| | |
|---|-----------|
| Resumen | IX |
| Lista de figuras..... | XIII |
| Lista de tablas | XV |
| Introducción | 17 |
| Propuesta Investigativa | 21 |
| Problema de investigación..... | 21 |
| Problema principal..... | 22 |
| Preguntas de investigación | 22 |
| Sistema de objetivos | 24 |
| Resumen del capítulo | 24 |
| CAPITULO 1 – Revisión teórica de la perspectiva clásica de los proyectos. | 26 |
| 1.1. Historia evolutiva del cuerpo del conocimiento..... | 26 |
| 1.2. Conceptualización del proceso de repensar la gestión de proyectos..... | 28 |
| Resumen del capítulo | 34 |
| CAPÍTULO 2 – Revisión de la relación entre complejidad y proyectos..... | 35 |
| 2.1. Generalidades | 35 |
| 2.2. Complejidad y la gestión de proyectos | 35 |
| 2.3. Proyectos complejos y componentes que pueden definir su nivel de complejidad. | 42 |
| 2.4. Complejidad y pensamiento complejizador | 46 |
| Resumen del capítulo | 52 |
| CAPÍTULO 3 – Ciencias de la administración y de la gestión..... | 53 |
| 3.1. La crisis de la epistemología positivista de las ciencias de la administración y de la gestión. | 53 |
| 3.2. La crisis del pensamiento simplificador de la gestión de los proyectos complejos. | 54 |
| 3.3. Pensamiento complejo y la toma de decisiones transdisciplinar, una nueva racionalidad. | 55 |
| 3.4. La racionalidad en la gestión de proyectos complejos..... | 57 |
| Resumen del capítulo | 58 |
| CAPÍTULO 4 - Modelo de modelos teórico para el estudio de un proyecto complejo | 59 |
| Resumen del capítulo | 63 |
| CAPÍTULO 5. Aplicación del modelo de modelos para el estudio de un proyecto complejo | 64 |
| 5.1. Desarrollo del modelo mental..... | 64 |
| 5.1.1. Modelo mental - discursivo clásico | 64 |
| 5.1.2. Modelo mental – discursivo desde la complejidad | 65 |
| 5.2. Desarrollo del modelo conceptual | 66 |
| 5.2.1 Desarrollo del modelo metodológico o fase de diseño..... | 69 |
| 5.2.2 Desarrollo del modelo empírico o fase de recolección, construcción y análisis | 71 |

| | |
|---|------------|
| 5.2.3 Conclusiones Investigación Empírica | 76 |
| 5.3. Desarrollo del modelo teórico-genérico | 77 |
| 5.3.1. Modelo de flujos de información | 85 |
| 5.3.2 Modelo causal | 89 |
| 5.3.3. Modelo de flujos y niveles | 90 |
| 5.3.4. Modelo red compleja de subprocesos/actividades | 91 |
| 5.4. Desarrollo del modelo de simulación | 94 |
| Resumen del capítulo | 95 |
| CAPÍTULO 6. Resultados de las simulaciones..... | 98 |
| 6.1. Generalidades | 98 |
| 6.2. Definiciones | 100 |
| 6.3 Medidas para redes temporales..... | 101 |
| 6.3.1. Concepto: trayectoria temporal más corta | 102 |
| 6.3.2. Concepto: tiempo de contacto | 103 |
| 6.3.4. Concepto de medida nodal: Centralidad temporal | 104 |
| 6.3.5. Concepto de medida nodal: Centralidad de proximidad temporal | 104 |
| 6.3.6. Concepto de medida global: Latencia de accesibilidad | 105 |
| 6.3.7. Medida de superposición topológica promedio | 105 |
| 6.3.8. Modelo de simulaciones | 106 |
| 6.4. Primera simulación: Simulación de procesos con base en el modelo teórico-genérico | 109 |
| 6.4.1. Conclusiones primera simulación | 125 |
| 6.5. Segunda simulación: Modelado de la red compleja de procesos/atributos/variables con base en el estándar PMBOK® (2013) | 127 |
| 6.5.1. Conclusiones segunda simulación | 138 |
| 6.6. Tercera simulación: Modelado de la red compleja de procesos/atributos/variables con base en un caso de estudio específico..... | 140 |
| 6.6.1. Conclusiones Tercera simulación | 152 |
| 6.7. Cuarta simulación: Modelado de la red compleja de actividades en fase de ejecución, con base en un caso de estudio específico, a través de la dinámica de sistemas. | 154 |
| 6.7.1. Resultados y discusión de la simulación de la red compleja de actividades. | 161 |
| Resumen del capítulo | 169 |
| 7. Conclusiones y recomendaciones..... | 171 |
| 7.1. Conclusiones..... | 171 |
| 7.2. Recomendaciones | 175 |
| 8. Producción académica | 177 |
| Anexo 1: Flujos de información. | 179 |
| Anexo 2: Contenido de cada identificador en el modelo de flujos. | 191 |
| Anexo 3: Entradas y salidas de la red compleja. | 195 |
| Anexo 4: Diseño de la encuesta..... | 214 |
| Anexo 5: Resultados de la aplicación de los instrumentos en la investigación empírica. | 216 |

| | |
|--|------------|
| Anexo 6: Resultados de la aplicación de los instrumentos en la investigación empírica. | 219 |
| Bibliografía | 223 |

Lista de figuras

| | Pág. |
|--|------|
| Figura 1. Marco conceptual sobre proyectos complejos. | 39 |
| Figura 2. Mapeo de la complejidad en proyectos | 40 |
| Figura 3. Modelo de modelos para el estudio de un proyecto complejo..... | 60 |
| Figura 4. Antecedente del ciclo de vida de proyectos desde la perspectiva clásica. | 64 |
| Figura 5. Modelo mental del ciclo de vida de proyectos desde la perspectiva de la complejidad. | 65 |
| Figura 6. Modelo-EP (modelo para el estudio de un proyecto complejo)..... | 75 |
| Figura 7. Esquema general del sistema complejo. | 79 |
| Figura 8. Proyecto complejo visto como un sistema complejo adaptativo..... | 80 |
| Figura 9. Espacios de novedades y factores exógenos. | 81 |
| Figura 10. Dinámica en el espacio de novedades y factores críticos..... | 82 |
| Figura 11. Ciencias de la complejidad en la modelación de un proyecto complejo..... | 83 |
| Figura 12. Grupo de procesos y áreas del conocimiento de la guía metodológica PMBOK®..... | 86 |
| Figura 13. Diagrama de flujos de información y procesos..... | 88 |
| Figura 14. Modelo causal: procesos inicio y planificación | 89 |
| Figura 15. Modelo causal: procesos planificación – continuación Figura 14..... | 90 |
| Figura 16. Modelo de flujos y niveles, Forrester. | 91 |
| Figura 17. Estructura operativa – Diseño red compleja de procesos..... | 92 |
| Figura 18. Estructura operativa, diseño niveles red compleja de procesos. | 93 |
| Figura 19. Grafo temporal Figura 20. Grafo estático..... | 100 |
| Figura 21. Concepto de trayectoria temporal mas corta | 103 |
| Figura 22. Ejemplo de una red temporal que ilustra la diferencia conceptual entre centralidad de grado temporal y centralidad de proximidad temporal..... | 104 |
| Figura 23. Red temporal adaptativa | 108 |
| Figura 24. Proceso inicio, subproceso desarrollar el acta de constitución del proyecto. | 109 |
| Figura 25. Proceso ejecución, subproceso dirigir y gestionar el trabajo del proyecto. | 110 |
| Figura 26. Proceso inicio, subproceso desarrollar el acta de constitución del proyecto y relaciones con otros nodos, secuencia inicial. | 111 |
| Figura 27. Proceso inicio, subproceso desarrollar el acta de constitución del proyecto y relaciones con otros nodos, secuencia intermedia. | 112 |
| Figura 28. Proceso inicio, subproceso desarrollar el acta de constitución del proyecto y relaciones con otros nodos, secuencia final. | 112 |
| Figura 29. Red compleja de subprocesos, proceso de inicio y planificación..... | 113 |
| Figura 30. Nodos 1 y 38 procesando. | 115 |
| Figura 31. Nodos 1 y 38 enviando información y nodo 3 recibiendo..... | 116 |
| Figura 32. Nodos 1 y 38 en espera y nodo 3 procesando..... | 117 |
| Figura 33. Nodo 3 enviando información a nodos. | 118 |
| Figura 34. Dinámica de los nodos y las conexiones..... | 119 |
| Figura 35. Grados de los 49 nodos, resultado de una simulación completa. | 120 |
| Figura 36. Grados del nodo 0 (repositorio), durante toda la simulación. | 122 |
| Figura 37. Grados del nodo 20 (desarrollar el cronograma), durante toda la simulación. | 122 |
| Figura 38. Grados del nodo 4 (desarrollar el plan para la dirección), durante toda la simulación. | 123 |

| | |
|--|------------|
| Figura 39. Primera secuencia, red compleja de atributos. | 130 |
| Figura 40. Segunda secuencia, red compleja de atributos. | 131 |
| Figura 41. Tercera secuencia, red compleja de atributos..... | 132 |
| Figura 42. Cuarta secuencia, red compleja de atributos. | 133 |
| Figura 43. Secuencia, red compleja de atributos. | 134 |
| Figura 44. Secuencia, red compleja de atributos. | 135 |
| Figura 45. Grados de los nodos. | 137 |
| Figura 46. Primera secuencia, red compleja caso de estudio específico..... | 142 |
| Figura 47. Segunda secuencia, red compleja caso de estudio específico..... | 143 |
| Figura 48. Tercera secuencia, red compleja caso de estudio específico..... | 144 |
| Figura 49. Cuarta secuencia, red compleja caso de estudio específico. | 145 |
| Figura 50. Secuencia, red compleja caso de estudio específico. | 146 |
| Figura 51. Secuencia, red compleja caso de estudio específico. | 147 |
| Figura 52. Grados del nodo 4, planificar la gestión del alcance. | 149 |
| Figura 53. Grados del nodo 1, desarrollar el acta de constitución del proyecto. ... | 150 |
| Figura 54. Grados de la red compleja. | 151 |
| Figura 55. Ciclo del control del proyecto..... | 155 |
| Figura 56. Diagrama de Flujo y Niveles sobre la actividad de un proyecto, modelo dinámica de sistemas. | 157 |
| Figura 57. Red compleja de actividades, fase de ejecución..... | 162 |
| Figura 58. Comportamiento de las variables básicas..... | 166 |
| Figura 59. Variación del cronograma y del costo. | 167 |
| Figura 60. Variación del cronograma y del costo. | 167 |
| Figura 61. Comportamiento variables pronóstico..... | 169 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|--|-----|
| Tabla 1. Aportes investigativos relevantes para los proyectos y su gestión: 1950–2000 | 27 |
| Tabla 2 . Comparación de la gestión clásica de proyectos con la reconsideración de la gestión de proyectos. | 28 |
| Tabla 3. Desarrollo histórico de la relación proyectos y complejidad..... | 37 |
| Tabla 4. Comparativo conceptual sobre seis dimensiones desarrolladas sobre proyectos complejos..... | 37 |
| Tabla 5. Modelo de complejidad del proyecto..... | 40 |
| Tabla 6. Componentes que definen nivel de complejidad en proyectos complejos | 42 |
| Tabla 7. Caracterización de proyectos..... | 45 |
| Tabla 8. Areas del conocimiento y procesos PMBOK® (2013). | 87 |
| Tabla 9. Especificaciones red de niveles..... | 92 |
| Tabla 10. Ejemplo red temporal..... | 99 |
| Tabla 11. Identificación nodos y estados | 111 |
| Tabla 12. Fuente, Destino y Salidas del subproceso desarrollar el acta de constitución del proyecto..... | 114 |
| Tabla 13. Ejemplo de identificadores para fuente, destino y salida. | 115 |
| Tabla 14. Ejemplo de identificadores para fuente, destino y salida. | 115 |
| Tabla 15. Resultados de la simulación. | 119 |
| Tabla 16. Nodos con mayor grado. | 120 |
| Tabla 17. Nodos con menor grado. | 121 |
| Tabla 18. Nodos con mayor adyacencia. | 124 |
| Tabla 19. Identificación de atributos y variables, subproceso desarrollar el acta de constitución del proyecto. | 128 |
| Tabla 20. Variables por área del conocimiento | 129 |
| Tabla 21. Resultados tipos de nodos..... | 136 |
| Tabla 22. Nodos más fuertes. | 137 |
| Tabla 23. Nodos con mayor adyacencia con otros. | 138 |
| Tabla 24. Procesos y nivel de criticidad. | 140 |
| Tabla 25. Resultados grados totales de la red compleja. | 148 |
| Tabla 26. Grados totales por subproceso. | 151 |
| Tabla 27. Nodos con mayor adyacencia con otros..... | 152 |
| Tabla 28. Procesos y nivel de criticidad. | 153 |
| Tabla 29. Ejemplo de la Norma Técnica para el caso de estudio, nodo 1 y 2. | 158 |
| Tabla 30. Ejemplo de variables endógenas y valores obtenidos | 164 |
| Tabla 31. Ejemplo de variables exógenas y valores obtenidos | 164 |
| Tabla 32. Resultados de las primeras tres semanas. | 165 |
| Tabla 33. Valores resultados de la simulación..... | 165 |

Introducción

Los proyectos desde tiempo atrás han sido una práctica empresarial de aporte significativo para las organizaciones y de resultados importantes en general; es así como la gestión de proyectos se presenta como un factor clave para el éxito de los mismos y para alcanzar los objetivos estratégicos de las empresas (Whitty & Maylor, 2009).

En 1600 aparece de manera formal la palabra “proyecto” (diccionario inglés de Oxford), y a partir del año 1950 aparece el constructo social de “gestión de proyectos” (en el sector de defensa Aeroespacial de los Estados Unidos, USAF), cuyo primer exponente fue el Brigadier Bernard Schriever, quien implementó el concepto de concurrencia integrando todos los elementos del plan del proyecto en un solo programa y presupuesto, ejecutándolo en paralelo y no de manera secuencial. A partir de aquí, surgen técnicas específicas; uso de histogramas y cronogramas, los conceptos de ciclo de vida del proyecto, descomposición de tareas (Work Breakdown Structure), conformando así la base del conocimiento de la perspectiva clásica de proyectos (Morris, Pinto & Söderlun, 2012).

De acuerdo con Padalkar & Gopinath (2016), gran parte de los primeros estudios de gestión de proyectos, que van hasta los años ochenta, emplean métodos conceptuales o analíticos, se centran en la optimización de la programación, apoyada en la premisa de que las actividades del proyecto y sus interrelaciones son fijas y mensurables (Kolisch, 1996, Herroelen et al., 1998, Kolisch y Padman, 2001; Herroelen y Leus, 2004, 2005).

Es así como las diferentes investigaciones sobre proyectos dan cuenta que desde 1950 la gestión de los mismos tiene como referente la perspectiva clásica, caracterizada por: a) procesos lineales deterministas, planificación por fases, procesos de control y evaluación, b) procesos de simplificación, basados en principios de reducción (búsqueda analítica de lo elemental) y disyunción (separar para conocer) y, c) la predecibilidad (Svejvig & Andersen, 2014).

Un proceso se dice determinista si todo su curso futuro y pasado están unívocamente determinados por su estado en el momento presente. Lo que equivale a decir que los valores observables de los estados del sistema en un instante vienen dados por las observaciones en el instante de partida, por las condiciones iniciales (Cardona, 2001).

Esta perspectiva clásica ha seguido siendo instrumentalista, al tiempo que busca modelos/métodos de decisión con el objetivo de analizar el desempeño del proyecto (como el estándar PMBOK® del PMI, Project Management Institute, fundado en 1969 y cuyo estándar ha llegado a su 6ta edición en el 2017).

A partir de los años sesenta una pequeña corriente no determinista comienza a emerger sobre esta perspectiva clásica determinista; esta incluye la crítica del PERT y de la distribución beta (Grubbs, 1962; MacCrimmon y Ryavec, 1964; Schonberger, 1981), así como la consideración de la gestión de proyectos no solamente desde una mirada determinística (Shenhar & Dvir 2007). En esta corriente comienza a considerarse el modelado de la incertidumbre de fenómenos del proyecto, al ampliar los supuestos sobre atributos que son considerados fijos (Burt, 1977, Cook y Jennings, 1979; Williams, 1992;

Bowman, 1995; Cho y Yum, 1997; Elmaghraby et al., 1999; Chapman y Ward, 2000), inicia el uso de la dinámica de sistemas para modelar los efectos no lineales de los bucles de retroalimentación en los proyectos (Williams et al., 1995; Rodrigues y Williams, 1998; Williams, 1999; Eden et al., 2000), y el modelado del proyecto bajo supuestos difusos o probabilísticos (Chanas y Zieliński, 2001; Browning y Eppinger, 2002; Van de Vonder et al., 2005; Jensen et al., 2006; Chen, 2007).

La corriente no determinista tiene significación en vista de la débil naturaleza teórica de la gestión de proyectos, lo cual ha sido sustentado por diferentes autores (Shenhar y Dvir, 1996; Shenhar, 2001; Söderlund, 2004; Cicmil et al., 2006; Smyth y Morris, 2007; Whitty y Maylor, 2009; Morris, 2010; Jacobsson y Söderholm, 2011).

Una vez revisada la literatura, se observan intentos de modelos de la gestión de proyectos relacionados con la complejidad (Austin et al., 2002, Howick y Eden, 2001, Xia y Lee, 2004, 2005; Cho y Eppinger, 2005; Danilovic y Browning, 2007); discusiones teóricas, definiciones o términos constitutivos de complejidad (Baccarini, 1996, Williams, 1999, Shenhar, 2001, Pich et al., 2002; Sommer y Loch, 2004; Benbya y McKelvey, 2006; Cooke-Davies et al., 2007; Geraldí y Adlbrecht, 2007; Maylor et al., 2008; Vidal y Marle, 2008; Girmscheid & Brockmann 2008; Brady y Davies, 2010; Lenfle, 2011; Geraldí et al., 2007; Ramasesh y Browning, 2014) o de incertidumbre (Tatikonda y Rosenthal, 2000, Turner y Müller, 2003; Ward y Chapman, 2003; Cho y Eppinger, 2005; Atkinson et al., 2006; Perminova et al., 2008). Lo anterior constituye una base importante de estudio para iniciar la presente investigación.

Estudios que han monitoreado los proyectos durante los últimos 15 años (Standish Group 2013¹, Shenhar & Dvir², 2007) dan cuenta del bajo porcentaje en los resultados de desempeño de los mismos.

En algunos casos sólo el 15% y en otros el 39% de los proyectos, superan el éxito (Shenhar & Dvir, 2007). Alrededor del 85% de los proyectos estudiados no cumplieron con el tiempo y el presupuesto asignado (Shenhar & Dvir, 2007), los costos de proyectos mal gestionados ascienden alrededor de U\$150 billones por año en Estados Unidos (Larson & Gray, 2011) y en Canadá alrededor de U\$97 billones por año (Estadística del Gobierno Canadiense, 2011).

Algunos autores han concluido que la perspectiva clásica ha resultado insuficiente para entender la dinámica actual de los proyectos (Helbrough, 1995; Williams, 1999) y no han logrado profundizar en determinar el bajo nivel de desempeño de los mismos, ni plantear alternativas para mejorar estos resultados (Shenhar & Dvir 2007).

Con referencia al bajo porcentaje del éxito de los proyectos, estudios de Herzog (2001) indicaron que la razón puede ser la insuficiente interrelación con el trabajo colaborativo; por ejemplo, la falta de confianza entre los miembros del equipo (quienes comparten responsabilidad por el éxito del proyecto) y la alta rotación del personal durante la ejecución

¹ The Standish Group International, Inc. CHAOS Report, presenta resultados de proyectos de TI en Estados Unidos y Europa. Por cada período reportado, el 60% de los proyectos son de Estados Unidos, el 25% son de Europa y el 15% restante son del resto del mundo. Boston, Massachusetts.

² Shenhar & Dvir han investigado durante más de 15 años sobre resultados en más de 6 millones de proyectos, de diferentes sectores y en varios países.

de los mismos. En cuanto a la dificultad para explicar los resultados, estudios de Singh & Singh (2002) han planteado que, si bien una interrelación entre gerentes, equipos, metodologías y sistemas de medida puede darse, no pueden explicarse claramente por qué incluso con un buen gerente y con un buen equipo, un proyecto que está predestinado al éxito, fracase.

En este contexto Kendra & Taplin (2004) indican que estas conjeturas, altamente ligeras, necesitan ser investigadas con más profundidad, de manera que se refute o se acepte la interrelación entre gerentes de proyectos, equipos de proyectos, metodología (procesos) y los sistemas de medida que conduzcan al éxito.

Del mismo modo, y haciendo referencia a la dificultad en la explicación, estudios de Singh & Singh (2002) parecieran respaldar la investigación de Parker & Stacey (1996), quienes indican que, si hay una dificultad en explicar el éxito/fracaso de los proyectos a través de la perspectiva clásica, se podría explicar a través de las ciencias de la complejidad.

En los años noventa aparecen resultados de estudios empíricos que estudian el éxito/fracaso de los proyectos (C S Lim and Zaim Mohamed, 1999; Baccarini 1999; Kloppenborg y Opfer, 2002; Pillai, Joshi, & Rao, 2002; Tesch et al., 2003; Turner y Müller, 2005; Jugdev y Müller, 2005; Rozenes et al., 2006; Huemann et al., 2007; Prabhakar, 2008; Ika, 2009; Barclay & Osei-Bryson, 2010; Wi & Jung, 2010; Müller y Jugdev, 2012).

Definir el concepto de éxito/fracaso asociado con proyectos y su gestión, no es una tarea fácil, aún no hay consenso sobre su definición y tampoco sobre su medición. Según Baccarini (1999) y otros autores debe distinguirse entre éxito del proyecto medido por el cumplimiento de los objetivos del producto final, y éxito de la gestión del proyecto medido habitualmente en términos de tiempo, costos y calidad (De Wit, 1988).

La búsqueda del éxito/fracaso de los proyectos también ha conllevado la expansión del dominio de la investigación a contextos organizativos más amplios, conductuales e interdisciplinarios (C S Lim and Zaim Mohamed, 1999; Cooke-Davies 2002; Belout y Gauvreau, 2004, Turner y Müller, 2005; Huemann et al., 2007; Aloini et al., 2007; Littau et al., 2010; Padalkar y Gopinath, 2015). Es así como se promueven otros estudios sobre: contingencias, el comportamiento y gobernanza en los proyectos, las interrelaciones entre proyectos, la toma de decisiones y la perspectiva de la complejidad (Morris, Pinto & Söderlund, 2012).

De otro lado, en el análisis realizado a estudiosos sobre temas de gestión tales como Parker & Stacey., (1996); Badawy, M., (1997); Dubring, A., (2004); Stoner, J.,(2005), Barlett, C y Ghoshal, S.,(2003); Willins, R., (2004); Horton, T y Peter, C.,(2005), se constata que en el panorama internacional, los planteamientos epistemológicos referidos a la gestión evidencian un distanciamiento entre la formación del sujeto participante y la práctica de la gestión; se denota una dicotomía entre el desarrollo de las investigaciones referidas a la teoría de gestión y el desarrollo de las investigaciones sobre la práctica de la misma, y por tanto, la relación que debe existir entre ambas.

Con base en lo anterior, en el presente documento se desarrolla la tesis doctoral cuyo objetivo es abordar el estudio de la gestión de proyectos desde la perspectiva de la

complejidad³, desde dos propuestas complejidad con diferentes orígenes: el pensamiento complejo y las ciencias de la complejidad⁴.

El presente documento se estructura de la siguiente manera: En el capítulo 1 se realiza la revisión teórica sobre la perspectiva clásica, el repensar los proyectos y la forma de gestionarlos. En el capítulo 2 se efectúa la revisión en la literatura sobre la relación entre complejidad y proyectos. En el capítulo 3 se expone el modelo de modelos teóricos para el estudio de un proyecto complejo. En el capítulo 4 se desarrollan los modelos para el estudio de un proyecto complejo. En el capítulo 5 se presentan los resultados de las simulaciones y en el capítulo 6 se muestran las conclusiones y recomendaciones identificadas durante el proceso de desarrollo de la presente investigación.

³ Según Dombkins (2008), la perspectiva de la complejidad es caracterizada por procesos dinámicos no lineales, adaptativos y evolutivos, procesos con períodos de incertidumbre e impredecibilidad.

⁴ Según Maldonado (1999), en la complejidad se identifican tres enfoques: la complejidad como método, la complejidad como cosmovisión, y la complejidad como las ciencias de la complejidad. La complejidad como método también se denomina pensamiento complejo, cuyo exponente ha sido Edgar Morin. La complejidad como cosmovisión es el postulado de la Escuela de Palo Alto (EE.UU.) y su principal exponente es G. Bateson. Por su parte la complejidad como ciencia (Termodinámica, Caos, Geometría Fractal, Catástrofes y Redes) tiene pensadores como I. Prigogine, E. Lorenz, Mandelbrot, R. Thom, E.C. Zeeman, H. Maturana y F. Varela, S.Kauffman, P.Bak, Ch. Lagton, S. Strogatz, D. Watts, L.Barrabasi, entre otros.

Propuesta Investigativa

Problema de investigación

De manera general, un proyecto se concibe como la acción intencionada de individuos que buscan la consecución de un resultado o el medio o la acción organizacional mediante la cual una organización-empresa busca respuesta a un problema/conflicto u oportunidad (Ribera, 2000). Esta acción conduce a una solución en la forma de un producto o servicio el cual es puesto en una organización-empresa una vez que es aceptado (Gómez, 1999; Jurison, 1999; Estáy, 2007).

Y de manera particular, un proyecto se concibe como una operación de envergadura y complejidad notable, con unas fechas definidas de inicio y de finalización. Es un trabajo no repetitivo, que ha de planificarse y realizarse según unas especificaciones técnicas determinadas, con un presupuesto preestablecido y una organización temporal que incluye la participación de varias áreas de la empresa ejecutora y seguramente de terceros, organización temporal que se desmonta una vez termina el proyecto (Gido y Clements, 2006; Estáy, 2007).

Desde la perspectiva clásica y para la presente investigación, la definición de “proyecto” seleccionada, es la que concibe a este “como una herramienta”, y “la gestión de proyectos como un conjunto de herramientas y técnicas utilizadas para alcanzar las eficiencias de los proyectos” (Packendorff 1995, pp. 319-333).

Desde la perspectiva de la complejidad y para la presente investigación, no se parte de una definición sino de categorías (Svejvig & Andersen, 2014):

- 1) La categoría de contextualización, la cual estudia el concepto de múltiples proyectos y la gestión de proyectos relacionada con la estrategia de la organización y con el entorno.
- 2) La categoría sobre aspectos sociales y políticos, en donde ya no dominan las herramientas y la técnica y se centra más en la complejidad social⁵ (relacionada con la organización temporal-sujeto decisor y el entorno social del proyecto).
- 3) La categoría de repensar de manera reflexiva sobre la práctica en la gestión de proyectos, en el que la complejidad y la incertidumbre juegan un papel importante en donde se reconoce que los programas de entrenamiento requieren otras formas de desarrollo de los directores de proyectos, más allá de centrarse en la normatividad (Thomas & Mengel, 2008).
- 4) La categoría de la complejidad y la incertidumbre en la que se proponen teorías alternativas como la gestión de la evolución y la auto-organización (Saynisch, 2010a) y el pensamiento sistémico (Sheffield et al., 2012).
- 5) La categoría de la conceptualización de proyectos actuales, en donde se estudian a los proyectos como un sistema abierto, dinámico, emergente y de adaptación, que se

⁵ Según Niklas Luhmann (1978) la complejidad social se refiere a la diferenciación y segmentación de la sociedad en un número creciente de subsistemas, cada uno tiende a incrementar su propia autonomía. El sistema social entendido en su totalidad ve aumentar sus posibilidades de acción y se abre a un mayor número de posibilidades, los procesos de decisión se hacen más difíciles e inciertos en un contexto que ofrece un número siempre más grande de alternativas posibles.

caracteriza por la recursividad y la retroalimentación no lineal (Dombkins, 2008) y, cuya ejecución se hace al borde del caos (Bertelsen, 2003).

Con base en lo anterior, para la presente investigación es importante abordar la relación entre la naturaleza del problema que se busca comprender/gestionar/solucionar, el pensamiento/paradigma/ modelo mental del sujeto que enfrenta la situación problemática, y la concepción de una acción/estrategia/proyecto para comprender/gestionar/solucionar el problema.

Las estadísticas muestran como a través de la perspectiva clásica no se han dado respuestas para el bajo rendimiento de los proyectos o su gestión y de cómo se viene concibiendo la complejidad como un atributo intrínseco de los proyectos complejos, por lo que la propuesta que se desarrolla en este documento plantea abordar la gestión de proyectos desde la perspectiva de la complejidad.

Se puede concluir que, según la revisión de la literatura realizada en el marco del proyecto de tesis, no se han encontrado trabajos de investigación que aborden la relación entre la naturaleza del problema, el tipo de modelo mental del decisor y la naturaleza del proyecto, ni propuestas de aproximación desde las ciencias de la complejidad que permitan involucrar la perspectiva de la complejidad en dicha relación.

Como conclusiones de la literatura revisada, se encontraron los siguientes hallazgos que dieron paso al planteamiento del problema principal:

- a) El pensamiento simplificador que está en relación con la perspectiva clásica de proyectos se aplica tanto para resolver problemas simples como complejos. Esta práctica en situaciones complejas tenderá a concebir proyectos simples que tienen un alto grado de probabilidad de fracasar y agravar el problema.
- b) Un problema complejo exige una acción/proyecto/estrategia de pensamiento complejo y un tipo de proyecto orientado a resolver y gestionar dicha complejidad. Lo anterior podría generar una hipótesis que indique que problemas complejos demandan proyectos complejos y problemas simples demandan proyectos simples.
- c) La relación de complejidad con la gestión de proyectos aún está en construcción, lo que conduce a que en la práctica la perspectiva clásica tenga mayor aplicación.
- d) La perspectiva clásica de los proyectos es insuficiente para manejar la realidad actual de los mismos, deberá buscarse la complementariedad con la perspectiva de la complejidad.

Problema principal

Falta de un modelo que desde la perspectiva de la complejidad desarrolle la relación entre problema a abordar, modelo mental del sujeto planificador/decisor y la concepción de la gestión del proyecto.

Preguntas de investigación

Se definieron tres necesidades que motivaron el planteamiento de las preguntas de investigación, Por un lado, se concluye que hay ausencia de trabajos de investigación que realicen una aproximación al problema principal identificado desde la complejidad. Por otro,

se evidencia la aplicación que se mantiene de la perspectiva clásica de los proyectos. Y, por último, la ausencia de una propuesta construida tomando elementos del pensamiento complejo y de las ciencias de la complejidad, que permita tener otra forma de abordar la gestión de proyectos. Es por estos motivos que la pregunta general de investigación se estructura de la siguiente manera:

¿Cómo realizar, desde la perspectiva de la complejidad, una aproximación a la gestión de proyectos para abordar problemas complejos?

Actualmente, la gestión de proyectos se sigue abordando desde la perspectiva clásica tanto para proyectos simples como para proyectos complejos, lo que implica una mirada simplificada de los problemas que son abordados a través de un proyecto complejo. Igualmente, los modelos/herramientas/técnicas/teorías revisadas abordan la gestión de proyectos de manera determinística, no tienen en cuenta la naturaleza de la situación problemática que se está abordando.

La pregunta general se detalla iniciando con un “cómo”, ya que se pretenden realizar varias etapas. Por un lado, planteando un modelo que pueda hacer posible el entendimiento de un proyecto complejo desde la perspectiva de la complejidad. Posteriormente, con la construcción de una herramienta híbrida tomando planteamientos del pensamiento complejo y desde las ciencias de la complejidad que permita estudiar los proyectos complejos. Finalmente, se muestran los resultados de la aplicación de la herramienta híbrida a través de un caso particular.

Con base en la pregunta de investigación general, se plantea la sistematización del problema:

1. ¿Cuál es la conceptualización de un proyecto complejo?
2. ¿Cuál es el estado del arte y de la práctica sobre la perspectiva de la complejidad para proyectos complejos?
3. ¿Cuáles son los diferentes factores intervinientes en la gestión de proyectos complejos, que puedan ser analizados en su comportamiento?
4. ¿Cuáles son los factores que incrementan la complejidad de un problema de gestión organizacional/empresarial en un sector específico?
5. ¿Qué características debe tener un proyecto para gestionar adecuadamente la complejidad de los problemas de una naturaleza específica?
6. Desde el pensamiento complejo, ¿el modelo mental del decisor/planificador es el conector para determinar cómo gestionar un problema complejo?
7. Desde la complejidad, ¿cómo definir y estructurar un modelo que permita desarrollar la perspectiva de la complejidad para proyectos complejos?
8. Desde las ciencias de la complejidad, ¿qué herramientas hacen posible la aproximación desde la perspectiva de la complejidad a un proyecto complejo?

Las preguntas 1, 2, 5, 6 y 7 se abordarán a través de la ejecución de los objetivos 1 y 2. Las preguntas 3, 4 y 8 se abordarán a través de la ejecución de los objetivos 3, 4 y 5.

Sistema de objetivos

A continuación, se enumeran los objetivos planteados con base en las preguntas de investigación:

Objetivo general

Estructurar una propuesta de modelo desde el pensamiento complejo y las ciencias de la complejidad que permita gestionar proyectos complejos a través del análisis del comportamiento de factores intervinientes, exógenos y novedades, para determinar sus factores críticos y posibles estados y escenarios de decisión sobre su ejecución.

Objetivos específicos

1. Desarrollar una revisión de la literatura de manera sistemática que permita identificar conceptos relevantes que deban incluirse para estructurar, desde el pensamiento complejo y las ciencias de la complejidad, la propuesta de modelo para gestionar proyectos complejos.
2. Desarrollar la relación entre naturaleza de la situación problemática, el modelo mental del sujeto decisor y la concepción de la gestión del proyecto, desde el pensamiento complejo y las ciencias de la complejidad.
3. Modelar de forma teórica-genérica la estructura operativa y la estructura asociada a la organización temporal de los proyectos complejos para identificar factores intervinientes⁶, sus escalas y flujos, y posibles factores exógenos o novedades.
4. Efectuar un análisis numérico⁷ del modelo, a partir de una malla de condiciones iniciales, para identificar comportamientos, factores críticos, posibles estados y escenarios de decisión sobre la ejecución de la gestión de los proyectos complejos.
5. Simular el comportamiento de un proyecto complejo específico a partir del modelo teórico, concluyendo el ciclo de interpretación de los conceptos de la teoría de la complejidad en el ámbito de los proyectos complejos⁸.

Resumen del capítulo

⁶ El factor interviniente se refiere a un factor que puede afectar otros factores, no se puede medir o manipular y pueden ser factores generados por otros. Son variables mediadoras o moderadoras o intervinientes, pueden estar entre las variables dependientes y las independientes y si son de control pueden estar después de las variables dependientes (Sampieri H. et. al., 2014). Dependiendo del valor que tome la variable interviniente, ésta podría dinamizar o no un comportamiento específico en un proyecto complejo, puede ser interviniente de manera pasiva (interviene sin afectar) o de manera activa (interviene afectando) sobre el proyecto.

⁷ El análisis numérico se propuso con el objetivo de fundamentar el desarrollo de los algoritmos para llevar a cabo las simulaciones y posteriormente el análisis de las medidas de la red compleja temporal, como: longitud media de los caminos (distancia, diámetro, coeficiente de agrupación y la distribución de grados), entre otras.

⁸ El alcance de este objetivo es validar, a través de un caso de estudio específico, que un proyecto complejo requiere ser estudiado desde la perspectiva de la complejidad, a través de la hibridación de herramientas del pensamiento complejo y de las ciencias de la complejidad.

En el presente capítulo se ha realizado un acercamiento al problema de investigación que motivó el desarrollo de la presente tesis doctoral. Se presentó el objetivo general y los objetivos específicos y la forma en que serán desarrollados. Los resultados obtenidos de cada objetivo serán expuestos a través de los siguientes capítulos. El primer objetivo es desarrollado en los capítulos 1, 2 y 3, el segundo y tercer objetivo son desarrollados en el capítulo 4, los objetivos 4 y 5 son desarrollados en el capítulo 5.

CAPITULO 1 – Revisión teórica de la perspectiva clásica de los proyectos.

1.1. Historia evolutiva del cuerpo del conocimiento

Los proyectos se han convertido en una importante forma de estructurar el trabajo en las organizaciones (Bakker, 2010) y constituyen uno de los desarrollos organizacionales más relevantes (Winter et al., 2006c). A pesar del aumento sustancial en la importancia y la propagación de proyectos, la base conceptual de los modelos y metodologías para la gestión de los mismos permanece bastante estática en su desarrollo (Koskela y Howell, 2002) y ha estado dominada por un punto de vista tecnocrático y racionalista⁹ (Morris et al., 2011b; Packendorff, 1995); esta es denominada gestión de proyectos clásica o perspectiva clásica, la cual ha recibido críticas sustanciales por sus deficiencias en la práctica (Koskela y Howell, 2002; Sahlin-Andersson y Söderholm, 2002).

En consecuencia, varios académicos han comenzado a pensar más ampliamente sobre los proyectos y la gestión de proyectos como una reacción a la visión clásica, al desafío de llevar a cabo proyectos de mejor manera en la práctica y al bajo porcentaje de desempeño de los proyectos (Morris et al., 2011b). Este pensamiento más amplio ha desarrollado muchas ideas nuevas a lo largo de los años, como pasar del enfoque del "proyecto como herramienta" a la idea del "proyecto como organización temporal" (Packendorff, 1995) y entendiendo la gestión de proyectos como una disciplina holística para lograr la eficiencia organizativa, la efectividad y la innovación a través de sus resultados (Jugdev et al., 2001). Esta comprensión más holística y pluralista de la gestión de proyectos tiene un gran potencial para mejorar y ampliar el conocimiento y las prácticas actuales en el campo y se ha denominado "repensar la gestión de proyectos" (RPM, rethinking project management, por sus siglas en inglés) (Winter et al., 2006c).

Los primeros avances en la literatura se remontan a mediados de la década de 1980 (Lichtenberg, 1983), y la literatura reciente de RPM indica que el flujo de investigación sigue siendo muy activo (Saynisch, 2010a).

La Tabla 1 presenta los avances investigativos más relevantes en relación con el concepto de proyecto y el constructo social de gestión de proyectos, los períodos de fechas referenciados indican el momento de aparición de cada hecho, sin que ello indique el momento de desaparición de los mismos. Hay algunos hechos que inclusive aún se encuentran vigentes.

Desde los años 50 del siglo pasado han surgido varias escuelas (Baccarini, 1996) que han analizado una temática específica y a través de las cuales se han planteado interrogantes que han permitido avanzar en la construcción del cuerpo de conocimiento de los proyectos.

⁹ Según Rogelio Hernández Rodríguez (2014) la tecnocracia es una forma particular de razonar y tomar decisiones, en ella lo determinante es el conocimiento especializado, científico y técnico que se aplica racionalmente para solucionar problemas, o en general, para obtener resultados específicos. Se basa en datos objetivos, comprobables y no en valoraciones o intereses grupales. La opinión y en general las percepciones y juicios que formulan los grupos sociales no son relevantes para la tecnocracia porque se parte del principio de que nadie más que ellos poseen el conocimiento especializado para entender las decisiones.

Por otro lado, se presentan herramientas y técnicas de aplicación a la gestión de proyectos y las líneas generales de investigación abordadas, por último, se presentan las organizaciones más representativas que han venido construyendo conocimiento alrededor de los proyectos y la gestión de los mismos.

Tabla 1. Aportes investigativos relevantes para los proyectos y su gestión: 1950–2000

| | | 1950 | 1960 | 1970 | 1980 | 1990 | 2000 | 2007 a hoy |
|-------------------------------|--|--|---|---|---|--|--|--|
| ESCUELAS | Antes 1950s | <i>Escuela de Optimización: ¿Cómo gerenciar/planear un proyecto?</i> | <i>Escuela de Factores: ¿Qué determina el éxito de los proyectos?</i> | <i>Escuela de Contingencias: ¿Por qué los proyectos difieren?</i> | <i>Escuela del comportamiento y de Gobernanza: ¿Cómo los proyectos se comportan y son gobernados?</i> | <i>Escuela de relaciones: ¿Cómo las redes de proyectos son formadas?</i> | <i>Escuela de decisiones: ¿Por qué los proyectos inician?, ¿por qué permanece n?</i> | RE-PENSAR LA GESTIÓN DE PROYECTOS |
| | HERRAMIENTAS | Diagramas Gantt | Redes y ruta crítica (PERT/CPM) | Paquetes de trabajo (WBS) | Medio Ambiente | Cronogramas simultáneos (Fast tracking) | Cadena crítica | Modelos de espacio de estado (views) |
| | Aplicación de líneas de evaluación y control en proyectos (Harmonograph) | Interacción humano-computadora, ciclo de vida (Dev Cycle) | Técnicas de valoración de desempeño (C/SCSC; EVA) | Cronograma de recursos | | Software especializado (MS Project; PRIMAVERA Project Planner) | Oficinas de proyectos (PMOs) | Metodologías ágiles (SCRUM; CMM) |
| | Matrices | | Análisis del valor | Concurrencia | | Concurrencia | Riesgo y oportunidad | |
| | Gestor de Proyectos | Gestión de proyectos (PM/pgr/Mgr) | | Metodologías (ZOPP) | | Profesionalismo | | |
| TEMAS DE INVESTIGACIÓN | | | Sistemas de herramientas | Personas | Externalidades | Filosofía | Gobierno corporativo | COMPLEJIDAD: IPMA, 2009 |
| | | | Relaciones con la industria | | Riesgos | Calidad | Beneficio/costo | |
| | | | | | Tecnología | Phasing/scheduling | Desempeño | |
| | | | | | Alistamiento | | Gestión | |
| | | | | | Organización | | Evaluaciones (Benchmarking) | |

| | | | | | | | |
|-----------------------|--|--|---|---|---|---|---|
| | <i>Resolución de Problemas (J.Dewey)</i> | <i>1) Industria de defensa y aeroespacial (USA), 2) Teoría de Sistemas Cibernética I, 3) Sistema de Ingeniería</i> | <i>Concepto de gestión de proyectos (DOS, NASA)</i> | <i>1) FACTORES DUROS: Enfoque hacia el producto, 2) PERSPECTIVA CLÁSICA</i> | <i>FACTORES BLANDOS: Comportamiento de las personas</i> | | <i>1) PERSPECTIVA DE LA COMPLEJIDAD, 2) Teoría Cibernética II, Teoría de los sistemas complejos, Sistema Social</i> |
| ORGANIZACIONES | | | <i>PMI (Project Management Institute): 1969</i> | <i>IPMA (international project management association): 1972; ICB3.0</i> | | <i>Management / organization Learning</i> | <i>ISO 21500; RUP (The Rational Unified Process)</i> |
| | | | | <i>APM (UK's Association for project management); PRINCE2</i> | | | <i>ICCPM (International Centre for Complex Project Management): 2011</i> |
| | | | | <i>BoK (Body of Knowledge): 1977</i> | <i>PMBok®: 1983</i> | | |

Fuente: Elaboración propia con base en las contribuciones de Morris, Pinto & Söderlund, 2012.

1.2. Conceptualización del proceso de repensar la gestión de proyectos.

En la literatura revisada se encuentra el proceso de conceptualización del proceso de repensar la gestión de proyectos, partiendo de la gestión clásica de proyectos y teniendo en cuenta otras formas de abordar dicha temática. Es así como algunos autores han especificado puntos de vista alternativos y los han comparado con el punto de vista clásico (ver Tabla 2).

Tabla 2 . Comparación de la gestión clásica de proyectos con la reconsideración de la gestión de proyectos.

| Autor | Gestión de proyectos clásicos | Repensando la gestión de proyectos |
|----------------------------|--|--|
| Packendorff (1995, p. 328) | Metáfora del proyecto: el proyecto como herramienta. | Metáfora del proyecto: el proyecto como organización temporal. |

| | | |
|-------------------------------|---|---|
| | Proceso: lineal, con las fases planear, controlar y evaluar. | Proceso: iterativo, con el escenario de expectativa de fases, acciones. |
| Jugdev et al. (2001, p. 36) | Gestión de proyectos: como conjunto de herramientas y técnicas utilizadas para lograr la eficiencia del proyecto. | Gestión de proyectos: como disciplina holística utilizada para lograrlo. Proyecto / programa / eficiencia organizacional, efectividad e Innovación |
| | Éxito: medido por métricas de rendimiento de eficiencia | El éxito: una construcción multidimensional medida por la eficiencia, efectividad e innovación |
| | Practicar la gestión de proyectos: centrarse en los detalles del proyecto en el nivel operacional y en la táctica | La gestión de proyectos alineada con la estrategia de la empresa. |
| Winter et al. (2006c, p. 642) | Modelos de proyectos simples basados en el ciclo de vida, que se supone que es el real. | Nuevos modelos y teorías que reconocen la complejidad de proyectos y gestión de proyectos, a todos los niveles. Los nuevos modelos y teorías se presentan explícitamente como solo teorías parciales del terreno complejo. |
| Shenhar y Dvir (2007, p. 11) | Enfoque: perspectiva clásica de proyectos. Objetivo del proyecto: completar el trabajo a tiempo, dentro del presupuesto y de los requisitos. Estilo de gestión: talla única | Enfoque: gestión adaptativa de proyectos. Objetivo del proyecto: lograr múltiples resultados de negocios y reuniones con criterios múltiples Estilo de gestión: enfoque adaptativo, una talla no se ajusta a todas |
| Andersen (2008, p. 5, 10, 49) | Perspectiva: perspectiva de la tarea. Definición del proyecto: un proyecto es un esfuerzo temporal, emprendido para crear un producto, servicio o resultado único (PMI, 2013). | Perspectiva: perspectiva organizacional. Definición del proyecto: un proyecto es una organización temporal. Foco principal: creación de valor. Crear un desarrollo deseable en otra organización. |

| | | |
|-----------------------------|---|---|
| Lenfle y Loch (2010, p. 45) | <p>Tipo de proyecto y objetivo: ejecución de rutina, objetivo dado y definido desde lo general.</p> <p>Ejemplos de dominio de relevancia:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mercados conocidos y reacciones de los clientes. • Controladores de rendimiento conocidos de sistemas desarrollados • Parámetros ambientales conocidos. | <p>Tipo de proyecto y objetivo: novedoso proyecto estratégico con una visión general.</p> <p>Visión y dirección, pero no se conocen metas detalladas y parcialmente emergente</p> <p>Ejemplos de dominio de relevancia:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nuevos mercados y reacciones desconocidas de los clientes. • Tecnología desconocida • Complejidad con interacciones imprevisibles entre conductores y variables |
|-----------------------------|---|---|

Fuente: Elaboración propia con base en las contribuciones de Svejvig & Andersen (2014).

La Tabla 2 ilustra la comprensión de la visión clásica, orientada a la ejecución y la tarea, mientras que los planteamientos de repensar la gestión de proyectos (RPM) reflejan una perspectiva más amplia y más holística en la que los proyectos podrían conceptualizarse como organizaciones temporales (véase también Bakker, 2010). La relación entre la visión clásica y la de repensar la gestión de proyectos no debe interpretarse como dicotómica, sino, por el contrario, como dualista, combinando "viejas verdades y nuevas ideas" (Jugdev et al., 2001).

Söderlund (2011) presenta desde una comprensión pluralista y en línea con lo anterior, siete escuelas de pensamiento. Una de las escuelas mencionadas es la escuela de optimización, que hasta cierto punto se parece a la visión clásica, las otras escuelas fueron: escuela de factores (determinar el éxito de los proyectos), escuela de contingencia (diferencias entre proyectos), escuela del comportamiento y de la gobernanza (comportamiento de los proyectos y cómo son gobernados), la escuela de las relaciones (redes de proyectos) y la escuela de las decisiones (por qué inician los proyectos y por qué permanecen en el tiempo).

Si bien las escuelas de pensamiento son interesantes, su comprensión es más importante en el contexto de "repensar la gestión de proyectos" y su comparación con la teoría organizacional¹⁰ (Scott y Davis, 2007).

Las escuelas de pensamiento (Bredillet, 2007; Söderlund, 2011; Baccarini, 1996) se desarrollaron dentro de la academia, basadas en revisiones y mapas de investigación de gestión de proyectos, lo que ciertamente estimuló el replanteamiento de la agenda de investigación. Sin embargo, una red de investigación con sede en el Reino Unido siguió un enfoque diferente para repensar la gestión de proyectos, con la participación de muchos investigadores líderes en gestión de proyectos y profesionales de la industria. Los objetivos de la red fueron: (1) desarrollar el campo de la gestión de proyectos y mejorar su práctica y

¹⁰ Según Marcio Anael Sierra Varela (2016) el pluralismo en la organización se define como el sistema en el que se acepta, tolera y se reconoce la variedad de doctrinas, posiciones, pensamientos, tendencias o creencias dentro de una sociedad.

(2) definir una agenda de investigación interdisciplinaria para enriquecer y ampliar el campo más allá de sus fundamentos actuales (Winter et al., 2006b, p. 650).

Los principales hallazgos de la red dieron como resultado un marco de trabajo de cinco direcciones para desarrollar el área (ver también Winter et al., 2006c). Estas áreas son la complejidad del proyecto, el proceso social, la creación de valor, la conceptualización y el desarrollo profesional. Cada una de estas tiene un impacto en los temas que se identificaron como clave para la red: la proyectación, los programas, la actualidad de los proyectos, la incertidumbre, los proyectos empresariales, la profesionalización y el desarrollo profesional (Maylor, 2006, p. 636).

La siguiente postura es la escandinava de estudios de proyectos, que comparte muchas ideas con la iniciativa del Reino Unido, como una conceptualización más amplia más allá de la mera ejecución (Sahlin-Andersson y Söderholm, 2002) y ver los proyectos como organizaciones temporales integradas en organizaciones permanentes y entornos más amplios (Lundin y Söderholm, 1995; Packendorff, 1995).

Un área totalmente diferente se da en el giro de la complejidad en la investigación de gestión de proyectos centrada en sistemas dinámicos complejos (Cooke-Davies et al., 2007): esto ha sido acuñado por Saynisch (2010b) como "Gestión de proyectos de segundo orden (PM-2)" y establece nuevas direcciones. Finalmente, hay inclusiones más dispersas, como "reinventar la gestión de proyectos" (Shenhar y Dvir, 2007) y la de "perspectivas de proyectos" (Turner et al., 2010).

Otro aspecto es la práctica de repensar la gestión de proyectos, que incluye literatura, y que sugiere métodos, perspectivas y enfoques alternativos para repensar las formas en que los profesionales trabajan con los proyectos tales como educar a los gerentes de proyectos para que puedan enfrentar mejor la creciente complejidad y la incertidumbre en los entornos de los proyectos (Thomas y Mengel, 2008).

Por otro lado, Berggren y Söderlund (2008) mostraron cómo se pueden desarrollar prácticas educativas para estimular la coproducción de conocimientos entre profesionales y el mundo académico a fin de mejorar la educación en gestión de proyectos.

Louw y Rwelamila (2012) examinaron una muestra de instituciones de educación superior sudafricanas para determinar si habían incorporado algunos de los pensamientos y conceptos del proceso de replanteamiento en el Reino Unido en sus planes de estudio. Las diferentes formas de repensar la educación a menudo están vinculadas al concepto del profesional reflexivo o conceptos similares. Este es el caso de Louw y Rwelamila (2012), ya que, entre otros temas de RPM, examinaron si las instituciones educativas vinculaban a los gerentes de proyecto con los profesionales reflexivos.

Otro enfoque más, es el de Sewchurran (2008, p. 316), quien presentó "una alternativa a los enfoques prescriptivos, basados en modelos, instrumentales", con el objetivo de lograr profesionales para gestionar proyectos mejor educados, auto organizados y reflexivos. La literatura enfocada en el aspecto educativo de la gestión de proyectos abarca material académico que trata sobre la práctica reflexiva en general, improvisación y enfoques de contingencia y formas de repensar o mejorar la práctica.

De manera similar, Thomas y Mengel (2008) argumentaron que la complejidad, la incertidumbre y el caos desempeñan un papel cada vez más importante en los proyectos y entornos de proyectos. Si bien los programas de capacitación en gestión de proyectos se centran en la estandarización del campo, la complejidad creciente requiere otras formas de desarrollo profesional de los gerentes de proyectos.

Kreiner argumentó que "El logro de los objetivos deseados de manera flexible en las realidades en desarrollo, y la implementación de planes anteriores, son aspectos importantes del trabajo del gerente del proyecto". Según Kreiner, es importante tener en cuenta este dilema como gerente de proyecto, ya que de lo contrario se arriesga a "tomar los planes literalmente" (Kreiner, 2012, p. 715). En cambio, el gerente del proyecto debe estar preparado para adaptar el plan, ya que podría ser inadecuado e imperfecto debido a un entorno cambiante y turbulento. De manera similar, Leybourne (2010), argumentó en su estudio que los gerentes dentro de organizaciones exitosas les permiten a sus empleados una gran libertad para experimentar, con la administración de tareas y las prácticas de trabajo no estructuradas.

La complejidad y la incertidumbre aportan también a los estudios encontrados sobre proyectos complejos y su gestión. Estos estudios son evidentes en el trabajo de Atkinson et al. (2006, p. 687), quienes, basándose en las discusiones que tuvieron lugar como parte de la red de RPM en el Reino Unido, identificaron una amplia gama de fuentes de incertidumbre y afirmaron que se necesitan: "esfuerzos más sofisticados para reconocer y gestionar fuentes importantes de incertidumbre". Para lidiar con una complejidad cada vez mayor, estos autores propusieron perspectivas y teorías alternativas, como la gestión evolutiva y la auto organización (Saynisch, 2010a), y el pensamiento sistémico (Sheffield et al., 2012).

Kreiner (1995) señaló que las personas involucradas en los proyectos deben reconocer que los resultados originalmente previstos no necesariamente seguirán siendo relevantes a lo largo del tiempo, ya que el entorno a menudo se desplaza, lo que pone en riesgo y socava el éxito del proyecto. Cooke-Davies et al. (2007) realizaron una revisión de las ideas principales dentro de la ciencia de la complejidad y evaluaron su relevancia potencial para el campo de la gestión de proyectos, centrándose especialmente en las ideas con relevancia directa para la complejidad social asociada con las personas que participan en proyectos complejos. Aunque las contribuciones a menudo no identificaron la complejidad como una categoría principal, con frecuencia sirvió como un argumento subyacente para repensar la práctica (Sheffield et al., 2012).

Turner et al. (2010) describieron perspectivas diferentes de proyectos como el proyecto "como una máquina" y el proyecto "como un espejo". Por otro lado, McLeod et al., (2012) exploraron la evaluación del éxito del proyecto desde una perspectiva subjetivista. A través de un estudio de caso longitudinal, los autores investigaron cómo diferentes partes interesadas percibían los resultados del proyecto y cómo evaluaban el éxito, a partir de lo cual derivaban un marco conceptual. Kolltveit et al. (2007) estudiaron la literatura sobre gestión de proyectos y mostraron cómo el dominio de cada perspectiva ha cambiado con el tiempo. A través de un estudio de caso, Koppenjan et al. (2011) mostraron cómo los gerentes de proyectos reconocen y combinan diferentes perspectivas de competencia en la práctica para cumplir con los requisitos de control y flexibilidad.

En la literatura de RPM generalmente se asume que la gestión clásica del proyecto es la visión dominante; Morris et al. (2011b, p. 2) declararon que la administración clásica de proyectos "es la tradición que aún domina muchos de los libros de texto hasta el día de hoy y cuyo carácter positivista y normativo subyace al modelo profesional dominante de la disciplina: su cuerpo de conocimiento (Project Management Institute, 2008)", y esta opinión está respaldada por otros (Andersen, 2008; Packendorff, 1995). Sin embargo, es sorprendente que los primeros estudios sobre la visión de RPM (Lichtenberg, 1983; Lundin y Söderholm, 1995; Packendorff, 1995) solo han tenido una ligera influencia en el mundo académico y los profesionales.

Especialmente los profesionales experimentados pueden ser conscientes de los desafíos de la visión clásica (Svejvig, 2012) y ser capaces de aplicar prácticas que eviten algunos de los problemas encontrados en el enfoque clásico. En un estudio realizado por Hällgren y Söderholm (2011, pp. 508 - 509), en el que los planes del proyecto eran una parte racional de la caja de herramientas de la gestión del mismo para la presentación de informes sobre el progreso (la visión clásica), observaron que los planes del proyecto también cumplieron el propósito más amplio de mejorar la comprensión y facilitar las negociaciones (la visión de RPM). Los hallazgos del estudio indican que los planes del proyecto se usaron más lejos que en la vista clásica y fueron capaces de iluminar el terreno complejo en la praxis (Winter et al., 2006c). Lo anterior ilustra la brecha potencial entre la visión clásica dominante como la mayoría de la literatura (la visión teórica) ha descrito y presentado y cómo se implementa en la práctica.

Varios de los artículos en esta revisión de la literatura discutieron la educación en gestión de proyectos y el desarrollo de profesionales (Berggren Rwelamila, 2012). La educación es una de las principales áreas por tratar si se quiere establecer RPM en la agenda e influenciar a los gerentes de proyectos actuales y futuros y a los participantes del proyecto. Los programas de educación superior descritos por Söderlund (2008) parecen ser prometedores, y lo mismo se aplica a los diversos programas de MBA que se centran en el desarrollo de profesionales reflexivos, por ejemplo, en los que se ofrecen en la Universidad de Manchester (Crawford et al., 2006). Sin embargo, estos son ejemplos dispersos, y se requiere un conocimiento más profundo de la proporción de educación inspirada en RPM en comparación con la educación más tradicional de gestión de proyectos, incluida la certificación y la capacitación comercial, así como la forma de aumentar esta proporción. Con este fin, Crawford et al. (2006) proporcionan interesantes recomendaciones para el desarrollo profesional dentro de la gestión de proyectos.

La visión clásica de los proyectos está altamente institucionalizada y está fuertemente respaldada por "estándares de facto" o "mejores prácticas", como PMBOK® (Project Management Body of Knowledge) y PRINCE2-2009 (Proyectos en entornos controlados). Los programas de certificación están asociados con PMBOK®, PRINCE2 y otros, y refuerzan la visión clásica de la gestión de proyectos. Se necesita considerar cómo se puede influir en las asociaciones de gestión de proyectos en todo el mundo para criticar, contribuir y actualizar este cuerpo formal de conocimientos y los programas de certificación asociados con RPM (Morris et al., 2006), ya que esto podría ser un camino necesario, pero también muy difícil, hacia un mayor grado de difusión de RPM.

Además, parece ser relevante analizar los logros de rendimiento de la gestión clásica de proyectos frente a los RPM, porque un verdadero impulsor de "RPM en la práctica" podría ser que este supere a la gestión clásica de proyectos. Sin embargo, el rendimiento, el valor y el éxito son conceptos complejos que pueden considerarse multidimensionales, dinámicos y relativos (inspirados en Berg, 2001), lo que hace que sean difíciles de comparar de manera práctica. La multidimensionalidad puede significar medir la eficiencia, la eficacia y la innovación (et al., 2001) y tener una perspectiva de rendimiento que va mucho más allá de la creación de valor tradicional y la realización de beneficios (Bradley, 2010; Breese, 2012; Ward y Daniel, 2012). En cualquier caso, "RPM en la práctica" y el poder estudiar cómo medir su rendimiento, son temas importantes para la presente investigación.

Resumen del capítulo

En el presente capítulo se ha realizado el proceso de revisión de la literatura sobre la perspectiva clásica de proyectos y la gestión de los mismos, los diferentes elementos que intervienen en su desarrollo, los principales autores y sus postulados, así como los avances y trabajos de investigación que se vienen desarrollando. En el capítulo se plantea la evolución y diferenciación entre la perspectiva clásica y la perspectiva de la complejidad o de segundo orden (PM-2), en el avance de repensar la gestión de proyectos. Finalmente, se plantea la necesidad de una formación específica para plantear proyectos que provengan de situaciones complejas.

CAPÍTULO 2 – Revisión de la relación entre complejidad y proyectos

2.1. Generalidades

En el 2009 se incorpora de manera formal el concepto de proyecto complejo (27th IPMA World Congress, en Shanghai), a pesar de que de tiempo atrás algunos autores ya venían trabajando el tema, pero de manera aislada; es así como se encuentran investigaciones desde la década que inicia en 1950, donde se comienza a estudiar el tipo de comportamiento que debe asumir un proyecto cuando el problema es complejo (Morris, Pinto & Söderlund, 2012).

Un proyecto complejo es: a) Un sistema complejo compuesto de diferentes elementos interconectados para lograr un objetivo, b) Un sistema dinámico que interactúa continuamente con su entorno, c) Sus partes interactúan entre ellas y con su entorno, y dan lugar a nuevas propiedades que no existían previamente en ninguna de las partes que lo componen (Arellano D., Danti J. y Pérez M., 2016).

Los proyectos complejos son llevados a cabo bajo paradojas de incertidumbres, influencias y ambigüedades (van Marrewijk et al. 2008), caso contrario a lo que le pasa a los proyectos con comportamiento simple (Hass, 2009).

Cuando se menciona el concepto de complejidad asociado a los proyectos, debe reconocerse que este proviene del pensamiento sistémico, enfoque que ha sido base para la gestión de proyectos.

El pensamiento sistémico y la complejidad, a pesar que tienen puntos de encuentro, se han desarrollado de manera independiente. Uno de los puntos de encuentro es la conceptualización epistemológica, elaborada por Rolando García, de sistemas complejos, en la que entiende a estos como totalidades organizadas compuestas por elementos “no separables” (2006). Esta conceptualización le permite a García introducir y precisar el término de *interdefinibilidad*, el cual supera el concepto de interacción o interrelación.

La interdefinibilidad exige que los componentes de un sistema sean definidos y estudiados en función del resto y, por lo tanto, no resulta posible el estudio separado de sus partes (García, 2006). En suma, los sistemas complejos son sistemas no descomponibles cuyos elementos están interdefinidos.

2.2. Complejidad y la gestión de proyectos

Según Rodríguez, L. et. al. (2011), la complejidad irrumpe de modo sistemático en el vocabulario científico con un artículo de Warren Weaver (1949) titulado *Science and Complexity*. Weaver distinguió tres tipos de problemas en la historia de la ciencia. Primero, *los problemas de simplicidad*, centrados en el análisis de pocas variables y, abordados por la ciencia entre los siglos XVII y XIX, a través de la elaboración de modelos mecánicos. Segundo, *los problemas de complejidad desorganizada*, caracterizados por el estudio de un alto número de casos o variables, están asociados con el desarrollo de la teoría de la probabilidad y la mecánica estadística, aplicada en distintas ramas de la ciencia desde fines del siglo XIX. Tercero, *los problemas de complejidad organizada*, emergen con la revolución

científica y tecno científica de mediados del siglo XX, y con los problemas de táctica y estrategia militar derivados de la Segunda Guerra Mundial. Estos problemas no pueden ser abordados por los modelos mecánicos ni por los métodos estadísticos, se despliegan en una región media entre ambos. Su característica fundamental es la auto organización, la emergencia y la no-linealidad¹¹ (Weaver 1948).

El período 1950-1975 corresponde al momento en el que *la complejidad organizada* emerge y se consolida como objeto sistemático y explícito de la investigación científica. En este período se formulan las teorías pioneras de complejidad, las cuales pueden ser agrupadas en dos tipos principales. Por un lado, los *paradigmas globales de complejidad* se presentan como teorías con un alto nivel de generalidad y abstracción. En esta categoría, se encuentran la Teoría General de los Sistemas (Bertalanffy 1968), la Teoría de la Información, la Cibernética (Wiener 1985), la cibernética de segundo orden (Foerster 1996), la Teoría de la Auto-organización (Ashby 1962), la epistemología genética (Piaget 1978), la geometría fractal (Mandelbrot 1987), las teorías del caos y los atractores (Lorenz 1995), la termodinámica de los procesos irreversibles (Prigogine y Nicolis 1987), la teoría de la autopoiesis (Maturana y Varela 1972), la teoría de las catástrofes (Thom 1976), y la teoría de los autómatas celulares (Von Neumann 1966-1968). Por otro lado, durante ese mismo período, han surgido algoritmos complejos, los cuales constituyen herramientas tecnológicas concretas, con soporte matemático-computacional, para el abordaje de fenómenos complejos (emergencia, auto-organización, no linealidad, caos).

En el período 1975-1985 cobra densidad teórica la obra de Edgar Morin y su propuesta sobre el pensamiento complejo. En este período se desarrolla también una parte importante del trabajo de Jean Piaget en el campo de la epistemología genética (Piaget 1978; Piaget y García 1982); y de Rolando García, colaborador de Piaget, en el ámbito de la investigación en sistemas complejos ambientales.

El tercer período, iniciado hacia comienzos de la década del 80, está relacionado con el desarrollo de técnicas computacionales para la modelización y simulación de sistemas complejos.

El proceso histórico sobre esta relación se muestra en la Tabla 3 y las dimensiones desarrolladas en la Tabla 4.

¹¹ La auto organización puede guiar el comportamiento de proyectos que se encuentran en entornos dinámicos y cambiantes, ya que se pueden regular las interacciones de sus componentes y así lograr una adaptación a cambios que son difíciles de predecir. Sobre la emergencia, los componentes de un proyecto pueden producir información nueva al interactuar, puede llamarse información emergente ya que no estaba antes, sino que surge a partir de interacciones. Y la no linealidad en los proyectos se da en que sus partes o componentes interactúan de tal forma que se da una continua influencia mutua o relación causal que se retroalimenta.

Tabla 3. Desarrollo histórico de la relación proyectos y complejidad.

| LÍNEA DE TIEMPO | | | | | | | |
|---|---|--|------------------------|-----------------------------------|---|-------------------------|-------------------------------|
| Gran cantidad de elementos o variables. (Ashby 1957, Patzak 1982) | Heterogeneidad de elementos y diversidad de relaciones. (Simon 1982, Klir 1991, Ashby 1957) | Dinámica (Patzak 1982, Kallinikos 1998). | Unicidad. (Klir 1991). | Falta de Claridad (Reither 1997). | La comunicación indirecta entre los elementos. (Luhman & Boje 2001) | Dificultad (Frame 2002) | Incertidumbre (Williams 2002) |

Fuente: Elaboración propia con base en las contribuciones de Dunovic & Radujkovic & Skreb (2014).

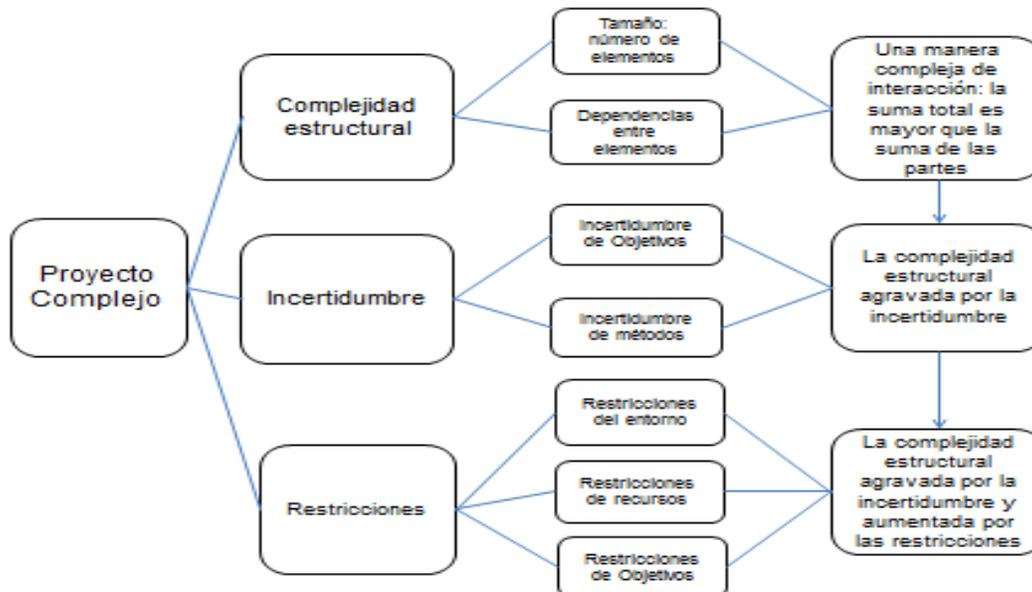
Tabla 4. Comparativo conceptual sobre seis dimensiones desarrolladas sobre proyectos complejos.

| Autor | Conceptos relacionados | Explicación |
|------------------|---|---|
| Senge (1990) | Se ocupa de la complejidad del detalle y dinámica. | La complejidad detallada representa un gran número de componentes con un alto grado de correlación. La complejidad dinámica representa el potencial de desarrollo en el tiempo (la auto-organización y co-evolución) o comprensión limitada y previsibilidad limitada. |
| Baccarini (1996) | Se ocupa de la complejidad Organizativa y Tecnológica | La complejidad de un proyecto refleja una gran cantidad de diferentes partes interrelacionadas. En la complejidad de la organización la "diferenciación" es el número de unidades organizativas formales, el número de especialidades. Mientras que por "interdependencia" se considera el grado de interdependencia comercial de los elementos de la organización. En la complejidad tecnológica la "diferenciación" es el número y la variedad de los elementos de entrada y de salida, actividades o especialidades, mientras que la "interdependencia" se refiere a la interdependencia entre las actividades, los equipos, la tecnología o la entrada de elementos. |
| Williams (2002) | Se ocupa de la complejidad estructural y la incertidumbre | Complejidad estructural en proyectos se refiere a la complejidad del producto: el número de subsistemas y sus interdependencias que puede ser reflejada a través de la forma en que los cambios en un subsistema influyen en los demás. Categorización de tipos de interdependencia (Thompson): a) Colectivo: Cada elemento contribuye de forma independiente al proyecto. |

| | | |
|------------------------------|---|---|
| | | <p>b) Secuencial: uno de los resultados de un elemento se convierte en la entrada de otro elemento.</p> <p>c) Recíproca: donde el resultado de un elemento se convierte en la entrada para otros elementos tales que la actividad de cada elemento debe ser modificada de acuerdo con las acciones de los demás.</p> <p>Complejidad relacionada con la inestabilidad de los supuestos en los que las actividades se basan o la incertidumbre es procesada.</p> <p>Hay dos tipos de incertidumbre: la de los objetivos (cuántos objetivos se han definido) y la incertidumbre del método (cuántos métodos se han definido para la consecución de los objetivos).</p> |
| Remington & Pollack (2007) | Se ocupa de la complejidad estructural, tecnológica, temporal y direccional | <p>La complejidad estructural es igual a la de Williams. La complejidad tecnológica abarca cuestiones de técnicas y de diseño relacionados con el producto.</p> <p>La complejidad direccional: objetivos desconocidos, significados vagos e intereses ocultos, incluyen ambigüedades en múltiples interpretaciones de los objetivos de las políticas y de las relaciones culturales.</p> <p>Complejidad temporal: variabilidad en el tiempo, cubre la incertidumbre debido a las limitaciones futuras, expectativas del cambio y la incertidumbre incluso de la existencia misma del sistema.</p> |
| Geraldi (2008) | Se ocupa de la complejidad de "hecho", de "fe" y de "interacción". | La complejidad se divide en tres grupos: a) la presencia de la fe cuando se hace algo único, b) cuando se resuelve un nuevo problema y c) incertidumbre extrema. |
| Burcar Dunovic et al. (2014) | Se ocupa de la complejidad estructural, Incertidumbre y Restricciones. | La complejidad estructural y de incertidumbre es igual a la de Williams. |

Fuente: Elaboración propia con base en las contribuciones de Dunovic & Radujkovic & Skreb (2014).

A continuación, se presenta el esquema que recoge la representación de estas seis dimensiones, en donde se muestra (a través de líneas con dirección) que, a partir de la complejidad estructural, esta se ve afectada por las incertidumbres y las restricciones (Ver Figura 1).

Figura 1. Marco conceptual sobre proyectos complejos.

Fuente: Elaboración propia con base en las contribuciones de Dunovic & Radujkovic & Skreb (2014).

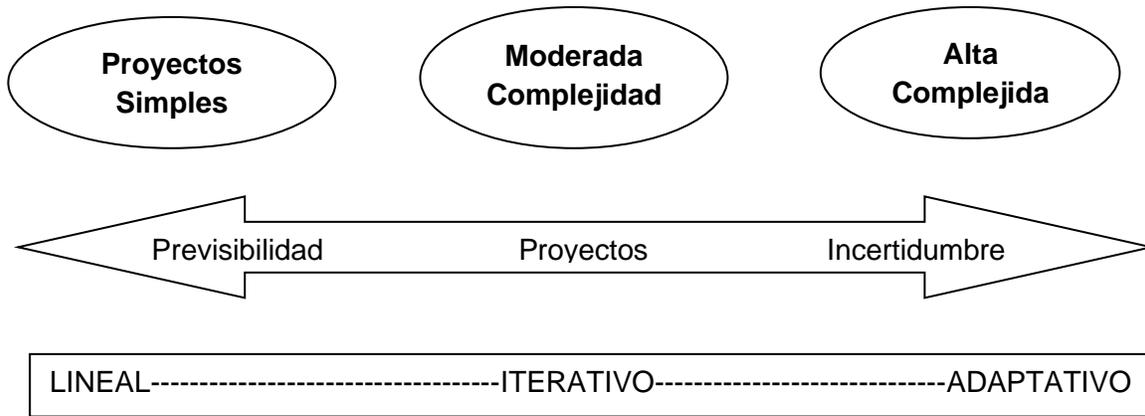
Es importante anotar que aparte de estas dimensiones de pensamientos que intentan desarrollar la complejidad asociada a los proyectos, hay otros intentos aislados de definirla, como el de Shenhar & Dvir (2007) que a través de su propuesta del modelo de “diamante”, se ocupa de la complejidad tecnológica, complejidad de novedad, complejidad de ritmo y complejidad del proyecto.

Por su lado Girmscheid & Brockmann (2008) consideran que el nivel de complejidad de un proyecto debe ser evaluado atendiendo a cinco aspectos: 1) la complejidad de las tareas —refiriéndose a la intensidad de las actividades en el espacio y el tiempo—; 2) la complejidad social —según la cantidad de actores que trabajan y se comunican entre sí—; 3) la complejidad cultural —en función de la historia, cultura y experiencia de los integrantes para poder realizar las tareas asignadas—; 4) la complejidad operativa —según la independencia de las organizaciones cuando definen las operaciones para alcanzar sus metas; y 5) la complejidad cognitiva —en el nivel de conocimiento de cada persona o del equipo.

Finalmente, hay que decir que la producción investigativa de los últimos años sobre los proyectos y su gestión, incluye el proceso de cambio entre la perspectiva clásica a la perspectiva desde la complejidad. Según Svejvig & Andersen (2014), se han identificado categorías que anteriormente fueron enunciadas.

Como se observa, esta nueva concepción reconoce a la complejidad como una propiedad emergente del proyecto, diferente del tamaño y la incertidumbre (Baccarini, 1996; Bubshait & Selen, 1992; Gidado, 1993); que puede aparecer en distintas formas y tener distintas causas (Kähkönen, 2008) (ver Figura 2).

Figura 2. Mapeo de la complejidad en proyectos



| | | |
|---|---|--|
| Pocas piezas Completa Sin ambigüedades Explicable Fin Rutina Baja tecnología Sin prisas Baja habilidad Continuidad | Conocimiento Supuestos Novedad Ritmo Comprensión Probabilidad Desorden Comportamiento Integración Opciones | Inexplicable Incontrolable Desconocidos Discontinuos Incertidumbre Desorden Novedad Alta tecnología Intrincada Alta habilidad |
|---|---|--|

Fuente: Elaboración propia con las contribuciones de Hass (2009).

Según Hass (2009), un proyecto simple es aquel que se puede conocer fácilmente; un proyecto complicado no es simple, pero aún se puede conocer; un proyecto complejo no se puede conocer completamente, pero es razonablemente predecible; y un proyecto caótico ni es conocido ni es previsible.

Hass (2009), propone usar un modelo para identificar y diagnosticar los elementos de complejidad para un proyecto específico, para asegurar su gestión de manera apropiada, ver Tabla 5.

Tabla 5. Modelo de complejidad del proyecto

| Dimensión de la complejidad | Perfil de complejidad del proyecto | | |
|------------------------------------|---|---|---|
| | Proyectos simples | Moderada complejidad | Alta complejidad |
| Tiempo/costo | <3 meses <\$250k | 3-6 meses \$250k-\$750k | >6 meses >\$750k |
| Tamaño equipo | 3-4 miembros | 5-10 miembros | >10 miembros |
| Composición del equipo y desempeño | Fuerte liderazgo Equipo interno, ha trabajado juntos en el pasado Uso de estándares | Liderazgo competente Equipo con personal externo e interno Contratos de recursos externos Metodologías semi-formales | Inexperiencia en gestionar proyectos complejos Estructura compleja del equipo Contratos complejos |

| | | | |
|--|---|---|---|
| | | | Diversidad de metodologías |
| Urgencia y flexibilidad de costo, tiempo y alcance | Alcance pequeño Hitos pequeños Cronograma, presupuesto y alcance flexible | Alcance, presupuesto y cronograma aceptan pequeñas variaciones Alcance e hitos realizables | Alcance y cronograma ambicioso Tiempos de entrega fijos y no pueden ser cambiados Presupuesto, alcance y calidad no son flexibles |
| Claridad del problema, oportunidad y soluciones | Objetivos claros Fácilmente entendible el problema, la oportunidad o la solución | Objetivos definidos Problemas u oportunidades parcialmente definidos Soluciones parcialmente definidas | Objetivos no son claros Problema u oportunidad es ambigua y no está definida Solución es difícil de definir |
| Requisitos de volatilidad y riesgo | Cliente fuerte / usuario de soporte Requisitos básicos, entendibles y estables | Adecuado cliente/ usuario soporte Requisitos básicos entendibles, pero se esperan cambios Moderadamente compleja la funcionalidad | Inadecuado cliente/usuario soporte Requisitos no son entendibles, volátiles y no definidos Alta complejidad en la funcionalidad |
| Importancia estratégica, implicaciones políticas, múltiples stakeholders | Fuerte apoyo ejecutivo No hay implicaciones políticas Sistema de comunicaciones | Adecuado apoyo ejecutivo Algunos impactos directos en la misión Implicaciones políticas menores 2-3 grupos de stakeholders Esfuerzos en la comunicación | Inadecuado apoyo ejecutivo Impactos en el core del negocio Mayores implicaciones políticas Múltiples stakeholders |
| Nivel de cambios en la organización | Impacta una simple unidad del negocio | Impacta 2-3 unidades del negocio | Impacta la organización. Impacta grupos funcionales o agencias Transforma la organización Impacta algunos procesos y sistemas tecnológicos |
| Nivel de cambio comercial | Menores cambios | Cambios menores | Cambios de impacto |
| Riesgos, dependencias y contratos externos | Bajo riesgo Algunas influencias externas | Moderado riesgos Algunas partes del proyecto dependen de factores externos | Alto riesgo El éxito del proyecto depende en gran parte de factores externos |

| | | | |
|--|--|--|--|
| | | Algunas nuevas regulaciones | Altamente regulado por la novedad |
| Nivel de complejidad en tecnologías de información | Soluciones utilizando herramientas existentes El nivel de complejidad es bajo | Soluciones con un nivel de dificultad La integración de la parte legal y la complejidad de nuevas tecnologías es moderado | Las soluciones requieren alto nivel de innovación Uso de tecnologías complejas La integración de la parte legal y la complejidad de nuevas tecnologías es moderado |

Fuente: Elaboración propia con base en las contribuciones de Hass (2009).

2.3. Proyectos complejos y componentes que pueden definir su nivel de complejidad.

La literatura muestra los diferentes avances sobre la determinación de componentes que podrían definir el nivel de complejidad de los proyectos complejos (ver Tabla 6).

Tabla 6. Componentes que definen nivel de complejidad en proyectos complejos

| Componentes generales | Componentes de detalle | Autores |
|---------------------------|---|--|
| Tamaño del proyecto | Inversión en capital Número de actividades Número de empresas compartiendo recursos Número de decisiones Número de niveles jerárquicos Número de sistemas de información Número de inversores Objetivos del proyecto Número de stakeholders Número de estructuras/grupos/equipos que hay que coordinar | Baccarini (1996); Corbett et al. (2002); Geraldi and Adlbrecht (2007); Müller et al. (2007); Vidal and Marle (2008); Williams (1999, 2002); Xia and Lee (2005) |
| Diversidad en el proyecto | Localización geográfica de los stakeholders Tipos de recursos financieros Diversidad de sistemas de información Diversidad de interdependencias organizacional. Tipos de requerimientos Diversidad métodos para gestionar el proyecto Diversidad de intereses de los stakeholders | Baccarini (1996); Corbett et al. (2002); Geraldi and Adlbrecht (2007); Hagan et al. (2011); Jones and Anderson (2005); Vidal and Marle (2008); Williams (1999) |

| | | |
|---------------------------------------|---|---|
| Elementos del contexto | Competencia Complejidad del entorno Configuración Institucional Regulación y leyes Grado de innovación organizacional | Baccarini (1996); Chu et al. (2003); Geraldi and Adlbrecht (2007); Koivu et al. (2004); Vidal and Marle (2008) |
| Interdependencias dentro del proyecto | Disponibilidad de recursos exclusivos y compartidos Dependencias entre cronogramas Dependencias con el entorno Interconectividad y retroalimentación de tareas en el proyecto Interdependencias entre actores Interdependencias entre sistemas de información Interdependencia entre objetivos Procesos interdependientes Interrelaciones entre stakeholders Cooperación del equipo y comunicación | Baccarini (1996); Calinescu et al. (1998); Geraldi and Adlbrecht (2007); Rodrigues and Bowers (1996); Tatikonda and Rosenthal (2000); Thomas and Mengel (2008); Vidal and Marle (2008); Williams (1999) |
| Complejidad del proyecto | No linealidad Dependencia de contexto Único Incertidumbre Confianza Capacidad | Alderman and Ivory (2007); Geraldi (2008); Müller and Turner (2007); Müller et al. (2007); Pundir et al. (2007); Remington and Pollack (2007); Vidal and Marle (2008); Williams (2002, 2005) |

Fuente: Elaboración propia con base en las contribuciones de Qureshi & Kang (2014).

Trabajar en torno a la complejidad no parte de una definición única de lo que puede significar “complejidad”, por el contrario, es habitual que en la literatura los autores se refieran a sistemas que entran en el dominio de las ciencias de la complejidad a partir de la identificación de algunas propiedades o atributos que los hacen complejos o que pueden contribuir a su comprensión o explicación.

Un sistema complejo es una representación de un recorte de la realidad, conceptualizado como una totalidad organizada, en la cual los elementos no son “separables” y no pueden ser estudiados aisladamente (García, 2006).

Según García (2006) los sistemas complejos son sistemas abiertos, carecen de límites definidos y realizan intercambios con el medio externo. Todo sistema abierto (auto organizado) está sometido a perturbaciones que pueden ser de carácter exógeno o de carácter endógeno, si dichas perturbaciones oscilan dentro de ciertos límites sin alterar la estructura del sistema, diremos que el sistema es estable con respecto a dicha escala de perturbaciones. Cuando el sistema no puede absorber la perturbación, el sistema se torna inestable y ocurre una disrupción de su estructura.

Los sistemas complejos son redes compuestas por una serie de componentes que interactúan entre sí, normalmente de una manera no lineal (Sayama, H., 2015). Los sistemas complejos pueden surgir y evolucionar a través de la auto organización, de modo que no son ni completamente regulares ni completamente aleatorios, lo que permite el desarrollo del comportamiento emergente a escalas macroscópicas (Sayama, H., 2105).

Los sistemas complejos son auto organizativos y exhiben propiedades emergentes. Lo importante en estos sistemas son las interacciones que tienen los elementos entre sí, la diversidad y variabilidad de sus componentes, la consideración de dichos sistemas como sistemas abiertos en un medio ambiente que es esencialmente indeterminado, y el hecho de que la clase de fenómenos que exhiben complejidad admiten más de una comprensión desde diferentes escenarios (Maldonado, 2012).

En la teoría de la complejidad morinista hay una trinidad: las interrelaciones, la organización y el sistema. La idea de interrelación remite a los tipos y formas de unión entre los elementos/individuos, entre estos elementos/individuos y el todo. La idea de sistema se remite a la unidad compleja del todo interrelacionado, a sus caracteres y sus propiedades. La idea de organización remite a la disposición de las parte dentro, en y por un todo (Morin, 1993, p. 126).

Si los fenómenos que entran en el ámbito de la complejidad están caracterizados por ser variables, cambiantes, marcados por la irreversibilidad, y en relación con conceptos como “atractores extraños”, “turbulencias”, “inestabilidades”, “alejados del equilibrio”, “se acercan al borde del caos”, “sufren rupturas de simetría”, “iteración”, “recursividad” y “bucles”, entonces los “proyectos complejos” entran en el ámbito de la complejidad (Dombkins, 2008).

Es así como el concepto de “proyecto complejo” no puede ser estudiado a través de la perspectiva clásica de proyectos y desde las ciencias clásicas, ya que estos se entienden como sistemas abiertos, emergentes y de adaptación, que se caracterizan por la recursividad y la retroalimentación no lineal (Dombkins, 2008); son sistemas dinámicos que pueden ejecutarse al borde del caos (Bertelsen, 2003).

Para la presente investigación se tomarán los elementos descritos anteriormente mediante la Figura 1 y la Tabla 6. Su tratamiento se dará como si se tratara de un sistema complejo adaptativo.

Las principales características que adoptan los proyectos complejos, vistos como sistemas complejos adaptativos según Remington K. y Pollack J. (2010), son las siguientes:

- Auto organización: Un proyecto puede sufrir dos tipos de perturbaciones: de carácter exógeno (las cuales corresponden a modificaciones del entorno) o de carácter endógeno (que corresponden a modificaciones de alguno de los parámetros que determinan las relaciones dentro del sistema) (García R., 2006). El proyecto se reorganiza hasta adoptar una nueva estructura emergente que puede mantenerse estacionaria mientras no cambien las nuevas condiciones del entorno o de los parámetros internos en el sistema. Durante estos cambios el proyecto se puede acercar al borde/frontera del caos, de allí que podrían aparecer atractores (novedades) que promueven procesos de innovación para darle continuidad a su ejecución (Hass, K.B. 2009).

La estructura de la organización temporal, puede gestionarse de manera adaptativa a través de la auto organización, con base en la toma de decisiones; que pueden generar nuevos estados del sistema o un nuevo sistema, respecto a sus condiciones iniciales.

- **Jerarquía:** Los proyectos como sistemas pueden a su vez contener otros sistemas: los miembros de la organización temporal ejecutora del proyecto a su vez pertenecen a otros subsistemas, las estructuras de desglose de trabajo también forman jerarquías para la ejecución de actividades, el proyecto puede ser percibido desde diferentes niveles dependiendo del interés del observador.
Se indicó anteriormente que esta característica está presente en la estructura de la organización temporal y en la estructura operativa.
- **Falta de linealidad:** Pequeñas causas provocan efectos en los proyectos. El resultado de una pequeña variación en las entradas exógenas o parámetros endógenos puede generar variaciones considerables en el sistema (de manera inmediata o de manera posterior), a diferencia de un efecto lineal. En proyectos de construcción, el comportamiento del clima (variable exógena) puede variar de manera considerable el sistema, cambiando de estado o cambiando todo el sistema.
La estructura de la organización temporal y la estructura operativa pueden variar su estado o el mismo sistema a través de factores exógenos (previsibles o no) o novedades (no previsibles).
- **Adaptabilidad:** Los sistemas adaptativos pueden reorganizar su estructura interna sin la intervención de ningún agente externo. Esta característica, producto de un aprendizaje inconsciente, aumenta la probabilidad de que el sistema sobreviva en entornos turbulentos e inestables.
Para que un proyecto complejo mejore su nivel de desempeño debe gestionarse de manera adaptativa.

Para aplicar estas características en proyectos complejos, Hass (2009) propone comparar las características de los proyectos que pueden utilizar prácticas convencionales de gestión de proyectos con las características de los proyectos que requieren un modelo de gestión de proyectos más adaptativo, ver Tabla 7.

Tabla 7. Caracterización de proyectos

| Gestión de proyectos convencionales (simples/complicados) | Gestión adaptativa de proyectos (proyectos complejos) |
|--|--|
| Estructurado, ordenado, disciplinado | Espontáneo, desorganizado |
| Se basa en gran medida en los planes | Evoluciona a medida que se conoce más información |
| Predecible, bien definido, repetible | Sorprendente, ambiguo, único, inestable |
| Entorno inquebrantable | Entorno volátil y caótico |
| Tecnologías probadas | Tecnologías no probadas |
| Cronograma realista | Cronograma agresivo, necesidad urgente |

Fuente: Elaboración propia con base en las contribuciones de Hass (2009).

Un proyecto puede ser complejo si comporta alguna de las características que así lo determinen, ejemplo de ello podría tomarse las identificadas en la Tabla 5, y puede ser estudiado como un sistema y este a su vez en relación con otros sistemas de su entorno (Hass, 2009).

La gestión de proyectos debe ser capaz de abordar el proyecto de manera integral, es decir, abordar el proyecto en todo su contexto, en lugar de hacerlo de manera aislada de su entorno. La mayoría de los proyectos operan dentro de sistemas más grandes y, de hecho, representan sistemas que se componen de múltiples sistemas más pequeños pero interconectados. Este enfoque se concentra en las expectativas de los clientes de los proyectos que ahora se alejan de las entradas y salidas, y pasan a un enfoque basado en los resultados y la obtención de los beneficios. Estos cambios, junto con la creciente incertidumbre medioambiental, entre otros aspectos, están impulsando la gestión de proyectos no solo para ver el proyecto como un sistema con subsistemas internos, sino también para ver el proyecto en sí mismo como parte de un sistema mucho más grande. Las metodologías y herramientas de gestión de proyectos positivistas tradicionales desglosan lógicamente proyectos, organizaciones y problemas en sus partes constituyentes, analizan esas partes y luego las vuelven a ensamblar. Este enfoque lógico está significativamente limitado por su incapacidad para abordar la interacción, la interdependencia y la sinergia entre las partes constituyentes. La interacción y la sinergia entre los elementos dentro de un sistema, y la interacción de ese sistema con su entorno, son los problemas críticos, no cómo funcionan las partes de ese sistema de forma aislada. Una vista de sistemas de proyectos proporciona una herramienta poderosa para establecer una comprensión filosófica de proyectos. Los subsistemas y procesos que comprenden un sistema solo pueden entenderse en términos de su relación entre ellos; el sistema en su conjunto; y el sistema como parte de un sistema más grande. Por lo tanto, comprender un sistema requiere una comprensión de esas relaciones (ICCPM, 2012).

Con base en lo anterior, para la presente investigación un proyecto complejo es estudiado como un sistema complejo a través de dos estructuras: la estructura operativa (sistema complejo de indicadores) y la estructura de organización temporal (sistema complejo adaptativo), estructuras que serán estudiadas más adelante en el Capítulo 5.

2.4. Complejidad y pensamiento complejizador

Para Holland (2012), del Instituto Santa Fe, los sistemas adaptativos complejos se caracterizan por tener cuatro propiedades básicas: agregación, no linealidad, flujos y diversidad y tres mecanismos comunes: etiquetas, modelos internos y construcción de bloques. La agregación de componentes produce propiedades emergentes. La no linealidad hace referencia a comportamientos que no se pueden expresar como la suma de los comportamientos de las partes, por lo tanto, no está sujeta al principio de superposición. Los flujos definen el cambio de sitios de los componentes de un sistema. La diversidad considera que no hay un elemento superior a los demás, dado que hay una mutua dependencia entre todos los elementos.

En cuanto a los mecanismos, las etiquetas son los elementos que ayudan a identificar lo propio del extraño para detectar los elementos dañinos. Los modelos contienen un indicador interno instalado que les permite encontrar maneras de anticipar lo que va a ocurrir en el ambiente. Los bloques de construcción son piezas de reglas que forman cadenas.

Según Hilbert (2014), existen problemas de simplicidad, problemas de complejidad organizada y problemas de complejidad desorganizada. Otra característica es que son adaptativos y están procesando información de manera continua, cambian y aprenden de la experiencia (Murray, 1995).

Según Rodríguez y Aguirre (2011, p.5), desde la perspectiva organizativa hay varios enfoques, la complejidad organizada y la complejidad no organizada.

La complejidad no organizada está caracterizada por el estudio de un alto número de casos o variables; está asociada con el desarrollo de la teoría de la probabilidad y la mecánica estadística, aplicada en distintas ramas de la ciencia, desde fines del siglo XIX. Mientras que, en la complejidad organizada, emerge con la revolución científica y tecno científica de mediados del siglo XX. Su característica fundamental es la auto organización, la emergencia y la no linealidad (Weaver, 1948).

La complejidad organizada ha sido abordada desde diferentes disciplinas, dando lugar a varias teorías: la cibernética (Wiener, 1985), la cibernética de segundo orden (Foerster, 1996), la epistemología genética (Puiaget, 1978), la teoría de la auto organización (Ashby, 1962), la teoría general de los sistemas (Bertalanffy, 1968), la geometría fractal (Mandelbrot, 1987), la teoría de autómatas celulares (Neumann, 1966, 1968), la termodinámica de los procesos irreversibles (Prigogine y Nicolis, 1987) y la teoría de la autopoiesis (Maturana y Varela, 1972), la teoría de las catástrofes (Thom, 1976), entre otras.

Y la relación entre la complejidad y la organización tiene dos modos de abordaje distintos, la complejidad restringida y la general. Por un lado, la complejidad restringida, conformada por las ciencias de la complejidad y la complejidad general, soportada en el pensamiento complejo (Morin, 1977, 1980, 1986).

Según Maldonado (2011), el pensamiento complejo es una epistemología que pretende cambiar la actitud del ser humano ante el mundo, en tanto que las ciencias de la complejidad plantean transformarlo. Maldonado (2011) plantea que en el ámbito de la lógica del pensamiento complejo se hace necesario distinguir dos clases de inferencias: las transductivas y las inductivas. Las transductivas incluyen a las inferencias por igualdad, por simetría, por homología, por desigualdad, por vinculación, por referencia y por analogía. Las inferencias inductivas comprenden la inferencia por enumeración completa, por coligación, por inducción matemática, por recurrencia, por reconstrucción, por inducción amplificadora, por muestreo, por estadística, por concordancia, por diferencia, por concordancia y diferencia, por residuo y por variaciones concomitantes.

Para el presente trabajo de investigación el enfoque para conceptualizar la ciencia social y la gestión de proyectos complejos es el de la complejidad. Este enfoque tendrá como marco de referencia, como se ha indicado anteriormente: el no determinismo, el no reduccionismo y la no disyunción. Hay que indicar que este nuevo enfoque implica una apertura metodológica que no tiene un método propio (Bernal, 2010), no podría enmarcarse en métodos que aplican a las ciencias clásicas (como lo puede ser lo cualitativo o lo cuantitativo), por lo que se tomarán elementos tanto del pensamiento complejo (descrito como la complejidad general) y herramientas de las ciencias de la complejidad (descrito como la complejidad restringida).

A pesar de que existen diferencias en el contexto metodológico entre ambas comprensiones de la complejidad, se partirá de lo que cada una de ellas puede aportar: *el pensamiento complejo* puede brindar el campo reflexivo necesario para desarrollar un marco epistémico inclusivo de valores éticos, políticos y de inclusión del sujeto en el objeto observado, conformes a las necesidades y desafíos de las comunidades sociales, y *las ciencias de la*

complejidad pueden brindar las herramientas metodológicas concretas para el estudio de fenómenos complejos, a través del modelamiento y la simulación de sistemas complejos, refiriéndose al proceso por el cual se crea una abstracción de un sistema u objeto real (en un proceso de aproximación y simplificación), con la finalidad de desarrollar procesos de inferencia sobre los mismos (Rodríguez & Aguirre, 2011).

Redes complejas

La perspectiva de las redes complejas se inicia a finales de los años 90 con una amplia producción conceptual y soporte metodológico en el análisis de redes sociales y aportes teóricos de la física estadística (Newman, 2010).

Leonhard Euler (1736) establece las bases matemáticas del análisis de redes como área de investigación científica con la solución del problema de los puentes de Königsberg y seguido con la teoría de grafos. El uso de grafos para representar sistemas sociales llevó al inicio de análisis de las redes sociales en el siglo XX (Freeman, 2004).

En la mitad del siglo XX se introduce formalmente el análisis matemático, incluyendo resultados de la teoría de grafos y la estadística (Erdős y Rényi, 1959; Freeman, 2004; Newman, et al., 2006; Wasserman y Faust, 1994).

El desarrollo del formalismo de las redes complejas se ha concentrado en tres líneas de investigación (Newman, 2003), a saber: *las propiedades estadísticas de la red*, que caracterizan su estructura y topología (Bianconi, Pin y Marsili, 2009; Boccaletti, et al., 2007; Borgatti, 2005; Costa, et al. 2007; Newman, 2003), *modelos de redes que representan y ayudan a entender el significado de dichas propiedades* (Barabási y Albert, 1999; Barrat, et al., 2004; Erdős y Rényi, 1959; Watts y Strogatz, 1998), y por último, *el análisis de las dinámicas y de los comportamientos emergentes de las redes* (Barrat, Barthélemy y Vespignani, 2008; Boccaletti, et al., 2006; Dorogovtsev, et al., 2008; Nagurney y Quiang, 2007).

A finales de los años 50 Paul Erdős y Alfred Rényi construyeron un modelo de redes aleatorias para describir la evolución y algunas propiedades de las redes de comunicaciones (Erdős y Rényi, 1959). Este modelo equipara complejidad con aleatoriedad: lo que no puede ser explicado en términos simples por su complejidad es abordado desde la aleatoriedad.

Si se acepta que “la complejidad es imprevisibilidad esencial” (Le Moigne, 1990b, p. 304), entonces podemos evaluar la complejidad instantánea de un sistema modelizable, por la puesta en correspondencia del número de comportamientos posibles del sistema (probabilidad de ocurrencia) y el número de comportamientos ciertos de ese sistema.

Para el desarrollo de la presente investigación se simularán redes complejas temporales, acercando la complejidad con la aleatoriedad para estudiar sus propiedades y analizar su comportamiento emergente en un tiempo dado.

Dinámica de sistemas y sistemas dinámicos

Dinámica de sistemas: La dinámica de sistemas es una metodología para analizar y modelar el comportamiento temporal en entornos complejos. Fue creada a principios en la década de 1960 por Jay Forrester de la MIT Sloan School of Management of Massachusetts Institute of Technology. Se basa en la identificación de los bucles de realimentación entre los elementos, y también en las demoras en la información y materiales dentro del sistema.

Se analizan los efectos de los bucles o ciclos de realimentación, en términos de flujos y depósitos adyacentes. La simulación de estos modelos actualmente se puede realizar con ayuda de programas de cómputo.

Tiene aplicaciones en diferentes áreas del conocimiento y se constituye en una herramienta para: 1) enseñar a los reflejos del sistema de pensamiento de las personas que está siendo entrenado, 2) analizar y comparar los supuestos y modelos mentales acerca de cómo funcionan las cosas, 3) obtener una visión cualitativa sobre el funcionamiento de un sistema o las consecuencias de una decisión, y 4) reconocer arquetipos de sistemas disfuncionales en la práctica diaria (Forrester, 1971).

Los modelos permiten simular el impacto de diferentes políticas relativas a la situación a estudiar ejecutando simulaciones *¿Qué pasaría sí?*, permitiendo ver las consecuencias a corto y mediano plazo y comprender cómo los cambios en un sistema lo afectan en el tiempo (Radzicki & Taylor, 2008).

Según Rodríguez y Bowers (1996), la aplicación de la dinámica de sistemas a la gestión de proyectos es motivada por varios factores:

- ✓ El interés por considerar el proyecto en su totalidad en lugar de la suma de los elementos individuales, con el objetivo de trascender de lo holístico a lo complejo.
- ✓ La necesidad de examinar aspectos mayores no lineales típicamente descritos por balanceo o refuerzo de los bucles de realimentación.
- ✓ Una necesidad para un modelo de proyecto flexible el cual ofrece un sinnúmero de posibles simulaciones con opciones para los tomadores de decisiones.
- ✓ La falla de las herramientas analíticas tradicionales para resolver todos los problemas de la gestión de proyectos y la necesidad de evolucionar desde la perspectiva clásica a la perspectiva de la complejidad.

La dinámica de sistemas en la presente investigación se basará en los planteamientos descritos anteriormente (Rodríguez y Bowers, 1996), al abordar el estudio de los proyectos complejos a través de la herramienta híbrida desarrollada a través de los capítulos siguientes.

Sistemas dinámicos: Un sistema dinámico es un sistema cuyo estado evoluciona con el tiempo. El comportamiento en dicho estado se puede caracterizar determinando los límites del sistema, los elementos y sus relaciones; de esta forma se pueden elaborar modelos que buscan representar la estructura del mismo sistema. En cuanto a la elaboración de los modelos, los elementos y sus relaciones, se debe tener en cuenta: a) un sistema está formado por un conjunto de elementos en interacción. b) el comportamiento del sistema se puede mostrar a través de diagramas causales y c) hay varios tipos de variables: variables exógenas y las variables endógenas (Lacomba, 2000).

Los sistemas dinámicos se dividen en sistemas discretos en el tiempo y continuos en el tiempo. Un sistema dinámico se dice discreto si el tiempo se mide en pequeños lapsos, estos son modelados con relaciones recursivas. Los sistemas dinámicos son un área de las matemáticas, que se estableció con los trabajos destacados de matemáticos e ingenieros como: Smale, Arnold, Lyapunov (Lacomba, 2000).

Para el caso de la presente investigación se trabaja con sistemas dinámicos discretos no lineales, los proyectos son analizados en períodos definidos de tiempo igual que el comportamiento de sus variables. Y para integrar la dinámica de sistemas y los sistemas dinámicos se considerará el enfoque metodológico para el estudio y representación de comportamientos complejos planteados por Dyner, L. et. al. (2016) y de manera específica lo siguiente: Definición del problema, conceptualización del sistema, formalización, comportamiento del modelo y evaluación del modelo.

Pensamiento complejizador: En el trabajo de Morin, el pensamiento complejo no está orientado a sustituir la “simplificación atomizante” por una “simplificación globalizante” (Morin, 1983, p.417). Este pensamiento no apunta a lo elemental (unidad simple y pensamiento claro) sino a lo radical, en donde aparecen incertidumbres y antinomias, donde el pensamiento complejo tiende a la multidimensionalidad. Según Grinberg (2013), en resumen, todo sería simple si no existiera más que la complicación, y la vida podría ser complicada al mismo tiempo que muy simple. Esta simultaneidad nutre la complejidad, cuya problemática debe plantearse correlativamente en el marco del pensamiento de la realidad (gnoseológico) y la naturaleza de la realidad (ontológico). Lo cual equivale a decir que la complejidad abarca al mismo tiempo los fenómenos, los principios fundamentales que rigen los fenómenos, y los principios fundamentales-metodológicos, lógicos, epistemológicos, que rigen y controlan nuestro pensamiento.

Según Grinberg (2013), Morin resalta constantemente que el pensamiento complejo es ante todo un pensamiento que relaciona y que es el significado más cercano al término *complexus* (lo que está tejido en conjunto). Lo que equivale a decir que, en oposición al modo tradicional de pensamiento, que divide el campo de los conocimientos en disciplinas, el pensamiento complejo es un modo de religación. Por lo tanto, se opone al aislamiento de los objetos de conocimientos, los restituye a su contexto y, toda vez que resulte posible, los reinserta en la globalidad a la cual pertenecen. Es así como lo real y lo imaginario están co-tejidos y forman el *complexus* de nuestros seres y nuestras vidas. Para Morin, la capacidad de “unir” se convirtió no en una palabra clave sino en la idea-madre: “El conocimiento que une es el conocimiento complejo. La ética que une es la ética de la fraternidad. La política que une es la política que sabe que la solidaridad es vital para el desarrollo de la complejidad social”.

Morin a través de su obra (Grinberg, 2013), plantea la discusión de tres líneas fundamentales: la primera línea invita a reflexionar sobre el término *complexus*, lo entretejido, lo que puede deducir que el nuevo paradigma no constituye una latitud fija del conocimiento, sino una travesía de descubrimientos infinitos.

Como segunda línea, Morin plantea la imprevisibilidad, un pensamiento complejo debe ser capaz de adoptar una postura en relación con la incertidumbre. Las ciencias físicas descubrieron el principio de incertidumbre y aplicaron estrategias para enfrentarlo, como la estadística. El problema de nuestra cultura transicional es que el pensamiento humano logró encarar la incertidumbre en el ámbito de las ciencias, pero no en los ámbitos social, económico, histórico y psicológico. “La complejidad no lo es todo, no es la totalidad de lo real, pero es lo que mejor puede, a la vez, abrirse a la inteligencia y revelar lo inexplicable”.

Y como tercera línea Morin plantea la necesidad de oponer la racionalización cerrada a la racionalización abierta. La primera piensa que es la razón la que está al servicio de la lógica, mientras la segunda imagina lo contrario. Se vive bajo un mundo de ideas racionalizadoras,

que no consiguen darse cuenta de lo que sucede y privilegian los sistemas cerrados, coherentes y consistentes.

Por otro lado, están los principios del pensamiento complejo que plantea Morin (Gómez & Jiménez, 2002):

- a) El principio dialógico o de dialogización: Principio que pone en relación dos lógicas que son antagónicas (orden/desorden). Ninguno de los dos términos es reductible al otro, pero tampoco son nítidamente separables, confluyen mutuamente.
- b) El principio de recursión (recursividad organizacional): El principio de recursividad conduce al pensamiento complejo a las ideas de autoproducción y auto organización. Un proceso recursivo es aquel en el cual los productos y los efectos son, al mismo tiempo, causas y productores de aquello que los produce. La idea recursiva es, entonces, una idea que rompe con la idea lineal de causa/efecto, de producto/productor, de estructura/superestructura, porque todo lo que es producido regresa sobre aquello que lo ha producido en un ciclo en sí mismo auto constitutivo, auto organizador, y auto productor (Morín, 1990).
- c) El principio hologramático: En una organización, el todo está inscrito en cada una de sus partes. Se presentan tres modalidades: 1) holomónica: el todo, en tanto que todo, puede gobernar las actividades locales, 2) hologramática: el todo puede, aproximadamente, estar inscrito o engramado en la parte inscrita en el todo, 3) holoscópica: el todo puede estar contenido en una representación parcial de un fenómeno o de una situación.
- d) El principio de emergencia: En las realidades organizadas emergen cualidades y propiedades nuevas (a las que puede llamar “emergencias”) que no son reducibles a los elementos (partes) que las componen y que retro actúan sobre esas realidades.
- e) El principio de auto-eco-organización: Este principio muestra por un lado que la explicación de los fenómenos debe considerar tanto la lógica interna del sistema como la lógica externa de la situación o entorno. Por el otro, que todo fenómeno autónomo (auto organizador, auto productor, auto determinado) debe ser considerado en relación con el entorno o ecosistema.
- f) El principio de borrosidad: Este principio se opone a la idea de que todos los enunciados y conceptos propios de las organizaciones complejas se puedan poner en blanco o negro, sin ambigüedad. Este principio permite al pensamiento razonar (Morín, 1988) con enunciados y conceptos inciertos o indecibles.

Para la presente investigación los principios descritos se verán desarrollados a través de los procesos de modelización y simulación que se presentan en el capítulo 5 y 6.

Resumen del capítulo

En el presente capítulo se ha realizado el proceso de revisión de la literatura sobre la relación de complejidad, los proyectos complejos y su gestión, el pensamiento complejizador y los diferentes elementos que intervienen en perspectiva de la complejidad, los principales autores y sus postulados, así como los avances y trabajos de investigación que se están desarrollando. En el capítulo se plantea la evolución de la perspectiva de la complejidad o de segundo orden (PM-2), a nivel teórico. Se plantea la necesidad de concretar la relación cuando la naturaleza de la situación por abordar proviene de un problema complejo, el modelo mental del decisor para enfrentar dicho problema y los planteamientos del proyecto para abordar este tipo de problemas, adicionalmente la necesidad de relacionar las ciencias de la complejidad con el pensamiento complejo.

Finalmente, se han determinado los conceptos principales adoptados para la presente investigación y, estos son:

- Proyecto: Desde la perspectiva clásica, se concibe un proyecto “como una herramienta” y la gestión de proyectos “como un conjunto de herramientas y técnicas utilizadas para alcanzar las eficiencias de los proyectos” (Packendorff, 1995).
- Proyecto complejo: Desde la perspectiva de la complejidad, se entiende como proyecto complejo aquel que se concibe como: a) Un sistema complejo compuesto de diferentes compuesto de diferentes elementos interconectados para lograr un objetivo, b) un sistema dinámico que interactúa continuamente con su entorno, c) sus partes interactúan entre ellas y con su entorno y dan lugar a nuevas propiedades que no existían previamente en ninguna de las partes que lo componen (Arellano D., Danti J. y Pérez M., 2016).
- Un proyecto complejo, para la presente investigación es estudiado a través de un sistema complejo¹², por identificarse dos estructuras que lo definen como un sistema: una estructura operativa, la cual estará constituida por un sistema complejo de indicadores y una estructura de organización temporal, la cual puede estudiarse como un sistema complejo adaptativo, por cuanto un proyecto complejo se gestiona de manera adaptativa.
- Complejidad: Es la conexión entre la condición de un sistema complejo y la comprensión del mismo (Bar-Yam, 2004).

¹² Un **sistema complejo** está compuesto por varias partes *interconectadas* o *entrelazadas* cuyos vínculos crean información adicional no visible antes por el observador. Como resultado de las interacciones entre elementos. En contraposición, un sistema «complicado» también está formado por varias partes pero las relaciones entre éstas no añaden información adicional. Nos basta con saber cómo funciona cada una de ellas para entender el sistema. En un sistema complejo, en cambio, existen variables ocultas cuyo desconocimiento nos impide analizar el sistema con precisión. Así pues, un sistema complejo, posee más información que la que da cada parte independiente. Para describir un sistema complejo hace falta no sólo conocer el funcionamiento de las partes sino conocer el funcionamiento del sistema completo una vez relacionadas sus partes entre sí.

CAPÍTULO 3 – Ciencias de la administración y de la gestión

3.1. La crisis de la epistemología positivista de las ciencias de la administración y de la gestión.

La epistemología es considerada como la disciplina que sustenta el juicio de otras disciplinas. Surgió en el siglo XVIII con el movimiento de la Ilustración, para encontrar los fundamentos y marcos de referencia que imponen objetos y representaciones como guías de investigación (Rorty, 1979, p.315). El desarrollo de los supuestos del positivismo en la epistemología ataca a los supuestos de las epistemologías metafísicas con diferentes implicaciones en los niveles de reflexión y análisis de las diferentes instancias del conocimiento científico (Holland, 1999).

El positivismo es una epistemología, que surge en Francia a inicios del siglo XIX de la mano del pensador francés Augusto Comte y del británico John Stuart Mill, y se extiende y desarrolla por el resto de Europa en la segunda mitad del siglo (Holland, 1999).

Según Holland (1999), esta epistemología tiene como características diferenciadoras la defensa de un monismo metodológico, específicamente el método de estudio de las ciencias físico-naturales. A su vez, el objetivo del conocimiento para el positivismo es explicar causalmente los fenómenos por medio de leyes generales y universales, lo que lleva a que considere a la razón como mero medio para otros fines (razón instrumental). La forma que tiene de conocer es inductiva, despreciando la creación de teorías, a partir de principios que no han sido percibidos objetivamente.

En la teoría del conocimiento positivista el conocimiento ya está dado, elaborado y terminado, no permite la problematización, por ello niega la intervención del sujeto en su construcción. Va de lo simple a lo complejo y así se desaprovechan métodos de estudio como la dialéctica, la deducción, la problematización.

La metodología de investigación positivista se refiere a los procedimientos que se asocian con la estadística inferencial, la prueba de hipótesis, el análisis matemático y los eventos experimentales y cuasi experimentales. Estos principios subyacen en las organizaciones modernas que tienen la intención de racionalizar los flujos y procesos de trabajo siempre buscando el logro de resultados en términos de dinero, influencia, poder. Simon (1989) sostiene que la racionalidad de las organizaciones está limitada por las pequeñas capacidades y las pocas habilidades cognitivas de la mente humana para la formulación y solución de problemas complejos.

La epistemología positivista de la gestión de los proyectos ha sido fundamentada a través de la perspectiva clásica, la cual coincide en sus principios (determinismo y reduccionismo) con la epistemología positivista de las ciencias de la administración y de la gestión.

En la gestión de proyectos, lo anterior está en relación con tres elementos fundamentales: 1) Se siguen utilizando herramientas determinísticas para la planificación y ejecución en la gestión de proyectos. La forma de planificar es inductiva, deshecha la problematización y las opciones de alternativas para la toma de decisiones, parte de lo simple de las partes para comprender la complejidad del todo, sigue siendo reduccionista. 2) El sujeto decisor no hace parte del objeto/proyecto de estudio/ejecución, por lo que el sujeto decisor es aislado del

problema y no se analiza como este puede afectar en la planificación y ejecución del proyecto. 3) Se mantiene una mirada simplificadora de un proyecto complejo, por lo que se desestima o no se conoce una estructura mental diferente, el pensar complejamente y 4) la epistemología positivista de la gestión está en crisis frente a las necesidades de fundamentar la relación entre naturaleza de la situación problemática, el modelo mental del sujeto decisor y la concepción de la gestión del proyecto, desde el pensamiento complejo y las ciencias de la complejidad.

La reflexión epistemológica conduce a preguntas como ¿se debe seguir enseñando los enunciados conceptuales que hoy apenas tienen sentido?, ¿vale la pena transmitir la fundamentación determinística de la gestión de proyectos que conducen a un nivel alto de fracaso de los proyectos?

3.2. La crisis del pensamiento simplificador de la gestión de los proyectos complejos.

Actualmente se utilizan modelos de análisis en la toma de decisiones durante la gestión de los proyectos complejos, basados en los siguientes planteamientos de la racionalidad clásica (Cueva, 2009):

- Ver los resultados de las variables, lo cual implicaría destinar tiempo de observación.
- Pensar qué muestran estas variables, pero no es suficiente, por lo cual es necesario razonar.
- Darse cuenta lo que es necesario hacer, pero no es suficiente, hay que destinar tiempo a entender “el cómo y el por qué” y las consecuencias.
- Planear las acciones, pero no es suficiente, hay que destinar tiempo a implementar y adaptar los planes.
- Comunicar a los involucrados lo que se ha planeado, pero no es suficiente, hay que destinar tiempo a interpretar lo logrado, su significado y consecuencias para que todos lo puedan ver.

En este proceso el sujeto (tomador de decisiones) aprende y desaprende, construye y deconstruye con otros. La línea que separa lo grupal de lo individual es frágil, el pensamiento complejo es grupal (transdisciplinar), el pensamiento lineal es individual, aparece la realidad del sujeto y la realidad de otros; en paralelo, se buscan coincidencias y diferencias, determinando qué se puede mantener. Se puede decir que el pensamiento complejo es pensamiento de paralelismo, como si varios cerebros estuvieran pensando el problema complejo.

Hay varios elementos para reflexionar sobre la toma de decisiones y la racionalidad clásica:

- El pensamiento intuitivo puede conducir a juicios deficientes en problemas complejos.
- La percepción de un problema depende de nuestras preferencias, expectativas y experiencia.
- Racionalidad restringida: Según Simon (1989), las personas tienen una capacidad mental limitada y no pueden capturar directamente y procesar todo lo que rodea la complejidad. Las personas crean un modelo simplificado de la realidad y usa este

modelo para hacer juicios de valor, estos modelos no necesariamente contienen las incertidumbres.

Es aquí en donde el pensamiento complejo interviene en los tomadores de decisiones para incorporar una visión diferente, un contexto diferente, una nueva racionalidad que incluya todos los elementos del sistema y su comprensión como un todo para la toma de decisiones.

3.3. Pensamiento complejo y la toma de decisiones transdisciplinar¹³, una nueva racionalidad.

Con base en la segunda hipótesis planteada a través del modelo conceptual en el capítulo 4, definida como: “Un problema complejo exige una estrategia de pensamiento complejo y un tipo de proyecto orientado a elucidar y gestionar dicha complejidad”, se establece la relación entre problema complejo y estrategia de pensamiento complejo el cual se materializará a través de la toma de decisiones que debería ser transdisciplinar.

Para mejor comprensión se establecen las diferentes disciplinas que dan sustento al pensamiento complejo de una forma transdisciplinar. Morin para hablar del pensamiento complejo hace alusión a una metáfora arquitectónica de una casa de tres pisos (Osorio, 2012).

En el primer piso, según Morin, están las tres grandes teorías: la teoría general de sistemas, la teoría cibernética y la teoría de la información (Cueva, 2009). Estas tres teorías le han permitido pensar en un principio de causalidad no lineal que expresará en el pensamiento complejo a través del principio de la recursividad (Osorio, 2012).

En el segundo piso están las teorías de la auto organización propuestas por la revolución biológica y las teorías cibernéticas de autores como Atlan (1990), Capra (2002), Prigogine (1987), Von Neumann (2004). Estas perspectivas conceptuales le permiten a Morin comprender las emergencias globales y las micro emergencias de toda organización, además le permiten comprender como la organización viviente no es la simple suma de muchos componentes, sino una auto-eco-organización emergente con características propias dependientes y al mismo tiempo diferentes del entorno en el que se dan (Osorio, 2012).

En el tercer piso está lo que Morin llama el pensamiento complejo, la capacidad de pensar al ser humano que somos, desde las posibilidades que se han abierto en el diálogo las teorías anteriores y desde las reflexiones críticas del conocimiento que se han dado después de Husserl y Heidegger en la filosofía (Morin, 1997; Morin, 1996b, 202-217) (Osorio, 2012).

¹³ Nicolescu (2006): “La transdisciplinariedad, consiste como el prefijo “trans” indica, a lo que está a la vez entre, a través y más allá de toda disciplina. Su objetivo o finalidad es la comprensión del mundo actual, donde uno de sus imperativos es la unidad del conocimiento”.

La teoría de la información,¹⁴ la cual trabaja con la incertidumbre y la sorpresa, ya que ofrece los elementos que devienen de los problemas. De este modo la información nos permite acceder al universo del problema tratado y del mismo modo organización, al extraer de ahí ideas, situaciones y contexto.

La cibernética¹⁵ mejor conocida como la teoría de las máquinas autómatas que plantea básicamente la idea fundamental de la retroacción, que rompe con el principio de la causalidad lineal e introduce el principio del bucle casual.

La teoría de los sistemas¹⁶ que se fundamenta en el siguiente principio “el todo es más que la suma de las partes”. Lo que se explica entendiendo que existen cualidades emergentes en el todo y los elementos, que nacen en la organización de un todo y que pueden retro-actuar sobre ellas mismas.

Después de realizar esta descripción reflexiva acerca de los supuestos teóricos de pensamiento complejo de Morin se pueden asumir las siguientes reflexiones (Osorio, 2012):

- ❖ Morin asumió la idea de sistema complejo de la sistémica clásica y le integró la idea de complejidad. Asumió que la complejidad nació de la interacción de las partes que componen al sistema complejo, es decir, la complejidad se manifestó en el sistema mismo. La complejidad apareció justamente como resultado de la organización del todo bajo la presión de las infinitas combinaciones de interacciones simultáneas y que abundaron en interrelaciones no lineales. La complejidad no ha resultado una cualidad adicional por fuera de los sistemas complejos, sino que forma parte constitutiva del mismo.
- ❖ Con respecto a la sistémica Morin integró la noción de sistema complejo en el sentido anteriormente mencionado y lo concibió en el marco de una teoría de los sistemas auto organizadores. Propuso que el ser humano se ha constituido como un sistema auto organizado en la medida que se produce a sí mismo de manera constante y posee una relativa independencia con respecto a su medio o contexto. Presenta una clausura operacional en la medida que se mantiene idéntico organizacionalmente así mismo a pesar de los cambios y perturbaciones estructurales tanto internos como externos se haya abierto desde el punto de vista información con su entorno con su ecosistema.
- ❖ En lo referente a la contribución de la cibernética se ha podido destacar que para la propuesta moriniana los conceptos de causalidad circular y retroalimentación resultan imprescindibles para la construcción del principio de auto-eco-organización. Este principio ha planteado la necesidad de relacionar la lógica interna del sistema con la lógica externa del entorno en una dialógica de doble implicación de circularidad

¹⁴ La teoría de la información también conocida como teoría matemática de la comunicación es una propuesta teórica presentada por Claude E. Shannon y Warren Weaver a finales de la década de los años 1940. Estudia la información y todo lo relacionado con ella: canales, compresión de datos y criptografía, entre otros.

¹⁵ Norbert Wiener y Arturo Rosenbluth Stearns (1942). La cibernética integró el estudio interdisciplinario de la estructura de los sistemas reguladores. Estudia los flujos de energía vinculados a la teoría de control y a la teoría de sistemas.

¹⁶ Ludwig von Bertalanffy (1950). Es el estudio interdisciplinario de los sistemas en general. El objetivo de esta teoría es el descubrimiento sistemático de las dinámicas, restricciones y condiciones de un sistema, así como de sus principios.

de retroalimentación en una relación de conformación mutua eco-organización entre el sistema y su entorno.

- ❖ En relación con el aporte de la teoría comunicacional Morin integró la tríada trabajo-pensamiento-lenguaje. Morin asumió que el sujeto ha desarrollado dialécticamente estrategias de pensamiento y raciocinio (destrezas mentales), junto con sus destrezas de trabajo manual con instrumentos y herramientas y sus destrezas comunicacionales en un proceso global.

El pensamiento complejo busca desarrollar estrategias de pensamiento y acción para enfrentar el mundo (Osorio, 2008b). Como todo modo de pensar, el pensamiento complejo debe complementar y confrontar el modo de pensar que separa con un modo de pensar apoyado en unos principios de conocimiento capaces de concebir la religación, lo contextual, lo global (Morin, 1994, 87-110). La lucha por comprender la complejidad organizada el pensamiento complejo tiene que establecer distinciones, trabajar con categorías, diseñar lógicas, construir gramáticas (Solana, 2001).

Para autores como Morin y Nicolescu, el enfoque transdisciplinar del conocimiento trasciende el paradigma disciplinar al superar no solo el “objeto” de conocimiento, sino además la ontología que ha hecho posible el surgimiento del saber en campos especializados, comprendiendo la realidad y el hombre que hace parte de la misma de una manera totalmente diferente (Osorio, 2012).

3.4. La racionalidad en la gestión de proyectos complejos.

Acerca de la *razón*, Morin (2005) nos dice que ella “corresponde a una voluntad de tener una visión coherente de los fenómenos, de las cosas y del universo”, y que, además, “tiene un aspecto indiscutiblemente lógico”. De la *racionalidad*, que “es el juego, el diálogo incesante, entre nuestro espíritu, que crea las estructuras lógicas, que las aplica al mundo, y que dialoga con ese mundo real”.

De la *racionalización*, por otra parte, nos dice que “consiste en querer encerrar la realidad dentro de un sistema coherente. Y todo aquello que contradice, en la realidad, a ese sistema coherente, es descartado, olvidado, puesto al margen, visto como ilusión o apariencia”.

La *racionalidad*, en su desarrollo, se convierte en *racionalización*, la que, de una manera casi patológica, y más o menos inconscientemente, nos conduce a descartar todo aquello que desfavorece o contradice nuestras ideas, nuestros argumentos, y a aceptar aquello que los favorece. La racionalización a menudo “se desarrolla en el espíritu mismo de los científicos”.

La *razón*, para Morin (2005), es “nuestro único instrumento fiable de conocimiento”, pero a condición de que sea una razón crítica y auto-crítica. Nos advierte este pensador que la racionalización es fuente de dos tipos de delirios, el de incoherencia absoluta y el de coherencia absoluta. El primero sería algo así como una azarosa acomodación de la razón a la realidad, las onomatopeyas, “las palabras pronunciadas al azar”, y el segundo, la intención patológica, e inconsciente, de dar una explicación racional al todo. Este último tipo de delirio, nos dice Morin, debe ser enfrentado con el recurso de la racionalidad autocrítica y la utilización de la experiencia.

Si un problema complejo exige una acción/proyecto/estrategia de pensamiento complejo y un tipo de proyecto orientado por resolver y gestionar dicha complejidad, la racionalidad autocrítica que plantea Morin podría permitir reconocer las variables determinísticas y no determinísticas durante la planificación y ejecución de un proyecto complejo, conllevando con ello un mejor nivel de desempeño de los mismos, alcanzando un mejor porcentaje de éxito. Y las ciencias de la complejidad pueden acompañar a modelar estructuras de la gestión de proyectos complejos, desde la racionalidad misma del problema que se va a resolver y del sujeto tomador de decisiones.

Resumen del capítulo

A través de éste capítulo se abordan temas en relación con las ciencias de la administración y la gestión y las nuevas perspectivas de la complejidad. Es así como se reflexiona sobre la epistemología positivista que poco soporte le da a la gestión de problemas complejos y sobre la racionalidad clásica y la racionalidad crítica y autocrítica hacia una toma de decisiones transdisciplinar.

Surge lo que Morin llama el Pensamiento Complejo, la capacidad de pensar el ser humano que somos y, para lo cual Osorio (2012) se plantea varias reflexiones de acuerdo con los planteamientos de Morin: La complejidad asociada a sistemas complejos como parte constitutiva del mismo, los sistemas auto organizados que a pesar de los cambios y perturbaciones estructurales tanto internos como externos se mantienen organizacionalmente, los conceptos de causalidad y retroalimentación que relacionan la lógica interna del sistema con la lógica externa del entorno y la relación entre trabajo-pensamiento-lenguaje. Planteamientos que están en relación con las características de sistemas complejos adaptativos.

Finalmente, el pensamiento complejo puede brindar el campo reflexivo para desarrollar un marco epistémico y la inclusión del sujeto sobre un fenómeno complejo y las ciencias de la complejidad las herramientas metodológicas para el estudio de dichos fenómenos (Rodríguez & Aguirre, 2011).

CAPÍTULO 4 - Modelo de modelos teórico para el estudio de un proyecto complejo

La teoría de la complejidad en la forma que se ha aplicado a las organizaciones (Anderson, 1999) puede también ser aplicada a los proyectos (Williams, 2002; Baccarini, 1996). Todos los proyectos muestran los atributos de interconexión, jerarquía, comunicación, control y emergencia, atributos que son generalmente útiles para describir todo tipo de sistemas (Remington K. y Pollack J., 2010). La mayoría de los proyectos grandes y pequeños también exhiben las características de sistemas adaptativos complejos; presentan características tales como transición de fase, adaptabilidad y sensibilidad a las condiciones iniciales (Remington K. y Pollack J., 2010).

El sistema completo posee mucha más información que la que aporta cada parte independiente, ya que los enlaces y relaciones entre ellas generan información y propiedades nuevas que no pueden explicarse a partir de las propiedades de los elementos aislados (Arellano D., Danti J. y Pérez M., 2016).

Investigaciones como la de Ruiz-Martin y Poza (2015) parten del PMBOK® para proponer a través de una red compleja, una secuencia apropiada para desarrollar los componentes de un plan de gestión del proyecto. Desde la perspectiva de la complejidad, se plantea una estructura analítica de procesos como modelo que da sustento a la evaluación posterior de la dinámica de las relaciones a través de la simulación en la red compleja y el análisis del comportamiento de las características de un proyecto complejo, como sistema complejo.

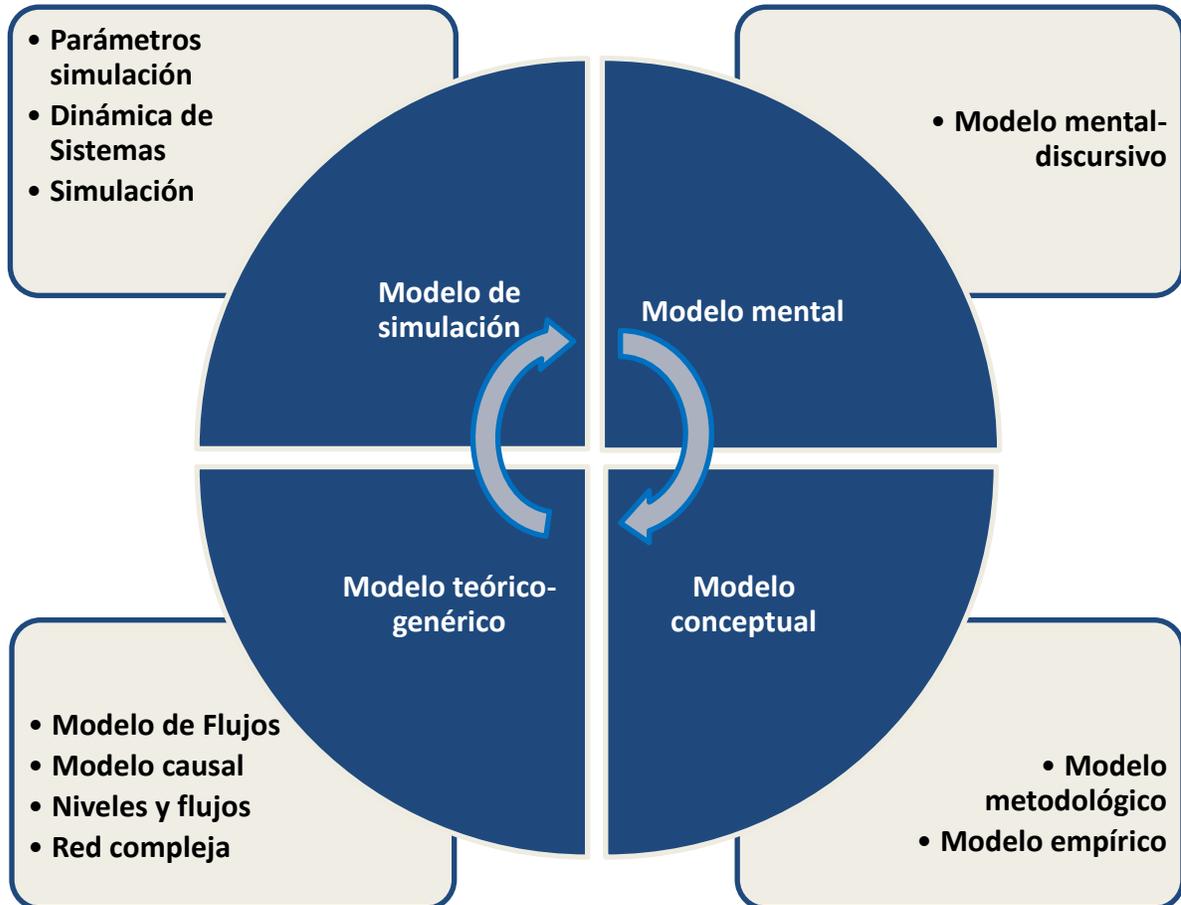
Para el estudio de un proyecto complejo, se plantea el modelo¹⁷ de modelos teórico (ver Figura 3), que permitirá desarrollar la presente investigación, asociando el pensamiento complejo, las ciencias de la complejidad y la gestión de proyectos complejos.

Uno de los vacíos del conocimiento encontrados como parte de la realización de la tesis fue la de no encontrar un modelo que desde el pensamiento complejo concibiera la hibridación de herramientas de las ciencias de la complejidad, para abordar el estudio de proyectos complejos. Al no encontrarse este modelo, se parte de la construcción del mismo y no de la construcción de métodos (que se entienden como la manera de poner en práctica un modelo), ni la construcción de metodologías (que se entienden como el estudio de los métodos).

¹⁷ Un modelo es un recorte de la realidad empírica, que tiene como objetivo mejorar la comprensión del objeto de estudio (Aracil, J. 1986).

Puede afirmarse que los modelos son estructuras históricas, sociales y cognitivas elaboradas a través del lenguaje y la comunicación social. Los modelos son históricos porque no son inmutables, sino que cambian con el tiempo. Además, son sociales por ser irreductibles a la mente individual y porque suponen una materia social proveniente del lenguaje y la cultura. Finalmente, los modelos son construcciones cognitivas porque constituyen una forma de conocimiento (Jean-Louis Le Moigne, 1990).

Figura 3. Modelo de modelos para el estudio de un proyecto complejo.



Fuente: Elaboración propia con base en las contribuciones de Rodríguez, 2016.

Es conveniente precisar el campo en el que se utiliza el concepto de modelo, Marvin Minsky en su artículo Matter, Minds and Models, aporta una de las definiciones más flexibles sobre el concepto de modelo:

Para un observador B, un objeto A* es un modelo de un objeto A en la medida que B puede usar A* para responder preguntas que le interesan sobre A (Minsky 1965b).

Según Le Moigne (1990a, p.5) modelización es la acción de elaboración y de construcción intencional, de modelos susceptibles de hacer inteligible un fenómeno percibido complejo, y de amplificar el razonamiento del actor realizando una intervención deliberada al centro del fenómeno; razonamiento orientado a anticipar consecuencias de esos proyectos de acción posibles. Le Moigne (1990a, p. 9) sugiere que en la modelización se utilicen conceptos de: proyecto, procesos, sistema, componentes, concepción, organización, inteligencia, efectividad, proyección, pertinencia.

Para el desarrollo del modelo de modelos propuesto, se plantea la construcción de: 1) un modelo mental expresado a través de un modelo fundamentado en la perspectiva clásica, evolucionando hacia un nuevo modelo mental desde la perspectiva de la complejidad para la gestión de proyectos, 2) un modelo conceptual que permite contrastar el modelo mental propuesto por el investigador y los planteamientos que sugieren otros expertos en el tema de proyectos, este trabajo de campo es llevado a cabo de manera metodológica para llevar a cabo la investigación empírica, 3) un modelo teórico-genérico: a partir de la guía metodológica PMBOK® se construyen los siguientes modelos: modelo de flujos y procesos, modelo causal y modelo de niveles y flujos. A partir de este último modelo se construye la red compleja y 4) modelo simulación, a partir de un caso específico, se definen parámetros para la simulación, la dinámica de sistemas y el modelo de simulación.

La presente investigación también defiende el planteamiento de que la modelización y la simulación constituyen una estrategia para abordar la complejidad social (Morin, 1984; Roggero, 2006; Soya, 2014). La modelización ofrece nuevas posibilidades para llevar a cabo una investigación interdisciplinaria (García, 2006). Así, el trabajo de modelización y simulación brinda la posibilidad de integrar conocimientos de diferentes disciplinas y, por tanto, abrir la gestión de proyectos a una investigación más fecunda con las ciencias sociales, las ciencias duras y las ciencias computacionales.

Modelo mental - discursivo

Los modelos mentales sugieren que los individuos construyen representaciones cognitivas de las situaciones prácticas en las que actúan (Johnson-Laird 1983 y 1987). Un modelo mental representa el punto de vista de un observador X sobre una experiencia Z.

Los modelos mentales son construcciones individuales, son elaboraciones personales y no compartidas por otras personas (van Dijk, 1999), por lo que son temporales y pueden variar dependiendo del observador. Los modelos mentales, aunque contruidos con el lenguaje interior, son estructuras no comunicativas en el sentido que no presuponen el discurso y la interacción socio-verbal entre sujetos. A este respecto, Grize (2012) propone el concepto de esquematización para señalar la formulación discursiva de un modelo mental. Es justamente la dimensión comunicativa del lenguaje la que permite comprender la construcción de representaciones sociales, es decir modelos mentales socialmente producidos y compartidos a través del discurso, la comunicación y las prácticas sociales (Moscovici, 1979; van Dijk, 1999).

Según Johnson-Laird (1983) los modelos mentales son análogos estructurales del mundo; su estructura, y no su aspecto, corresponde a la estructura de la situación que representan. Los modelos mentales son finitos en tamaño y no pueden representar directamente un dominio infinito. No obstante, un único modelo mental puede representar un número infinito de posibles estados de cosas pues ese modelo puede ser revisado recursivamente. Cada nueva aserción descriptiva de un estado de cosas puede implicar revisión del modelo para incorporarla.

M. Bajtín (1998) define el termino modelo discursivo como un tipo relativamente estable de enunciados. Estos son adquiridos por el individuo, al igual que la lengua materna, en la comunicación empírica con las personas que nos rodean, por lo tanto, los hablantes pueden

tener mayor o menor grado de habilidad en el uso de determinado género discursivo, según el contacto previo que haya tenido con este.

Modelo conceptual

Los modelos conceptuales son aquellos que son inventados o diseñados, por investigadores, ingenieros, arquitectos, profesores para facilitar la comprensión o enseñanza de sistemas físicos, o estados de cosas físicas, objetos o fenómenos físicos (Moreira, 1997).

May Brodbeck (1954) sostiene que los modelos conceptuales centran su función en ser un “esquema intelectual inter-científico”. Los modelos conceptuales son muy útiles cuando se requiere estudiar fenómenos o sistemas complejos, representan la materia de estudio de modo más simple, centrándose en los aspectos más destacados del fenómeno, soslayando ciertos detalles.

El modelo conceptual permite confrontar el modelo mental con la construcción de datos empíricos obtenidos a través de otros expertos. Este modelo conceptual permite desarrollar procesos de inferencia establecidos a partir de los elementos encontrados en el proceso objeto de estudio, sobre la gestión de los proyectos complejos.

De acuerdo con Taylor y Bogdam (1992), la investigación cualitativa constituye un modo de confrontar el mundo empírico. A través de este tipo de investigación se producen datos descriptivos en un contexto natural, en donde se consideran a la situación y a las personas de manera holística, obteniendo de ellas su versión detallada, su perspectiva (construcción) del objeto de estudio. En este sentido, se afirma que la investigación cualitativa enfatiza la validez interna por cuanto sus métodos se ajustan estrechamente a lo que las personas dicen y hacen.

Bolseguí y Fuguet (2006), sugieren que el desarrollo del modelo conceptual sea desarrollado a través de las siguientes fases: Modelo metodológico (diseño general de la investigación), modelo empírico (recolección, construcción y análisis) y teorización y construcción del modelo.

Modelo metodológico o fase de diseño: En esta fase se describe el diseño general de la investigación, se especifican los tipos de encuestados claves, así como la naturaleza del método empleado.

Modelo empírico¹⁸ o fase de recolección, construcción y análisis: En esta fase se recolecta la información y se lleva a cabo el análisis de la información recopilada, presentando los resultados respectivos.

Fase de teorización y construcción del modelo: En esta fase se argumenta que la investigación avanza desde una conceptualización preliminar hasta llegar al modelo final, presentando a partir de los resultados el modelo conceptual.

¹⁸ Investigación basada en la experimentación o la observación a través de evidencias.

Modelo teórico-genérico

El modelo teórico-genérico que se propone plantea el reto de partir de un sistema genérico para estudiar la gestión de los proyectos a partir de la guía metodológica PMBOK®, modelo como punto de partida para estudiar cualquier tipo de proyecto (Shenhar & Dvir, 2007, Hass 2009) y los componentes definidos anteriormente en: el modelo-EP, el modelo mental desde la complejidad, el modelo discursivo y el modelo conceptual.

A partir del modelo teórico-genérico se inicia la construcción de una herramienta híbrida utilizando teorías, conceptos y herramientas de sistemas complejos, con el objetivo de analizar desde las ciencias de la complejidad la gestión de proyectos.

Modelo de simulación

El modelo de simulación es un instrumento cognoscitivo que se elabora para construir conocimiento sobre los proyectos. La simulación es el proceso de diseñar un modelo de un sistema real y llevar a cabo experiencias con él, con la finalidad de aprender el comportamiento del sistema o de evaluar diversas estrategias para el funcionamiento del sistema (Shannon, 1988).

Finalmente, el modelo de modelos (contribuciones de Rodríguez, 2016), se construye bajo los principios del pensamiento complejo planteados por Morin (2013): a) los modelos se van construyendo en medio de certezas (conocimiento construido a través del estado del arte) e incertidumbres (la construcción de modelos no se hace sobre una secuencia específica, se puede avanzar en la construcción de un modelo para que sirva de soporte a otro), b) permite comprender el todo al estudiar las partes y comprender las partes al estudiar el todo, c) los modelos en la medida que se van construyendo generan un bucle retroactivo, en donde el modelo construido regresa sobre aquel que lo ha construido, refinando el modelo de modelos, d) pueden emerger cualidades y propiedades nuevas en el modelo de modelos, con base en los resultados que se vayan dando en la construcción de cada modelo y, e) la gestión de proyectos a través de los diferentes modelos considera la relación del entorno y su propia lógica interna. Es así como el pensamiento complejo se aplica de manera transversal al modelo de modelos.

Resumen del capítulo

En este capítulo se presenta el modelo de modelos para el estudio de un proyecto complejo, planteando el desarrollo de los siguientes modelos: modelo mental (desarrollado a través de un modelo mental y un modelo discursivo), un modelo conceptual (desarrollado a través de un modelo metodológico y un modelo empírico), un modelo teórico-genérico (desarrollado a través de: flujo de información, modelo causal, niveles y flujos y la red compleja) y un modelo de simulación (desarrollado a través de: parámetros de simulación, dinámica de sistemas y la ejecución de las simulaciones).

CAPÍTULO 5. Aplicación del modelo de modelos para el estudio de un proyecto complejo

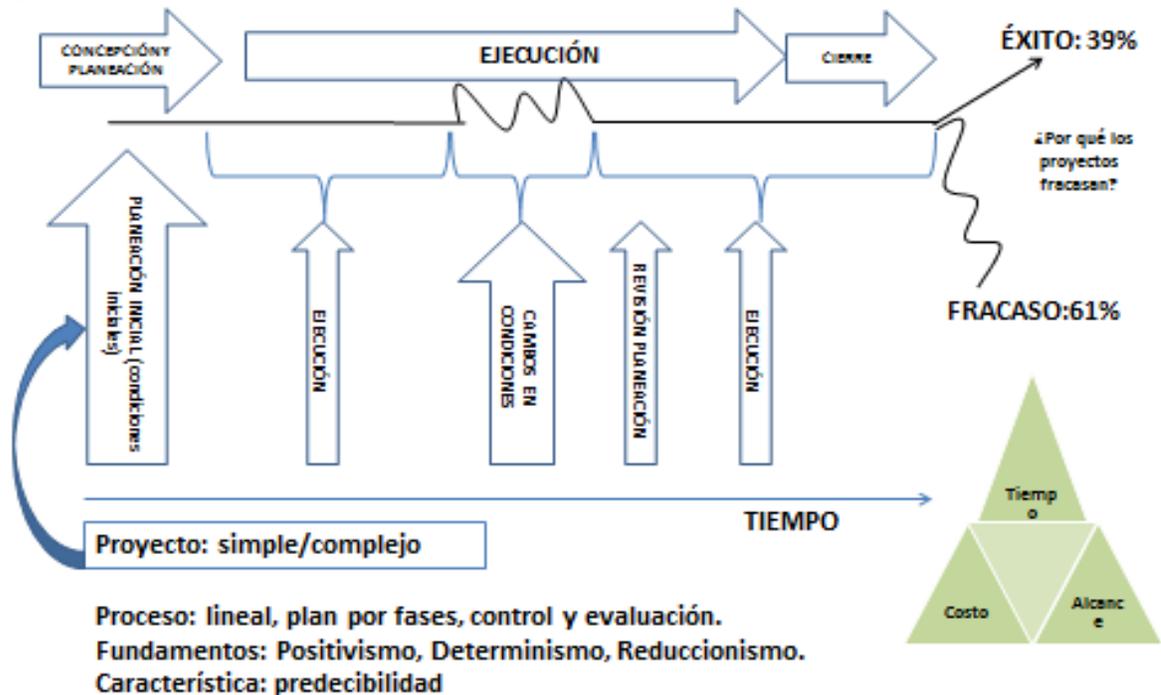
5.1. Desarrollo del modelo mental

Para la construcción del modelo mental, se tuvo en cuenta: la perspectiva clásica de la gestión de proyectos (Morris, Pinto & Söderlund, 2012), el estado del arte de la presente investigación, el estándar internacional PMBOK®, la propia experiencia del investigador y la definición dada en el capítulo 3.

5.1.1. Modelo mental - discursivo clásico

En el modelo mental clásico, la variable de “calidad” en un proyecto se ha visto restringida por costos (cantidad presupuestada disponible para el proyecto), los plazos (cantidad de tiempo disponible para completar el proyecto) y el alcance (lo que se debe hacer para conseguir el resultado del proyecto), lo que se ha conocido como la triple restricción utilizada desde los años 50 (Shenhar & Dvir, 2007). Lo anterior supone una gestión del proyecto que se plantea a través de un proceso lineal, determinístico, incremental (dado por fases), de control y de evaluación periódica (ver Figura 4). El tratamiento es igual para proyectos simples como para proyectos complejos, lo cual supone un nivel de intervención similar (Hass, 2009).

Figura 4. Antecedente del ciclo de vida de proyectos desde la perspectiva clásica.



Fuente: Elaboración propia.

En la perspectiva clásica de los proyectos, la gestión inicia con la identificación del problema y la conformación de la organización temporal. Una vez identificado el problema, el gestor/patrocinador del proyecto establece la planificación inicial; durante el proceso de

ejecución pueden generarse cambios en condiciones iniciales y a través del proceso de seguimiento y control se realizan revisiones y ajustes a la planificación, buscando reducir los niveles de incertidumbre a través de la simplificación.

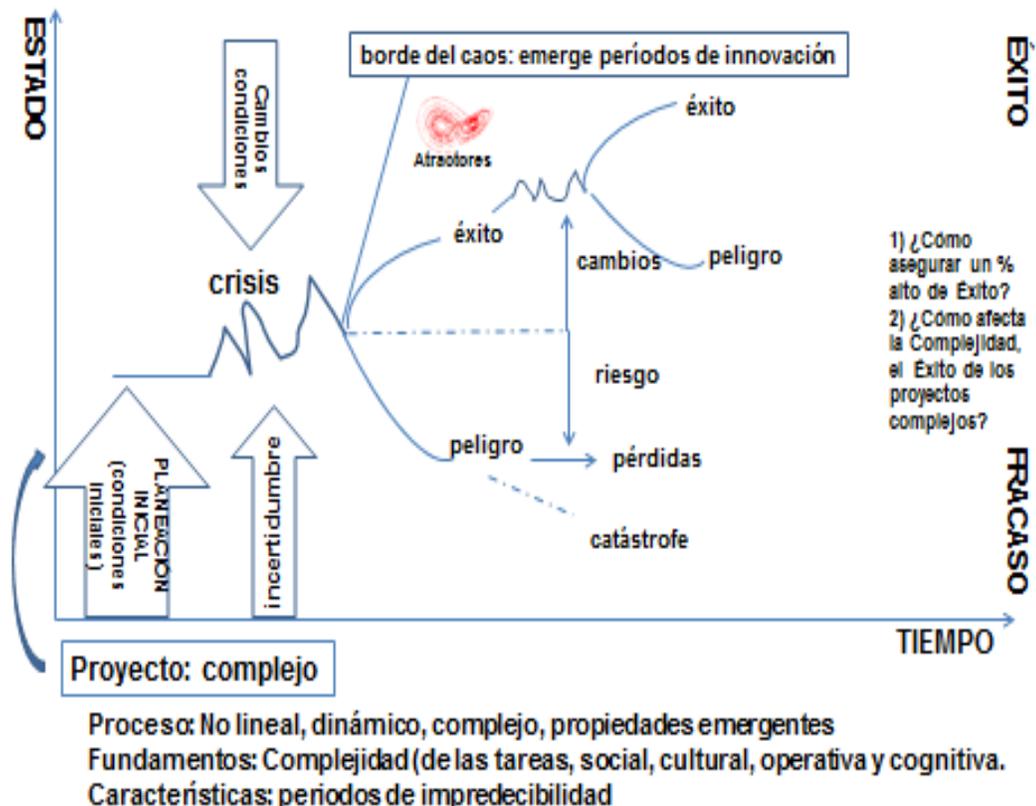
Para el caso de la perspectiva clásica, el rendimiento es expresado a través de niveles de éxito/fracaso, a través de las variables de tiempo, costos y alcance, lo que algunos actores han denominado el triángulo de hierro (Shenhar & Dvir, 2007).

Como se indicó anteriormente esta perspectiva no ha sido suficiente para abordar y explicar el comportamiento de los proyectos, por lo que se plantea un nuevo modelo mental para la gestión de proyectos desde la perspectiva de la complejidad.

5.1.2. Modelo mental – discursivo desde la complejidad

El modelo mental desde la complejidad plantea un proceso no lineal, dinámico, complejo y con propiedades emergentes, indicando cambios en el sistema o cambios de estado del sistema. Los cambios del sistema pueden estar dados por la influencia de novedades provocadas por cambios técnicos en el proyecto o por riesgos no previsible y los cambios de estado del sistema pueden estar dados por la influencia de factores exógenos o endógenos que surgen durante el proceso de gestión del proyecto (ver Figura 5).

Figura 5. Modelo mental del ciclo de vida de proyectos desde la perspectiva de la complejidad.



Fuente: Elaboración Propia.

La gestión del proyecto desde la perspectiva de la complejidad inicia con una planificación de condiciones iniciales, las cuales varían con base en cambios de estado o cambios del mismo sistema, luego aparecen períodos de crisis y de mayor nivel de toma de decisiones, adaptándose a niveles de incertidumbre y en algunos casos poco nivel de información. Los atractores para el caso de la gestión de proyectos son tomados como innovaciones o decisiones que pueden conducir a un nivel alto de desempeño, medido en términos de éxito o fracaso o a niveles de peligro, representado en pérdidas para el proyecto o la terminación incluso de manera abrupta del proyecto.

Bajo este modelo mental se propone replantear la triple restricción (tiempo, costo y alcance), por cuanto ya no es suficiente tenerlos en cuenta como únicos criterios de éxito. Ante los períodos de impredecibilidad se requeriría una elaboración de escenarios con certezas, incertidumbres y azares, para tomar decisiones.

desempeño del proyecto (medido a través del éxito/fracaso del proyecto), nuevos criterios de éxito.

5.2. Desarrollo del modelo conceptual

El desarrollo del modelo conceptual se basó en los conceptos expuestos por Bolseguí y Fuguet (2006), en el capítulo 3.

Para la construcción del modelo conceptual se realizó una investigación cualitativa basada en la Teoría Fundamentada (Glaser y Strauss, 1967). En oposición a las aproximaciones hipotético-deductivas, la investigación basada en esta teoría es conveniente para estudiar fenómenos sociales destacando características de: relevancia contextual y ; énfasis en todo el proceso y no solamente en el control y la experimentación, sino en su interés en el desarrollo de teorías que expliquen los datos, donde se admite la construcción de un conocimiento tácito: intuiciones, percepciones presentes en el investigador con base en su conocimiento y experiencia (Guba y Lincoln 1989, Fuguet 2000).

Esta metodología fue desarrollada como reacción al positivismo extremo que existía en la mayor parte de la investigación social. Específicamente, Glaser y Strauss desafiaron los supuestos dominantes de la “gran teoría” apoyándose en el pragmatismo de Peirce (1839-1931) y en el interaccionismo simbólico de Mead (1863-1931), quienes rechazaron la noción cuya verdad científica reflejaba una realidad externa e independiente (Su-dabby, 2006). Contrariamente a lo prevaleciente, ellos argumentaban que esta verdad científica resulta del acto de observación y de los consensos emergentes en una comunidad de observadores de acuerdo con el sentido que ellos le dan a lo observado.

La teoría fundamentada exige identificar categorías teóricas que son derivadas de los datos mediante la utilización de un método comparativo constante (Glaser & Strauss, 1967; Hammersley, 1989), recurriendo a la sensibilidad teórica del investigador. Ello exige del investigador comparar contenidos de diversos episodios de entrevistas o de observación con los conceptos teóricos nacientes del esfuerzo de identificar los temas fundamentales (Wells, 1995; Barnes, 1996). Se notan así las diferencias y las similitudes de los datos, lo que conduce a la derivación de categorías teóricas que pueden ayudar a comprender el fenómeno en estudio (Glaser & Strauss, 1967; Glaser, 1992). La utilización de este método ha estado en gran parte confinada, en términos generales, a la adopción “de una teorización

anclada” en la recolección y el análisis de los datos (Hirschman & Thompson, 1997; Phillips, 1997).

Según Strauss y Corbin (1998), la Teoría Fundamentada puede ser utilizada sobre todo en el campo de las ciencias sociales. El requisito principal es que se trate de una investigación orientada a generar una teoría de un fenómeno, o que se desarrolle en un área en la que no existen explicaciones suficientes y satisfactorias. Jones y et al. (2004) mostraron diferentes casos en el sector de la salud en los que se aplicó la Teoría Fundamentada; Martin (2007) estudió el comportamiento turístico de diversos agentes; Scriber et al. (2001) informaron sobre su aplicación en enfermería; Strube (1992) diseñó, en su tesis doctoral, un modelo de auto-administración de los pacientes; Curry (2003) propuso el uso de la Teoría Fundamentada como un instrumento de desarrollo del conocimiento, y Maijala et al. (2004) utilizaron la Teoría Fundamentada para estudiar la interacción entre personal de salud y familiares de los pacientes.

En el área de la administración se encuentran diferentes aplicaciones de la Teoría Fundamentada: Joannides y Berland (2008) mencionan algunos usos en el control de gestión; Sutton (1987) diseñó un modelo para determinar cómo las organizaciones hacen la transición hacia su desaparición; Avena (2005) estudió la experiencia de la toma de decisiones en la administración basadas en la responsabilidad; Leonard y Mcadam (2002) propusieron un modelo para captar la gestión total de la calidad en las organizaciones a través del tiempo; Pauleen et al. (2007) utilizaron la Teoría Fundamentada y la acción de aprendizaje como estrategia de gestión de conocimientos cuando las personas trabajan con nuevas tecnologías; Bakir y Bakir (2006) descubrieron la complejidad oculta en la estrategia de las organizaciones culturales; Komives et al. (2006) crearon un modelo de desarrollo de identidad del liderazgo; e Hindle (2002) la utilizó para aprender sobre emprendimiento recurriendo a los juegos de simulación.

La Teoría Fundamentada no busca controlar variables sino comprender por qué suceden los acontecimientos desde la perspectiva de las personas involucradas, el procesamiento se sustenta en la deconstrucción de los datos, la comparación constante y la reconstrucción de datos. Los resultados deben servir no sólo a comunidades académicas, sino también a los actores involucrados.

La Teoría Fundamentada se desarrolla al definir elementos que respondan a las siguientes preguntas:

1) ¿Qué situación queremos comprender?, 2) ¿Qué situaciones podemos observar y con qué personas podemos hablar?, 3) ¿Qué encontramos en lo observado y en lo dicho?, 4) ¿Cómo se relaciona lo analizado con otras teorías?

A través de la Teoría Fundamentada se establece: 1) codificación selectiva: precisión de la categoría central, 2) codificación axial: relación y jerarquización de categorías, 3) codificación abierta: descomposición de datos e identificación de categorías. Para luego, determinar unos memos: ideas y reflexiones durante el procesamiento y finalmente proponer la teoría formal.

Bajo la perspectiva cualitativa y para la presente investigación se desarrollaron dos modelos: modelo metodológico o fase de diseño y modelo empírico o fase de recolección, construcción y análisis, con base en el método comparativo continuo.

El método comparativo continuo permitió contrastar el modelo mental discursivo clásico con el modelo mental desde la complejidad, las investigaciones encontradas en la literatura y la información del propio investigador.

Modelo metodológico o fase de diseño: El modelo metodológico o fase de diseño se estructuró a través de 5 etapas: 1) problematización, 2) objetivos de la investigación empírica, 3) justificación, 4) hipótesis y 5) elaboración del modelo de medición.

En el modelo metodológico o fase de diseño, se especifican entre otros, el tipo de población, así como la naturaleza del método empleado. Para la presente investigación se seleccionaron la encuesta y la entrevista semi-estructura, como instrumentos aplicables a una investigación cualitativa (Sampieri et. al., 2010).

La entrevista semi-estructurada cualitativa: es definida por algunos autores como un método de investigación (Taylor y Bogdam, 1986). Sus características son: no estructurada, no estandarizada, flexible y dinámica. La encuesta es un método de investigación capaz de dar respuestas a problemas tanto en términos descriptivos como de relación de variables (Sampieri et.al., 2010).

Estos instrumentos de recolección de información se seleccionaron teniendo en cuenta que la Teoría Fundamentada sugiere que, a partir de diversos episodios de entrevistas o de observación con los conceptos teóricos, se lleven a cabo diferentes análisis para finalmente proponer una teoría formal (Glaser y Strauss ,1967). La Teoría Fundamentada y el método comparativo continuo fundamentan su recolección de información en la entrevista o en procesos de observación.

Además de las razones antes expuestas, se consideró:

- 1) Los diferentes ejemplos de aplicación de la Teoría Fundamentada, anteriormente mencionados, que dan cuenta de las entrevistas y procesos de observación como instrumentos definidos para recolectar información.
- 2) Se consideran instrumentos idóneos para recolectar la información de una investigación cualitativa (Sampieri et. al., 2010).
- 3) Contar con programas de posgrados en el área de gestión de proyectos en la Universidad Nacional sede Manizales, que permiten establecer relación con un grupo de expertos en la temática de proyectos.
- 4) La revisión de la literatura da cuenta de datos obtenidos a través de otras investigaciones cualitativas, en donde se evidencia que la muestra seleccionada fue la de expertos, el instrumento común aplicado fue la entrevista y algunas técnicas para analizar los datos recolectados fueron: escalas Likert, coeficiente correlación de Pearson, análisis factorial e indicadores de nivel de complejidad, entre otros. Se determinó que la muestra común para este tipo de investigaciones es la de expertos (Shenhar & Dvir, 2007, Larson & Gray, 2011, Standish Group International, Inc. CHAOS Report, 2013), y que el instrumento aplicado la entrevista.

5) En una investigación cualitativa las técnicas básicas reconocidas para recolectar información son las siguientes: la observación, la entrevista y la participación (Sampieri et. al. 2010)

Modelo empírico¹⁹ o fase de recolección, construcción y análisis: El modelo empírico se estructuró a través de 3 etapas: 1) trabajo de campo, 2) análisis de resultados y 3) cumplimiento de objetivos.

Fase de teorización y construcción del modelo: Presentación del modelo final.

5.2.1 Desarrollo del modelo metodológico o fase de diseño

Etapa 1 - Problematización:

Teniendo en cuenta: el modelo mental y el modelo discursivo, lo que se intenta problematizar es:

- a) La relación entre los problemas que se buscan gestionar y los proyectos con que se abordan dichos problemas.
- b) La complejidad como la relación entre el problema a abordar, el pensamiento/paradigma/ modelo mental del sujeto que enfrenta el problema (sujeto como individuo o sujeto como organización temporal) y la concepción del proyecto para gestionar el problema.

Las preguntas conductoras (contribuciones de Rodríguez, 2016) que se plantearon, para avanzar en la construcción del modelo conceptual, fueron las siguientes:

¿Cuáles son los factores críticos que incrementan la complejidad de un problema que se gestiona a través de un proyecto?

¿Qué aspectos debe tener en cuenta un proyecto para gestionar adecuadamente la complejidad de un problema?

¿Cuáles son los aspectos que desde la cognición organizacional pudieran trabajar el pensamiento complejo, para abordar situaciones complejas?

¿Cómo se relacionan los estilos de dirección versus los principios de pensamiento complejo?

Etapa 2 – Objetivos de la investigación empírica:

Objetivo General: Establecer la relación entre: estilos de dirección en la gestión de proyectos, pensamiento/paradigma/modelo mental de quien liderará el proyecto y la forma de abordar el problema a ser gestionado a través de un proyecto.

Objetivos específicos:

¹⁹ Investigación basada en la experimentación o la observación a través de evidencias.

1. Identificar y analizar cuáles son los factores (técnicos, de organización, cognitivos, sociológicos y de entorno) que incrementan la complejidad de un problema que se gestionará a través de un proyecto.
2. Identificar y analizar aspectos presentes en un proyecto para gestionar adecuadamente la complejidad de un problema.
3. Definir los factores que desde la cognición organizacional reconocen el pensamiento complejo.
4. Relacionar los estilos de dirección identificados versus los principios del pensamiento complejo.

Etapa -3- Justificación:

Contrastar lo que se ha identificado desde la teoría y la experiencia del propio investigador en el modelo mental y modelo discursivo con los resultados obtenidos de la investigación empírica.

Etapa 4 – Hipótesis: La hipótesis inicial que se planteó durante el proceso de desarrollo del anteproyecto de tesis doctoral fue la siguiente: “El modelamiento de la realidad de la gestión de proyectos complejos, a través del análisis del comportamiento de factores intervinientes, permitirá determinar sus factores críticos y, posibles estados y escenarios de decisión sobre su ejecución”. Hipótesis que, con base en procesos de observación, revisión de la literatura y las contribuciones de Rodríguez, 2016, fue refinada y fue la base para plantear las siguientes hipótesis para la investigación empírica.

Hipótesis 1: Si se practica un pensamiento simplificador sobre un problema complejo, se tenderá a concebir proyectos simples que tienen un alto grado de probabilidad de fracasar y agravar el problema.

Hipótesis 2: Un problema complejo exige una estrategia de pensamiento complejo y un tipo de proyecto orientado a elucidar y gestionar dicha complejidad.

Hipótesis 3: Un problema complejo que se aborda a través de un proyecto, requiere que la cognición organizacional esté preparada para ello.

Etapa 5 - Modelo de medición:

Objeto de la investigación: gestores de proyectos.

Población: a) prueba piloto (para validar el instrumento), b) aplicación de la encuesta y entrevista semi-estructurada.

Muestra: La investigación fue aplicada a una muestra de 70 gestores de proyectos, distribuida de la siguiente manera: a) prueba piloto: muestra de 10 gestores, b) encuesta y entrevista semi-estructurada: muestra de 60 gestores.

Para medir la situación problema, el proyecto que gestionará el problema, la estrategia de pensamiento, la complejidad, se han determinado las siguientes **variables**:

- a) Situación problema: características de las situaciones problema que pueden ser gestionadas a través de un proyecto.
- b) Sujeto que enfrenta el problema (sujeto como individuo o sujeto como organización temporal): características individuales o de grupo para la gestión de un proyecto.
- c) Pensamiento/paradigma/modelo mental del sujeto que enfrenta el problema: patrón para la toma de decisiones.

- d) Factores (técnicos, de organización, cognitivos, sociológicos, de entorno) en la gestión de un proyecto.
- e) Características de los proyectos.
- f) Los factores intervinientes como incrementan la complejidad.

Instrumentos: Se elaboraron dos instrumentos: a) Diseño de una encuesta aplicable a los grupos a y b de la muestra seleccionada y, b) Diseño de una guía de entrevista semiestructurada aplicable a 10 gestores del grupo b (ver Anexo 4).

5.2.2 Desarrollo del modelo empírico o fase de recolección, construcción y análisis

Etapas 1 – Trabajo de campo, prueba piloto: El resultado del instrumento aplicado a la investigación empírica se puede ver en el Anexo 5.

Prueba piloto generalidades: Como prueba piloto la encuesta fue aplicada a 10 gestores de proyectos, con diferente nivel de experiencia y campos del conocimiento, específicamente en la academia y empresa privada, para validar el instrumento diseñado y el resultado versus las variables objeto de estudio.

Muestra: 10 gestores de proyectos, el trabajo de campo se realizó durante el mes de julio y agosto de 2016.

Nivel de formación: 1 con pregrado, 2 con especialización, 4 con maestría y 3 con doctorado.
Número promedio de proyectos en los que ha participado: 8.

Etapas 2 – Trabajo de campo: El resultado de los instrumentos aplicados se pueden ver en el Anexo 6 (contribuciones Giraldo, 2017).

Prueba aplicación encuesta y entrevista semi-estructurada, generalidades: La encuesta fue aplicada a 50 gestores de proyectos y la entrevista semi-estructurada fue aplicada a 10 gestores de proyectos, con diferente nivel de experiencia y campos del conocimiento.
Muestra: 60 gestores de proyectos, el trabajo de campo se realizó durante el mes de marzo y abril de 2017.

Nivel de formación: 100% especialización.

Número promedio de proyectos en los que ha participado: 7.

Rol en el que ha participado en la gestión de proyectos (un gestor puede marcar más de un rol): 39% equipo ejecutor, 22% equipo coordinador, 3% equipo directivo, 11% gerente de proyecto, 25% planificador.

Etapas 3 – Cumplimiento de objetivos o Fase de teorización y construcción del modelo:

1. Factores que incrementan la complejidad de un problema que se gestiona a través de un proyecto:

- a) Toma de decisiones: En alto porcentaje se hace con el equipo de trabajo, en donde se plantean diversidad de posiciones, de conceptualizar el problema y de ver alternativas de solución.
- b) Metodologías (métodos o procedimientos): Las metodologías que se utilizan son las conocidas y aplicadas concentradas en la perspectiva clásica de proyectos.

- c) Actores: Los diferentes actores en relación directa/indirecta con el proyecto, la diversidad de posturas e intereses.
 - d) Restricciones: Las restricciones provenientes de factores exógenos y endógenos. En la generalidad, se reconoce que el 41% de los obstáculos que pueden afectar el proyecto vienen de factores exógenos, mientras que el 59% vienen de factores endógenos.
 - e) Requerimientos: La falta de claridad de parte de los interesados en los requerimientos del proyecto (objetivos y alcance) o requerimientos que aumentan la complejidad del proyecto.
 - f) Financiamiento: no contar con los recursos suficientes para ejecutar y cumplir con los requerimientos del proyecto.
 - g) Planeación deficiente o insuficiente para ejecutar el proyecto.
 - h) Riesgos asociados al proyecto que pudieran comprometer el cumplimiento de su alcance.
2. Características que debe tener un proyecto para gestionar adecuadamente la complejidad de un problema: Con base en las respuestas recolectadas después de aplicar los instrumentos, se infiere que la gestión adecuada de la complejidad de un problema está concentrada en los tomadores de decisiones y en los actores que están en relación con el proyecto, se destaca entonces: conocimiento adquirido, experiencia en proyectos y trabajo en equipos multidisciplinares. El 83% reconoce que el tratamiento debe ser diferente para problemas complejos y el 17% manifiesta que los problemas complejos se pueden tratar de igual forma que los problemas simples.
3. De otro lado, y como reflexión propia se deben definir los factores que desde la cognición organizacional reconocen el pensamiento complejo: Sobre este aspecto es importante reconocer que la cognición organizacional tiene dos componentes: la cognición que viene del propio individuo y la cognición de la organización que se moldea a través de las particularidades de cada individuo (Lant & Shapira, 200). El conocimiento y el aprendizaje son los factores conectores entre cognición y organización, lo cual permite inferir que el tipo de pensamiento individual configurará el pensamiento organizacional. El conector entre la cognición organizacional y el pensamiento complejo podría estar dada en la relación del conocimiento de las partes con el conocimiento del todo, así toda organización hace surgir cualidades nuevas que no existían en las partes aisladas, son las emergencias organizacionales que no se deducen de los elementos anteriores, cada logro nuevo es muchas veces un imprevisto frente a los elementos anteriores que lo produjeron, lo que se identifica con la idea sistémica y organizacional de Edgar Morin.

En esta fase de teorización, se entienden los elementos que inciden en el análisis propio de la toma de decisiones, tales como: la racionalidad, la formación académica, los valores, la experiencia, la intuición y factores externos como: entornos políticos, legales, económicos, demográficos, culturales, entre otros.

De igual forma se tiene la intención de rescatar el sujeto/objeto de investigación como actor principal, en términos de Morin (1990):

Todo sistema de pensamiento está abierto y comporta una brecha, una laguna en su apertura misma. Pero tenemos la posibilidad de tener meta puntos de vista. El meta-punto de vista es posible sólo si el observador-conceptualizador se integra en la

observación y en la concepción. He allí por qué el pensamiento de la complejidad tiene necesidad de integrar al observador y conceptualizador en su observación y conceptualización (Morin, 1990, p. 109).

El análisis de la información que se obtuvo a través del trabajo de campo, se realizó desde la hermenéutica de Ricoeur²⁰ (2002) con el propósito de rescatar los sujetos como protagonistas del proceso investigativo; la subjetividad es lo que espera rescatarse al investigar el pensamiento complejo de Morin y la hermenéutica de Ricoeur.

En la investigación cualitativa llevada a cabo, se excluye la posibilidad de que el tiempo sea lineal y secuencial. En concordancia con la narrativa y temporalidad planteada por Ricoeur se usó la técnica de codificación de Strauss y Corbin (2002), utilizada en la teoría fundada en datos. Una vez realizado el proceso de delimitación (codificación abierta) y el de ordenamiento (codificación axial), se procedió a hacer explícito (codificación selectiva) cada uno de los códigos obtenidos de los datos.

En este contexto temporal, y como resultado del proceso de comprensión/explicación de los relatos de los entrevistados se presentan los siguientes elementos principales:

- a) Los problemas. Un problema no es un dato de la realidad, es el resultado de un proceso de problematización, una construcción emergente de una práctica social y cognitiva, involucra un trabajo del pensamiento a través de la cual este elabora las condiciones acerca de “cómo y por qué ciertas cosas (una conducta, un fenómeno, un proceso) se convierten en un problema” (Foucault, 1989, p.17). Pensar en el problema, supone la identificación de la naturaleza de la situación a abordar, pensar es ejercitar el arte de la problematización, es el arte de la concepción de nuevas preguntas y problemas (Morin, 1986).
Durante del proceso de problematización, es importante reconocer el tipo de problema que se busca comprender/gestionar/solucionar, definir en qué consiste el problema y quién define esta situación como problema.
En un problema complejo hay interacción de diferentes disciplinas, actores, relaciones con diferentes niveles de organización, diferentes escalas espaciales y temporales, diferentes elementos consecuentes de su propia gestión (Rodríguez, 2017).
Para la presente investigación se estudian problemas complejos de complejidad organizada, en los que se da la interacción de diferentes disciplinas, actores y relaciones, con diferentes niveles de organización, diferentes escalas espaciales y temporales, y diferentes factores o novedades que van surgiendo durante su gestión (Rodríguez, 2017).
Según Rodríguez L. et al. (2011) se distinguen tres tipos de problemas: los problemas de simplicidad, centrados en el análisis de pocas variables y abordados a través de la elaboración de modelos mecánicos. Los problemas de complejidad

²⁰ La definición que Paul Ricoeur hace del texto, se basa en la convergencia que encuentra entre la teoría del texto y la teoría de la acción humana: “(...) la acción humana es un cuasi texto. Es exteriorizada de una manera comparable a la fijación característica de la escritura. Al liberarse de su agente, la acción adquiere una autonomía semejante a la autonomía de un texto; deja un trazo, una marca; se inscribe en el curso de las cosas y se vuelve archivo y documento”. Ricoeur, P. (2002). *Del texto a la acción ensayos de hermenéutica II*. México, D.F. p. 162.

desorganizada, caracterizados por el estudio de un alto número de variables, asociados con la teoría de la probabilidad y mecánica estadística. Finalmente, los problemas de complejidad organizada, su característica fundamental es la auto organización, la emergencia y la no linealidad (Weaver, 1948).

- b) El proyecto. En la introducción se definió el concepto de proyecto y en el capítulo 2 se definió el concepto de proyecto complejo. Un proyecto complejo puede estudiarse a través de un sistema complejo dinámico, no lineal, adaptativo y evolutivo (Hass, 2009) y niveles de complejidad.
- c) La gestión. “Aplicación de conocimientos, de dirección, habilidades, herramientas y técnicas a las actividades del proyecto, para cumplir con los requisitos del mismo” (PMBOK®, 2013, pg. 1).
- d) La organización temporal. Grupo de personas que son convocadas para llevar a cabo la gestión del proyecto (PMBOK®). La organización temporal estará influenciada por la acción pensamiento-comportamiento y sujeto-objeto y por las teorías socio-cognitivas²¹ asociadas a los tomadores de decisiones.
- e) La complejidad. Conexión entre la condición de un sistema complejo y la comprensión del mismo (Bar-Yam, 2004). La complejidad comprendida no como una característica intrínseca del proyecto sino como aquella que desarrolla la relación entre el problema a abordar, el modelo mental del sujeto decisor y cómo es concebido el proyecto para actuar sobre el problema.
La complejidad en este desarrollo de esta relación podría darse teniendo en cuenta los siguientes aspectos (Girmscheid & Brockmann, 2008): la complejidad de las tareas (planificación de las actividades en el espacio y tiempo), la complejidad social (con base en los diferentes actores que trabajan y se comunican entre sí y que tienen algún interés sobre el proyecto), la complejidad cultural (en función de la historia, la cultura y la experiencias de los integrantes, para poder realizar las tareas asignadas), la complejidad operativa (objetivos, alcance del proyecto y las operaciones necesarias para alcanzarlos) y la complejidad cognitiva (nivel de conocimiento de cada persona o del equipo, capacidad de aprendizaje y capacidad de adaptación durante su ejecución).

Categorías emergentes que se desprenden de los elementos principales: a) la problematización y b) la simplificación/complejización.

- a) La problematización es la acción de dos o más precursores cuyo resultado es superior a la suma de los resultados individuales. En este sentido, puede afirmarse que la problematización, como estrategia para abordar situaciones complejas en la cual se tiene la idea de que el todo es más que la suma de las partes, también tiene

²¹ Teorías socio-cognitivas: 1) Conductual: Atiende los aspectos observables del comportamiento. 2) Cognoscitivos: Estudio de la conducta humana compleja (inteligencia, retos, estados internos, cognición. 3) Psicosociales: la conducta es regulada y dirigida por sectores sociales que generan aprendizaje ya sea por la observación e imitación de los demás, como por enseñanza y educación explícitas y propositivas. 4) Constructivistas: aprendizaje proceso complejo que implica la integridad del individuo en una aventura colectiva (sociedad, cultura, conocimiento).

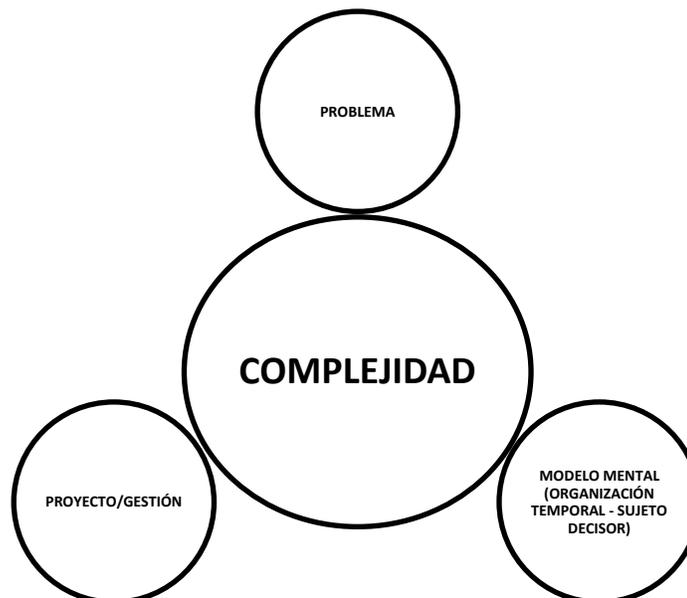
características que demuestran que puede ser menos, desde la idea de pensamiento complejo. Desde una visión compleja, en el proceso de problematización el todo es más y menos que la suma de sus partes y desde la visión clásica el todo es más que la suma de las partes (Foucault, 1989).

Los resultados de la investigación empírica hicieron evidente dos posturas contrarias frente a la problematización como estrategia para abordar proyectos complejos. Desde la perspectiva clásica se cumple de manera eficiente con una planificación determinística, pero desde la visión compleja, esta planificación no es suficiente para garantizar desempeños óptimos del proyecto, pero si expresa el reduccionismo propio del paradigma de la simplicidad.

- b) La simplificación/complejización genera dos tensiones en el proceso de problematización de una situación compleja: por un lado, permite la determinación simplificadora del problema y por ende la configuración de una estrategia para abordar el problema con visión determinística y por otro lado invita a la diversidad y multidimensionalidad para abordar el problema con visión no determinística. Esta tensión es una de las evidencias frente a lo que parecieran ser dos posturas contrarias en la misma visión para abordar situaciones complejas.

Con base en los elementos principales y las categorías presentadas se presenta la construcción del modelo para el estudio de un proyecto complejo, a través del cual se permite obtener un mayor nivel de comprensión y análisis, como propuesta que se opone a la simplificación y por ende procurando una mejor toma de decisiones que permita mejor nivel de desempeño en los resultados (ver Figura 6).

Figura 6. Modelo-EP (modelo para el estudio de un proyecto complejo).



Fuente. Elaboración propia con base en las contribuciones de Rodríguez (2016).

En la Figura 6, se muestra la complejidad como el componente que desarrolla la relación entre: el problema a abordar, el modelo mental del sujeto decisor que podría ser un individuo o una organización, en relación directa con el proyecto y el proyecto y su forma de gestionarlo que actuarán sobre el problema identificado. El objetivo del modelo es poder estudiar la complejidad en proyectos no como una característica intrínseca de los mismos sino como una relación que permitirá analizar niveles de complejidad y concebir proyectos complejos que solucionen problemas complejos. En la perspectiva clásica este tipo de modelos no se plantean: la complejidad generalmente es una característica o atributo del proyecto, independiente de la naturaleza del problema se llega a la simplificación del mismo y no se tiene en cuenta el modelo mental del sujeto decisor o de la organización temporal.

5.2.3 Conclusiones Investigación Empírica

- 1) Los resultados de la investigación empírica dan cuenta de que los gestores de proyectos pueden reconocer cuándo la naturaleza de la situación es simple/compleja.
No obstante, lo anterior, el sujeto planificador/ejecutor no aborda los problemas complejos desde una estrategia de pensamiento complejo, por el contrario, en situaciones complejas se recurre a la perspectiva clásica con un pensamiento simplificador/reduccionista, lo cual podría conducir a agravar la situación que de por sí ya es compleja.
La incertidumbre, la indeterminación, el alea, las contradicciones no son componentes que se deban eliminar o simplificar, sino que hacen parte de la percepción/concepción de lo real, lo cual conduce a que lo complejo obliga a unir nociones que se excluyen en el marco del principio de simplificación/reducción: lo uno y lo múltiple, el todo y las partes, el sujeto y el objeto (Morin, 1984).
- 2) Los factores intervinientes que pueden dinamizar o influir en el proyecto complejo son los factores exógenos (previsibles o no previsibles) y las novedades no previsibles.
Los factores críticos que incrementan la complejidad son: a) toma de decisiones, b) metodologías, c) actores, d) restricciones, e) requerimientos, f) financiamiento, g) planeación deficiente y h) riesgos asociados al proyecto.
La gestión adecuada de la complejidad de un problema está concentrada en los tomadores de decisiones y en los actores que están en relación con el proyecto, teniendo en cuenta: conocimiento adquirido, experiencia en proyectos y trabajo en equipos multidisciplinares.
- 3) La falta de información durante la gestión del proyecto alimenta la indeterminación y complejiza la toma de decisiones.
- 4) De otro lado, los gestores de proyectos no hacen referencia alguna a la existencia de pensar de manera diferente las situaciones complejas, el pensamiento complejo no hace parte la concepción de situaciones complejas, y es nula la utilización de herramientas de las ciencias de la complejidad que les permita abordar dichas situaciones. Si la estructura mental para abordar situaciones complejas, es una estructura de pensamiento simplificador, cuando surgen variaciones durante la ejecución del proyecto tenderán a reducirse en su real dimensión, surge la siguiente pregunta: ¿un pensamiento simplificador conduce a que las decisiones se tomen a prueba y error?
- 5) Finalmente concluyen que la educación formal que han recibido para gestionar los proyectos no ha sido suficiente para abordar situaciones complejas. En este caso se

plantean las siguientes preguntas: ¿la educación formal está preparada para formar sujetos con estructuras mentales de pensamiento complejo?, ¿la cognición organizacional y los modelos mentales de los actuales líderes de proyectos están preparados para pensar/resolver problemas complejos desde el pensamiento complejo?

A través de la investigación empírica se concluye que a pesar de reconocer cuando una situación es simple/compleja, en el modelo mental de los gestores de proyectos está el modelo de la perspectiva clásica, lo cual confirma las hipótesis planteadas y da cuenta que debe ahondarse más en el asunto de construir una nueva epistemología de la gestión de proyectos. La gestión de proyectos podría pensarse en términos de procesos de subjetivización-objetivización desde la cognición organizacional, manteniendo la dinámica propia de los sistemas complejos, lo cual podría conducir a la pregunta: ¿un gestor de proyectos cómo puede comprender las emergencias de otros actores y las emergencias propias del proyecto?

5.3. Desarrollo del modelo teórico-genérico

El modelo teórico-genérico se construyó a partir de los siguientes modelos: modelo de flujos y procesos, modelo causal de alto nivel, modelo de flujos y niveles de alto nivel y diseño de la red compleja de procesos/actividades.

- a) **Modelo de flujos de información:** Para construir este modelo se utilizó el estándar ISO 5807:1985 "Information Processing Systems. Documentation Symbols and Conventions for Data, Program and System Flow Charts, Program Network Charts and System Resources Charts". Esta norma define los símbolos sobre las convenciones para su uso en diagramas de flujo de datos, diagramas de programas, diagramas de sistemas, diagramas de redes de programas, diagramas de recursos del sistema.

Los diagramas de flujos son una manera de representar visualmente el flujo de datos a través de sistemas de tratamiento de información. Los diagramas de flujo describen que operaciones y en que secuencia se requieren para solucionar un problema dado.

Un diagrama de flujo u organigrama es una representación diagramática que ilustra la secuencia de las operaciones que se realizarán para conseguir la solución de un problema. Los diagramas de flujo desempeñan un papel vital en la programación de un problema y facilitan la comprensión de problemas **complicados o complejos** y sobre todo **muy largos**.

Para el caso de esta investigación, el diagrama de flujo y procesos se utilizó para representar los cinco grupos de procesos del PMBOK®: iniciación, planificación, ejecución, seguimiento y control y cierre.

- b) **Modelo causal:** Los diagramas causales son una herramienta útil en dinámica de sistemas. Ilustran la estructura de realimentación del sistema, al ser un modelo conceptual, también sirven para identificar los mapas mentales de las personas u organizaciones (Sterman, 2002).

La causalidad en la gestión de proyectos no necesariamente se da en una línea continua en el tiempo, y los efectos pueden afectar la causa que los originó. Edgar Morin (1990) dice al respecto: “No sólo la causa actúa sobre el efecto, sino que el efecto retro-actúa informacionalmente sobre la causa permitiendo la autonomía organizacional del sistema. Las retroacciones negativas actúan como mecanismo de reducción de la desviación o de la tendencia. Es decir, actúan como mecanismo de estabilización del sistema. Las retroacciones positivas son las rupturas de la regulación del sistema y la ampliación de una determinada tendencia o desviación hacia una nueva situación incierta”.

A través del modelo causal se identificaron los atributos de cada grupo de procesos del PMBOK®. Los atributos son los elementos que contienen información necesaria para considerar los bucles de acción que pueden ser positivos o negativos. En proyectos complejos, una buena toma de decisiones de parte de la organización temporal – sujeto decisor, sobre el proyecto puede considerarse un bucle negativo que actúa como reductor de la desviación que tenga el proyecto, igual que la aparición de una variable exógena positiva.

- c) **Modelo flujos y niveles:** El diagrama de flujos es una forma de representar la estructura de un sistema con información más detallada de la que se emplea en un diagrama causal. El estado de los niveles es fundamental para comprender la conducta de un sistema, los flujos son las causas que los hacen cambiar. La definición de los niveles y los flujos es el primer paso para la construcción de un modelo de simulación porque ayuda a definir los tipos de las otras variables que son importantes como causas de la conducta observada (Forrester, 1968).
- d) **Diseño red compleja de procesos/actividades:** Un proyecto complejo puede representarse como un conjunto de muchos nodos interconectados o entrelazados que interactúan de alguna forma, denominándose una red compleja. Para la presente investigación en la red compleja se trabajan 47 procesos (PMBOK®) y las actividades se originarán dependiendo de cada proyecto específico.

Para construir el **modelo teórico-genérico** se han definido dos estructuras: la estructura operativa y la estructura de la organización temporal – sujeto decisor (ver Figura 7):

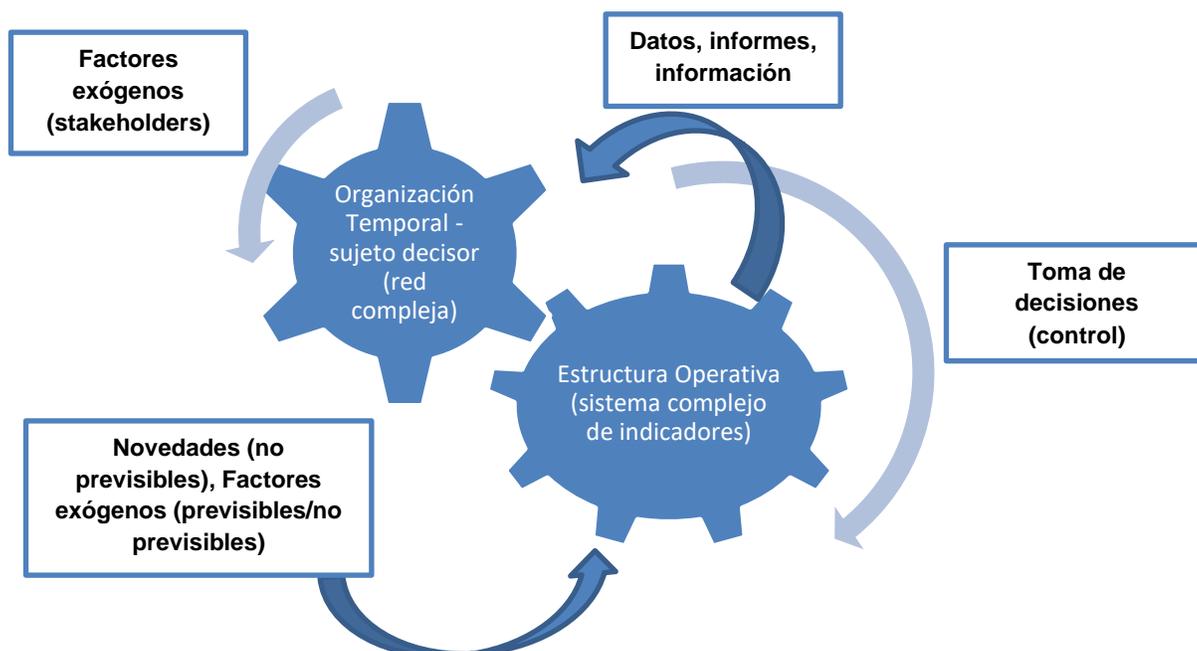
- 1) **La Estructura operativa** es la estructura que representa todos los procesos a través de los cuales se efectúa la gestión del proyecto.
La estructura operativa representa un sistema complejo de: procesos, subprocesos, atributos y flujos de información, que intervienen en el desarrollo del proyecto complejo.
- 2) **La Estructura de la organización temporal** está en relación con el modelo mental del sujeto decisor y el tipo de estructura que se determine para dicha organización temporal (jerárquica, proyectizada o matricial), que le da menor a mayor nivel de autonomía al sujeto decisor del proyecto. Para la presente investigación se determinó que el tipo de estructura es la proyectizada, en esta se concentran todos los recursos para llevar a cabo el proyecto y el sujeto decisor tiene autonomía total sobre los recursos.

La estructura de organización temporal está caracterizada por: 1) **influencia** de los grupos de interés sobre el modelo mental del sujeto decisor (poder, legitimidad, urgencia), 2) **percepción** del sujeto decisor (pensamiento simplificador o pensamiento

complejo), 3) **comportamiento** del sujeto decisor (autocracia, consulta, decisión conjunta, delegación) y 4) la **cognición organizacional** que estará en relación con la situación problema que se abordará a través de un proyecto complejo.

Para la simulación del experimento cuatro, se tomaron atributos específicos de estas características, como los siguientes: rendimiento, reprocesos por mala calidad, ausentismo, aprendizaje, incentivos, motivación al personal, experiencia del personal y fatiga del personal.

Figura 7. Esquema general del sistema complejo.



Fuente: Elaboración propia.

La estructura de organización temporal está influenciada por factores exógenos provenientes de los diferentes grupos de interés (stakeholders), relacionados con el proyecto de manera:

1) directa o indirecta, 2) positiva, neutra o negativa y, pueden ser: internos o externos al proyecto (ejemplos de grupos de interés: inversionistas, clientes, usuarios, proveedores, contratistas, otras organizaciones, comunidades, gobierno).

La estructura de organización temporal afecta la estructura operativa a través de la toma de decisiones, ejerciendo un control sobre dicha estructura.

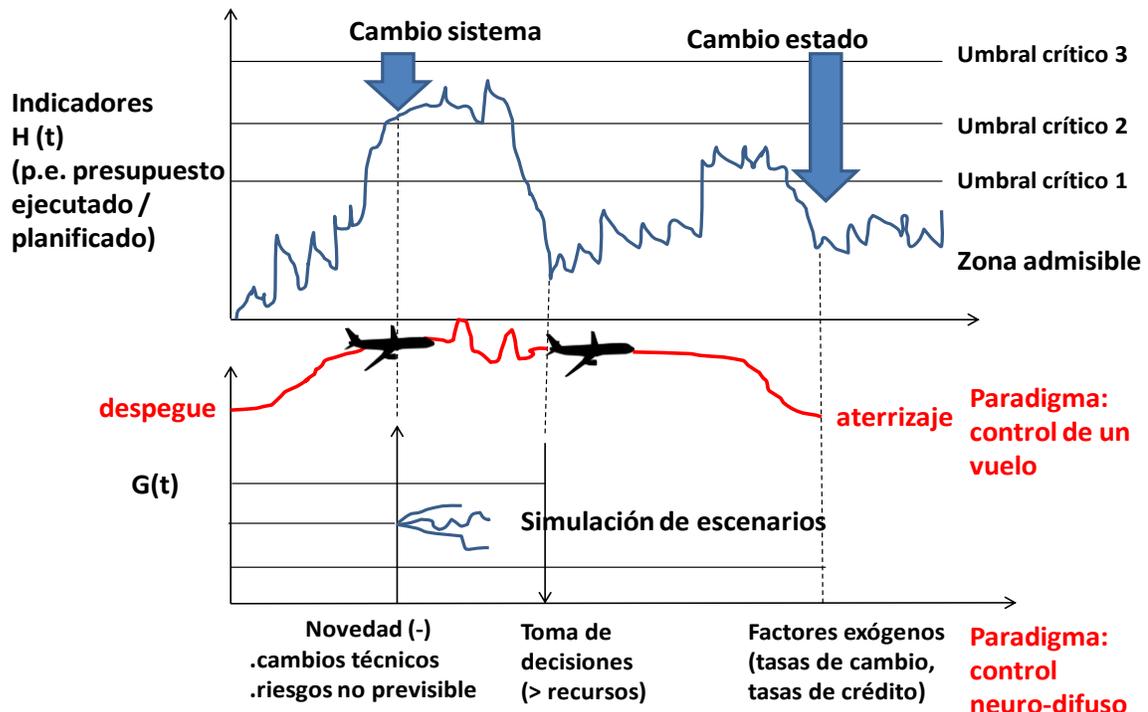
La estructura operativa está influenciada por factores exógenos provenientes del entorno, los cuales pueden ser previsible o no previsible y por novedades no previsible.

La estructura operativa afecta a la estructura de organización temporal a través de datos (de desempeño del trabajo y del cronograma), informes (de desempeño, de ejecución o de rendimiento) e información (de desempeño del trabajo e información histórica).

A partir de estas dos estructuras, el comportamiento del proyecto complejo se puede estudiar como un sistema complejo adaptativo, que trabaja en condiciones de incertidumbre, se adapta a las condiciones del entorno y es capaz de auto organizarse y evolucionar.

Este comportamiento de este sistema complejo adaptativo puede asemejarse al vuelo de un avión que despegue de un punto A y aterriza en un punto B (paradigma del control de un vuelo). Hay unas condiciones iniciales (parámetros) cuando despegue del punto A, en el trayecto el control automático opera la nave dentro de una zona controlable y segura (zona de valores admisible). Durante el vuelo pueden surgir cambios externos (por ejemplo, condiciones climáticas adversas) o del equipo humano responsable del vuelo (por toma de decisiones), que pueden alterar la secuencia programada. Estos cambios obligan la intervención de los pilotos para corregir aquellas variables que están en rangos críticos (control manual del avión), con base en unos escenarios posibles de decisión. Estos cambios pueden implicar un nuevo sistema (por ejemplo: una nueva ruta) o un nuevo estado del sistema (con parámetros diferentes a los iniciales), esta secuencia se repite hasta que el avión llega a su punto final de aterrizaje (ver Figura 8).

Figura 8. Proyecto complejo visto como un sistema complejo adaptativo.



Fuente: Elaboración propia con base en la contribución de Hurtado (2015).

La estructura operativa es un sistema complejo de procesos y actividades en donde se determinan los factores intervinientes del proyecto y los factores críticos (indicadores

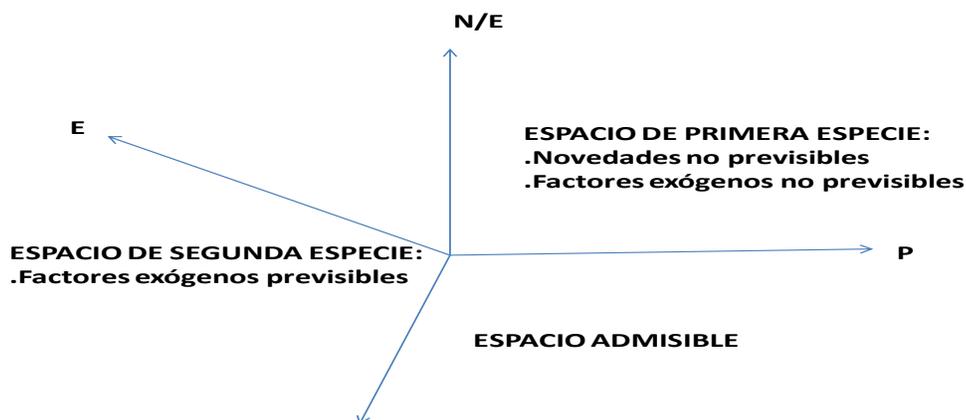
restrictivos del proyecto complejo). A estos indicadores $H(t)$ se les hará seguimiento durante la ejecución del proyecto complejo.

Por ejemplo, el factor interviniente “presupuesto” puede estar definido como un factor crítico que servirá como indicador de control durante la ejecución del proyecto.

Para los indicadores de control o críticos del proyecto complejo se le definen: 1) la zona admisible (zona de valores posibles que pueden darse durante la ejecución del proyecto) y, 2) escalas de zonas de umbrales críticas (zona de valores que afectará al proyecto complejo).

Durante la ejecución del proyecto complejo puede aparecer: 1) factores intervinientes nuevos, 2) factores críticos nuevos, 3) novedades no previsibles, 4) factores exógenos (previsibles/no previsibles). Toda la lista anterior tendrá un carácter discreto en el tiempo (ver Figura 9). Los factores exógenos entregan información al proyecto complejo que puede provenir de información cuantitativa, cualitativa, o un conjunto difuso de datos (paradigma: control neuro-difuso), entre otras. La dinámica en ese espacio se muestra en la Figura 9.

Figura 9. Espacios de novedades y factores exógenos.



Fuente: Elaboración propia con base en la contribución de Olivar (2015).

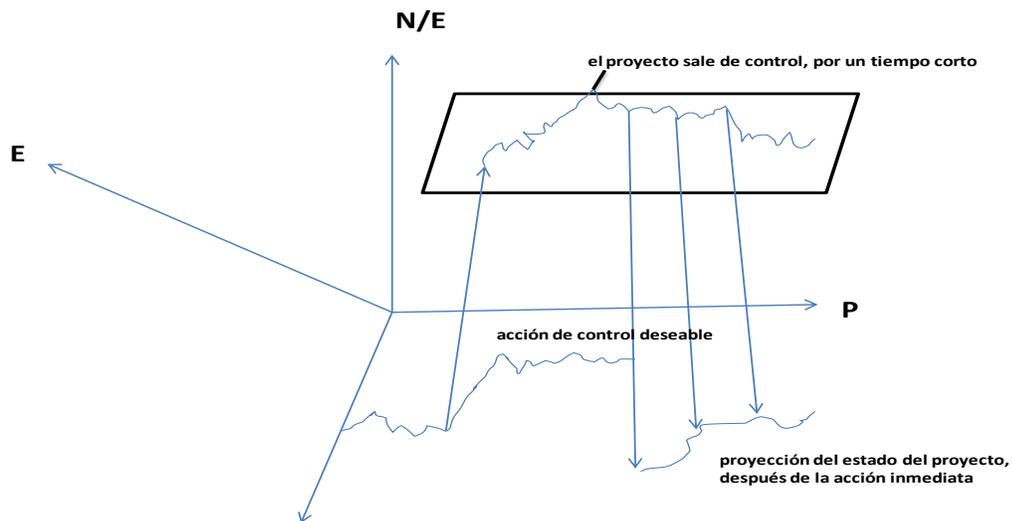
En la Figura 9 se muestran tres espacios importantes que se pueden dar durante la ejecución del proyecto complejo:

- El espacio admisible o zona admisible, en donde los factores de control o factores críticos presentan valores posibles o aceptables que pueden darse durante la ejecución del proyecto.
- El espacio de primera especie, se denomina así por tener factores imprevisibles, que pueden cambiar el sistema o cambiar el estado del sistema, son los que no pueden preverse desde el inicio del proyecto y por lo tanto los que pueden generar mayor nivel de incertidumbre para el mismo. En este espacio pueden presentarse novedades no previsibles o factores exógenos no previsibles, en la Figura 8 se ven como el espacio que corresponden a los umbrales crítico 1, 2 o 3.

- c) El espacio de segunda especie, se denomina así por tener ser factores previsible. En este espacio pueden presentarse factores exógenos previsible, en la Figura 8 se ve como la zona admisible.

Al presentarse variaciones de las condiciones iniciales, se da una dinámica en los tres espacios mencionados anteriormente, con el objetivo de corregir el rumbo del proyecto, llevándolo al espacio nuevamente de la zona de admisible (ver Figura 10) a través de una acción de control que de acuerdo con la simulación de posibles escenarios se seleccione la deseable.

Figura 10. Dinámica en el espacio de novedades y factores críticos.



Fuente: Elaboración propia con base en la contribución de Olivar (2015).

La acción de control deseable, tiene que ser tal que cumpla con: 1) la de ser inmediata en el tiempo (poco tiempo para tomarla), 2) lleve la proyección del proyecto complejo al estado de control según el espacio admisible y 3) el esfuerzo de control sea mínimo (pérdidas/costos/gastos).

La novedad o factor exógeno no previsible puede cambiar el número de estados o el número de conexiones, obteniendo un nuevo sistema (emergencia). Y los factores previsible no cambian el número de estados, aunque pueden cambiar el número de conexiones o parámetros.

Una vez tomada la acción de control deseable (que proyecta el proyecto complejo en el espacio admisible), se tiene un tiempo mayor para definir el nuevo espacio posible y sus estrategias de acción (espacio de fase: diferentes estados del sistema, grados de libertad del sistema: número de estados del sistema).

Esto se repite a lo largo de la ejecución del proyecto complejo, con novedades N_i y factores exógenos E_i , donde $i = 1, 2, \dots, n$.

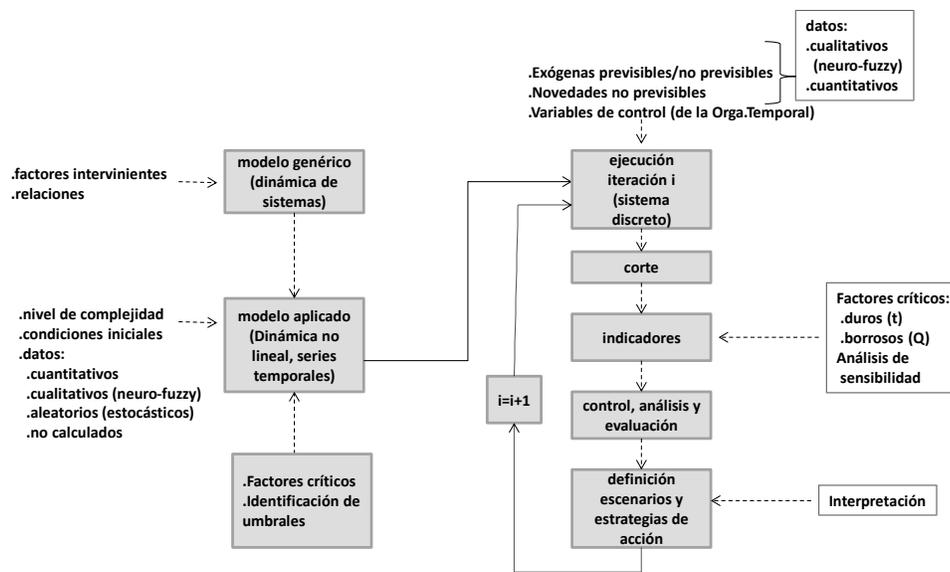
La aparición de una novedad negativa (por ejemplo: cambios técnicos o la aparición de riesgos no previsible), genera un cambio del sistema (nuevas condiciones emergentes). El análisis de este comportamiento genera la determinación de posibles escenarios de decisión, variando las condiciones iniciales del sistema, por ejemplo, al requerir mayor cantidad de recursos para continuar con la ejecución del proyecto complejo, ajustes en el alcance, entre otros.

Los factores exógenos (previsibles o no previsible) también pueden influir durante la ejecución del proyecto complejo para que este cambie de estado, manteniendo el mismo sistema, factores exógenos, por ejemplo: cambio de tasas (TRM), cambio de tasas otorgadas en un crédito como fuente de financiación del proyecto complejo o nuevas disposiciones por parte de los grupos de interés. Estos cambios de estado también conducirán a la determinación de posibles escenarios de decisión, variando las condiciones iniciales del sistema.

Con estos cambios de estados o cambios de sistema, puede darse una auto organización del sistema o una adaptación del sistema a las nuevas condiciones impuestas por el entorno, una revisión de las interrelaciones entre factores intervinientes y la determinación de nuevos factores críticos que permitan ejecutar el siguiente corte de monitoreo y control, durante un tiempo discreto "t".

Teniendo en cuenta los esquemas o planteamientos de los modelos desarrollados: modelo mental desde la complejidad, modelo discursivo, modelo conceptual y modelo teórico-genérico, se propone el siguiente esquema desde la perspectiva de la complejidad desarrollando la relación entre el problema, el modelo mental del sujeto decisor y el tipo de proyecto y gestión del mismo (ver Figura 11).

Figura 11. Ciencias de la complejidad en la modelación de un proyecto complejo.



Fuente: Elaboración propia.

Selección de herramientas de las ciencias de la complejidad.

A continuación, se presentan las herramientas seleccionadas de las ciencias de la complejidad y las teorías de los sistemas complejos para llevar a cabo la modelación y simulación de la gestión de proyectos complejos, su selección brinda de manera adecuada el estudio y análisis de un proyecto complejo.

- I. La modelación genérica del proyecto se hará en las dos estructuras previamente definidas: estructura operativa y la estructura de la organización temporal.

Para el modelo genérico se definieron las siguientes entradas: la identificación de los factores intervinientes para la generalidad de los proyectos, teniendo como base la guía metodológica PMBOK® y los factores exógenos/novedades. A partir de estos factores identificados, se establecen relaciones entre los mismos a través de: diagramas de flujos, diagramas causales, diagramas de flujos y niveles y diseño de la red compleja.

Herramienta: ***pensamiento sistémico, dinámica de sistemas y sistemas dinámicos.***

Justificación de la selección: el pensamiento sistémico permite el estudio de todas las partes de un todo, considerando el todo como el proyecto visto como un sistema complejo. La dinámica de sistemas como metodología que permite analizar y modelar el comportamiento de un sistema complejo. Y sistemas dinámicos que permite analizar un sistema que evoluciona con el tiempo.

Resultado: Modelo teórico-genérico representado a través de una red compleja.

- II. Una vez se cuente con el modelo teórico-genérico de proyecto, se pasará a la modelación aplicada (con un caso de estudio previamente seleccionado), cuyas entradas serán:

- ❖ El modelo genérico de donde se seleccionarán aquellos procesos y factores intervinientes necesarios para el modelo aplicado.

- ❖ Caso de estudio seleccionado.

Herramienta: ***Red compleja y medidas de la complejidad.***

Justificación: La red compleja permite estudiar las interrelaciones entre los diferentes procesos/subprocesos/atributos y flujo de información del proyecto complejo. Las medidas de la complejidad permiten concluir cómo es el comportamiento del proyecto como un sistema complejo.

Resultados:

- a. Modelo aplicado representado a través de la red compleja.
- b. Se conocerá el nivel de complejidad del proyecto.
- c. Se conocerán las condiciones iniciales del sistema: procesos y factores intervinientes específicos.
- d. Se conocerán los datos de los factores intervinientes específicos, que podrán ser: a) cuantitativos, b) cualitativos: se trabajarán con las herramientas ***fuzzy*** (para el caso cuando hay un conjunto borroso de datos), c) aleatorios: se trabajarán con las herramientas de ***ecuaciones estocásticas*** y d) no calculados: se conoce el factor interviniente pero no se cuenta con el dato inicial, quedarán a la espera de ser obtenidos o calculados.

- e. Se conocerán los factores intervinientes identificados como factores críticos iniciales, que serán los indicadores restricción que se analizarán en la primera iteración de la ejecución del proyecto complejo.
 - f. Se identificarán: a) el espacio de valores admisible y b) los niveles de umbrales críticos para cada factor interviniente crítico y los valores que marcarán cada nivel de umbral.
- III. El modelo aplicado entrará en el proceso de simulación (N iteraciones “i”), en un tiempo discreto, las entradas serán: a) el modelo aplicado de sistema dinámico, b) factores exógenos previsibles/no previsibles, c) novedades no previsibles, d) variables de control de la estructura de la organización temporal.

Cada simulación, en un tiempo discreto, tendrá los siguientes pasos: 1) corte, 2) indicadores, 3) control, análisis y evaluación y, 4) definición de escenarios y estrategias de acción.

El corte tendrá como entrada: factores exógenos previsibles/no previsibles, novedades no previsibles, variables de control de la estructura de la organización temporal, datos de ejecución sobre factores intervinientes y variables de control de la estructura de la organización temporal.

Los indicadores que se monitorean son los definidos como factores críticos, respecto a sus condiciones iniciales, los datos de ejecución, los espacios de valores de zonas admisibles y zonas de umbrales.

Sobre los resultados de los indicadores se efectuará control, análisis y evaluación, obteniendo datos del desempeño del proyecto complejo, y a través de análisis de sensibilidad se establecerán los nuevos factores críticos (o porque se mantienen los que vienen o porque entran unos nuevos y salen otros).

Finalmente, el simulador entregará los resultados de cada iteración (ver Figura 11) para interpretación del sujeto observador.

Herramientas: ***sistema dinámico y espacio de fases (estados del sistema)***.

Los estados del sistema se mostrarán a través de los indicadores definidos y de manera específica para el caso de estudio seleccionado en la cuarta simulación.

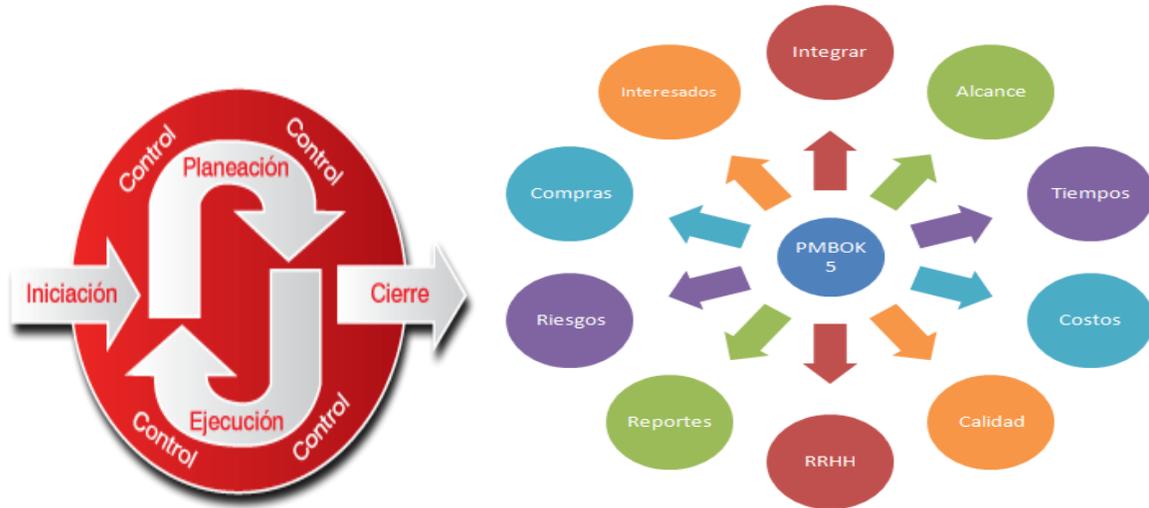
Resultado: N-iteraciones para simular el modelo aplicado, y poder así mismo obtener las conclusiones y retroalimentación de los resultados.

5.3.1. Modelo de flujos de información

Estructura Operativa: diagrama de flujos de información de información

La quinta edición de la guía metodológica PMBOK® plantea cinco grupos de procesos y diez áreas del conocimiento que permiten identificar los factores intervinientes para la generalidad de los proyectos. Los cinco grupos de procesos son: inicio, planificación, ejecución, monitoreo y control y de cierre (ver Figura 12). Estos cinco grupos de procesos conforman el primer nivel de la estructura operativa del modelo teórico-genérico.

Figura 12. Grupo de procesos y áreas del conocimiento de la guía metodológica PMBOK®



Fuente: Guía metodológica PMBOK®, 5ta edición.

Las áreas del conocimiento son diez: Integración, alcance, tiempo, costos, calidad, recursos humanos, comunicaciones, riesgos, adquisiciones e interesados (PMBOK®, 2013).

Grupo de procesos de inicio.

“El grupo de procesos de inicio está compuesto por aquellos procesos que definen un nuevo proyecto o una nueva fase de un proyecto existente. En estos procesos se define el alcance inicial, se comprometen los recursos iniciales y se nombra al director del proyecto, entre otros aspectos. Los límites del proyecto están entre el momento en que se autoriza el inicio y la finalización del mismo. Estos procesos ayudan a establecer la visión del proyecto, qué es lo que se necesita realizar” (PMBOK®, 2013).

Para llegar a este punto previamente se ha viabilizado el caso de negocio, a través del análisis de pre factibilidad y factibilidad del proyecto. Se cuenta con la descripción de la naturaleza de la situación, el modelo mental del sujeto observador y por ende el tipo de proyecto a abordar (simple/complejo).

Grupo de procesos de planificación.

“El grupo de procesos de planificación está compuesto por aquellos procesos realizados para establecer el alcance total del esfuerzo, definir y refinar los objetivos, y desarrollar la línea de acción para alcanzar dichos objetivos” (PMBOK®, 2013). Este proceso puede hacerse de manera gradual, mostrando con ello que la planificación es un proceso iterativo y continuo, en la medida que aparezcan detalles al plan inicial, modificaciones sobre el mismo o en sí mismo factores exógenos y novedades, obligará a efectuar ajustes a la planificación inicial.

Grupo de procesos de ejecución.

“El grupo de procesos de ejecución está compuesto por aquellos procesos para completar el trabajo definido en la planificación con el propósito de cumplir con las especificaciones del mismo” (PMBOK®, 2013). En este proceso se coordinan personas y recursos, se gestionan

las expectativas de los grupos de interés, así como integrar y realizar las actividades descritas en el proyecto.

Durante la ejecución se pueden requerir actualizaciones a la planificación, podría incluirse cambios en la duración, cambios en la disponibilidad y productividad de los recursos, riesgos no previstos, entre otros. Los cambios podrán incluir nuevos factores intervinientes y revisión de los factores críticos determinados al inicio del proyecto.

Grupo de procesos de monitoreo y control.

“El grupo de procesos de monitoreo y control está compuesto por aquellos procesos requeridos para rastrear, analizar y dirigir el progreso y el desempeño del proyecto, revisando cambios necesarios al proyecto” (PMBOK®, 2013). El desempeño del proyecto se mide y se analiza a intervalos regulares, también como consecuencia de eventos sucedidos o a determinadas condiciones de excepción, a fin de identificar si hay traspaso de umbrales críticos, plantear posibles escenarios de decisión.

Este grupo de procesos también implica, según el PMBOK® (2013): control de cambios, acciones correctivas o preventivas, monitorear las actividades del proyecto, evaluar el desempeño del proyecto, verificación para que solo se implementen cambios aprobados.

Grupo de procesos de cierre.

“El grupo de procesos de cierre está compuesto por aquellos procesos realizados para finalizar todas las actividades a través de todos los grupos de procesos mencionados, con el fin de completar formalmente el proyecto o una fase del mismo” (PMBOK®, 2013). Al cierre el proyecto o de una fase podría darse: aceptación del cliente o patrocinador, revisión, documentación de lecciones aprendidas, actualizaciones a los activos de los procesos, cierre de las actividades de adquisiciones y evaluaciones finales.

Áreas del conocimiento por proceso.

Las áreas del conocimiento representan un conjunto de conceptos, términos y actividades, que permiten con un nivel de detalle, definir el proyecto y a su vez identificar los factores intervinientes en el mismo.

Áreas del conocimiento y procesos según el (PMBOK®, 2013): En la siguiente tabla se establece la interacción entre las áreas del conocimiento y en el proceso que intervienen (Tabla 8).

Tabla 8. Áreas del conocimiento y procesos PMBOK® (2013).

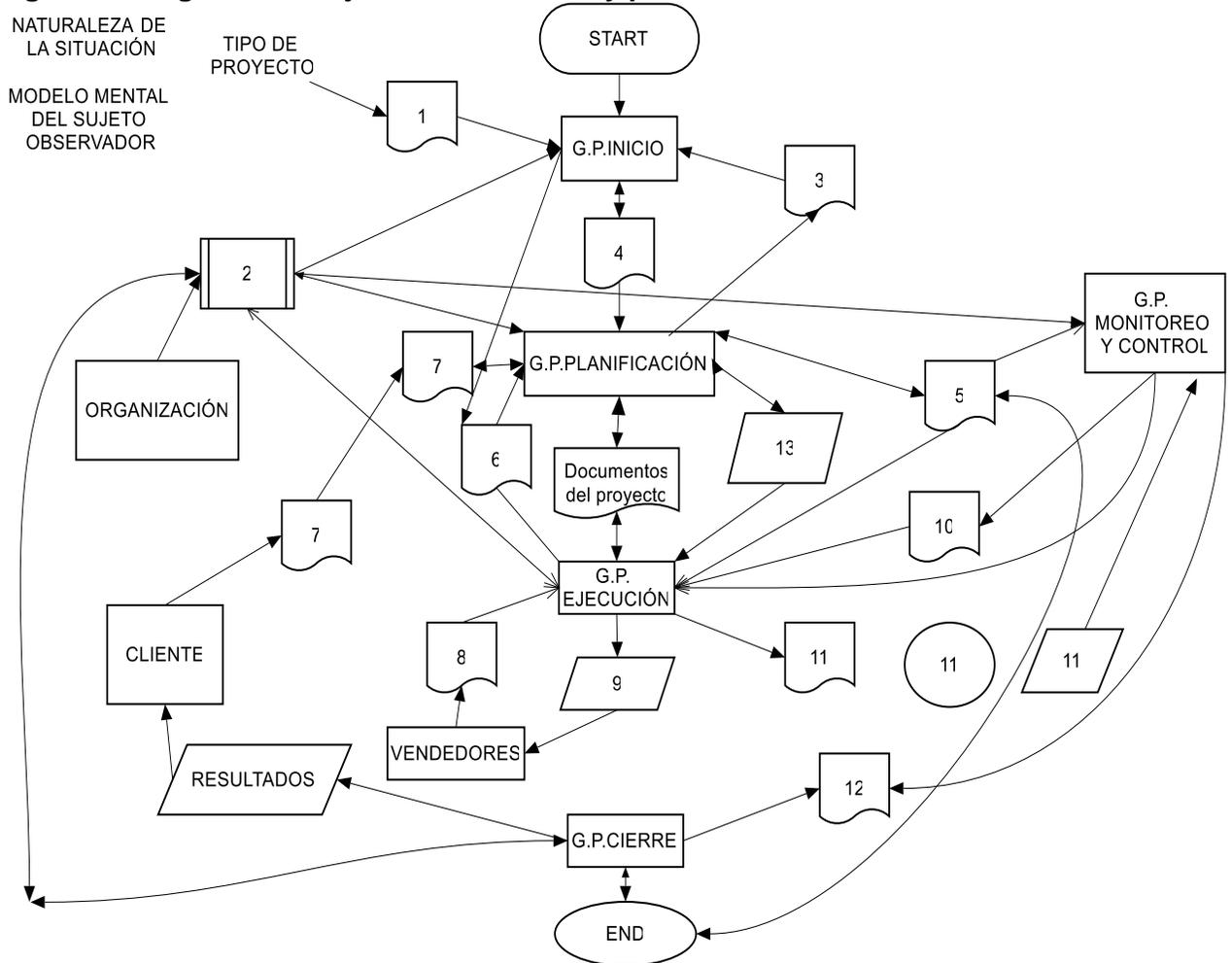
| AREAS DEL CONOCIMIENTO/PROCESOS | INICIO | PLANIFICACIÓN | EJECUCIÓN | MONITOREO Y CONTROL | CIERRE |
|---------------------------------|--------|---------------|-----------|---------------------|--------|
| GESTION INTEGRACIÓN | X | X | X | X | X |
| GESTIÓN DEL ALCANCE | | X | | X | |
| GESTIÓN DEL TIEMPO | | X | | X | |
| GESTIÓN DE LOS COSTOS | | X | | X | |
| GESTIÓN DE LA CALIDAD | | X | X | X | |
| GESTIÓN DE RECURSOS HUMANOS | | X | X | | |
| GESTIÓN DE LAS COMUNICACIONES | | X | X | X | |

| | | | | | |
|--------------------------|---|---|---|---|---|
| GESTIÓN DE RIESGOS | | X | | X | |
| GESTIÓN DE ADQUISICIONES | | X | X | X | X |
| GESTIÓN DE INTERESADOS | X | X | X | X | |

Fuente: Elaboración propia con las contribuciones del PMBOK® (2013).

Para denotar flujos y procesos se utilizarán identificadores (números o nombres) que harán la relación de la información que va en cada etapa del proceso, con el fin de mostrar las relaciones existentes entre procesos. Para la notación simbólica se tiene como referencia la norma ISO 5807/1985 (Ver Figura 13 y Anexo1).

Figura 13. Diagrama de flujos de información y procesos.



Fuente: Elaboración propia (software utilizado NCHSoftware y simbología de la norma ISO 5807/1985).

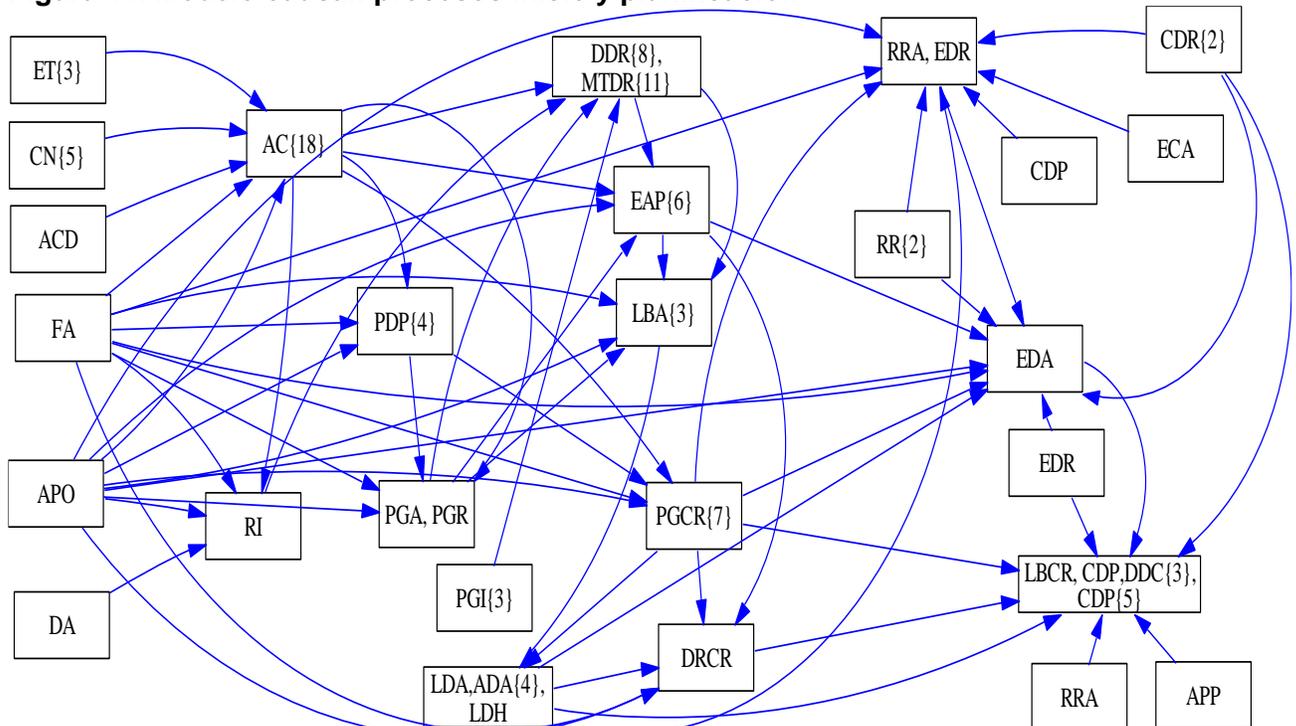
Para cada identificador (número/documento del proyecto, asignado en el diagrama de flujo y procesos) se define: a) el detalle del contenido, que puede ser: documento/información/variable; b) a cada componente del detalle se le asigna una sigla que lo identificará en los siguientes diagramas/modelos; c) Si cada componente se subdivide

en otros componentes (documento/información/variable) se coloca el número respectivo de subcomponentes (ver Anexo 2).

5.3.2 Modelo causal

El modelo de flujos se pasa al modelo causal, se muestran los procesos de inicio y planificación con base en la guía metodológica PMBOK® (ver Figuras 14 y 15), el flujo causal y las variables se detallan en el Anexo 3.

Figura 14. Modelo causal: procesos inicio y planificación



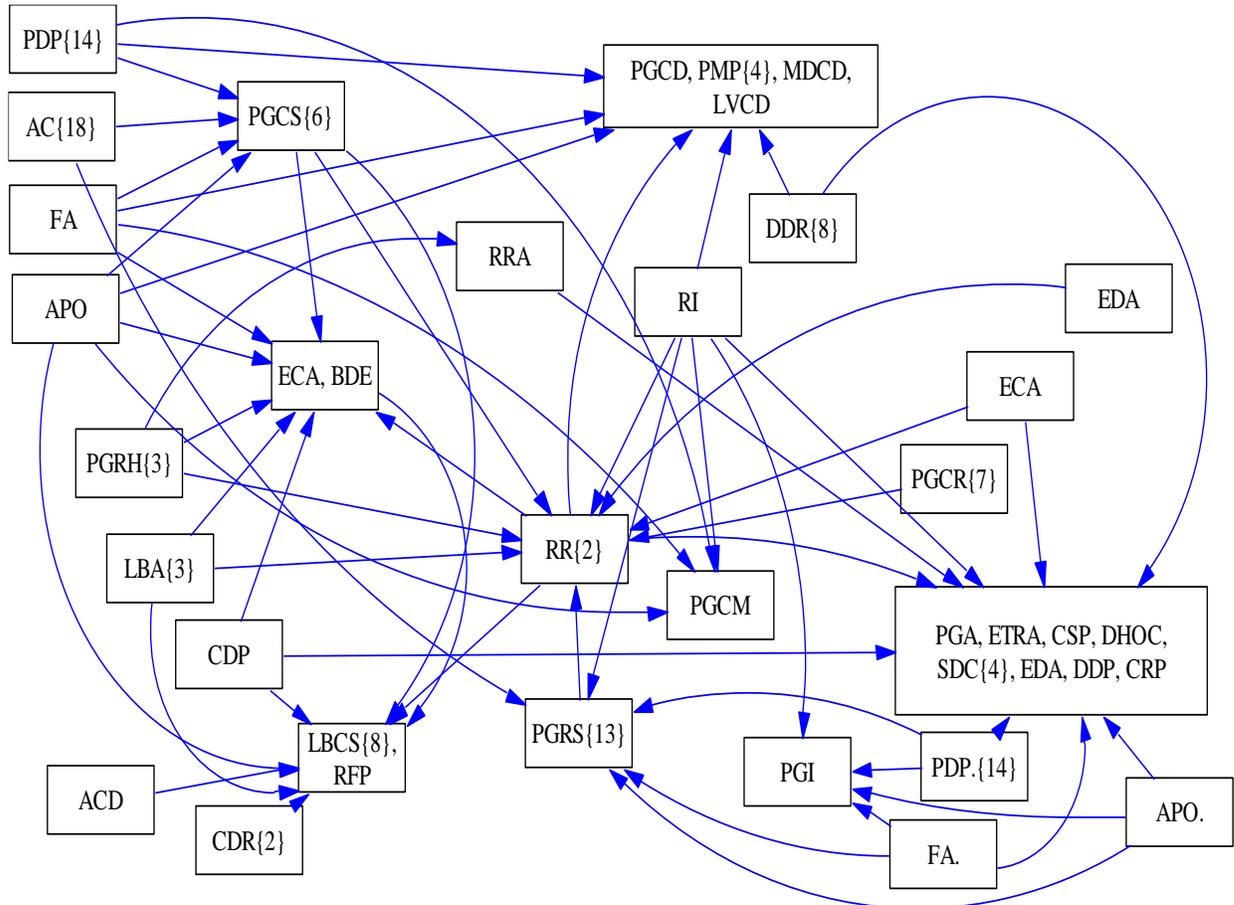
Fuente: Elaboración propia (software utilizado VENSIM)

En la Figura 14, la convención utilizada corresponde a:

Nombre subproceso {número de variables}

Por ejemplo: ET {3}, corresponde al subproceso enunciado del trabajo, con los siguientes documentos/información/variable:

- Necesidad del negocio: propósito, objetivos medibles, descripción de alto nivel, lista de interesados
- Descripción del alcance del producto: descripción, requisitos de aprobación
- Plan estratégico de la organización

Figura 15. Modelo causal: procesos planificación – continuación Figura 14

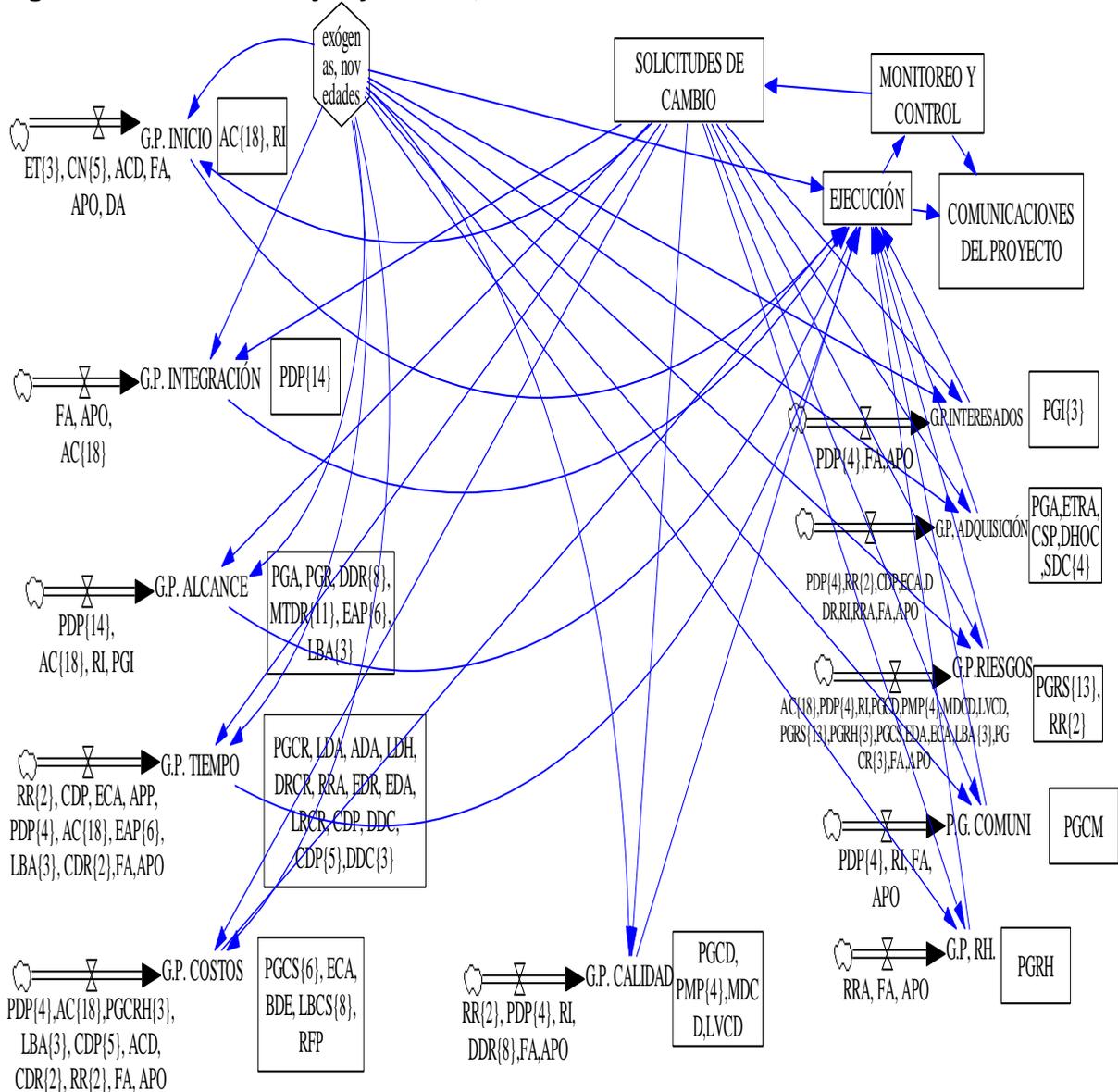
Fuente: Elaboración propia (software utilizado VENSIM)

A través de los modelos de flujos y modelos causales, se pudo establecer la forma en que se relacionan los subprocesos del PMBOK® y la multiplicidad de relaciones existentes.

5.3.3. Modelo de flujos y niveles

El modelo causal se pasa al modelo de flujos y niveles (Forrester, 1968): 1) Niveles: se determinan variables de estado como resultado del proceso de transformación de las variables de entrada, 2) Flujos: variación de los niveles, los flujos de entrada corresponden a la información/documentos/variables que ingresan al nivel para ser transformadas, el flujo de salida corresponde a las variables resultado del proceso de transformación, 3) Variables externas: exógenas o novedades que influyen en los diferentes niveles/variables (ver Figura 16).

Figura 16. Modelo de flujos y niveles, Forrester.



Fuente: Elaboración propia (software utilizado VENSIM)

5.3.4. Modelo red compleja de subprocessos/actividades

Sobre los procesos/subprocesos del PMBOK®: Se define una red de 4 niveles (ver Figura 17), cuya notación está en relación con los numerales que utiliza la guía metodológica PMBOK® (por ejemplo, el 4.1 corresponde a desarrollar el acta de constitución del proyecto, los repositorios de información (por ejemplo: AC, acta de constitución del proyecto), los colores son para su diferenciación (Tabla 9).

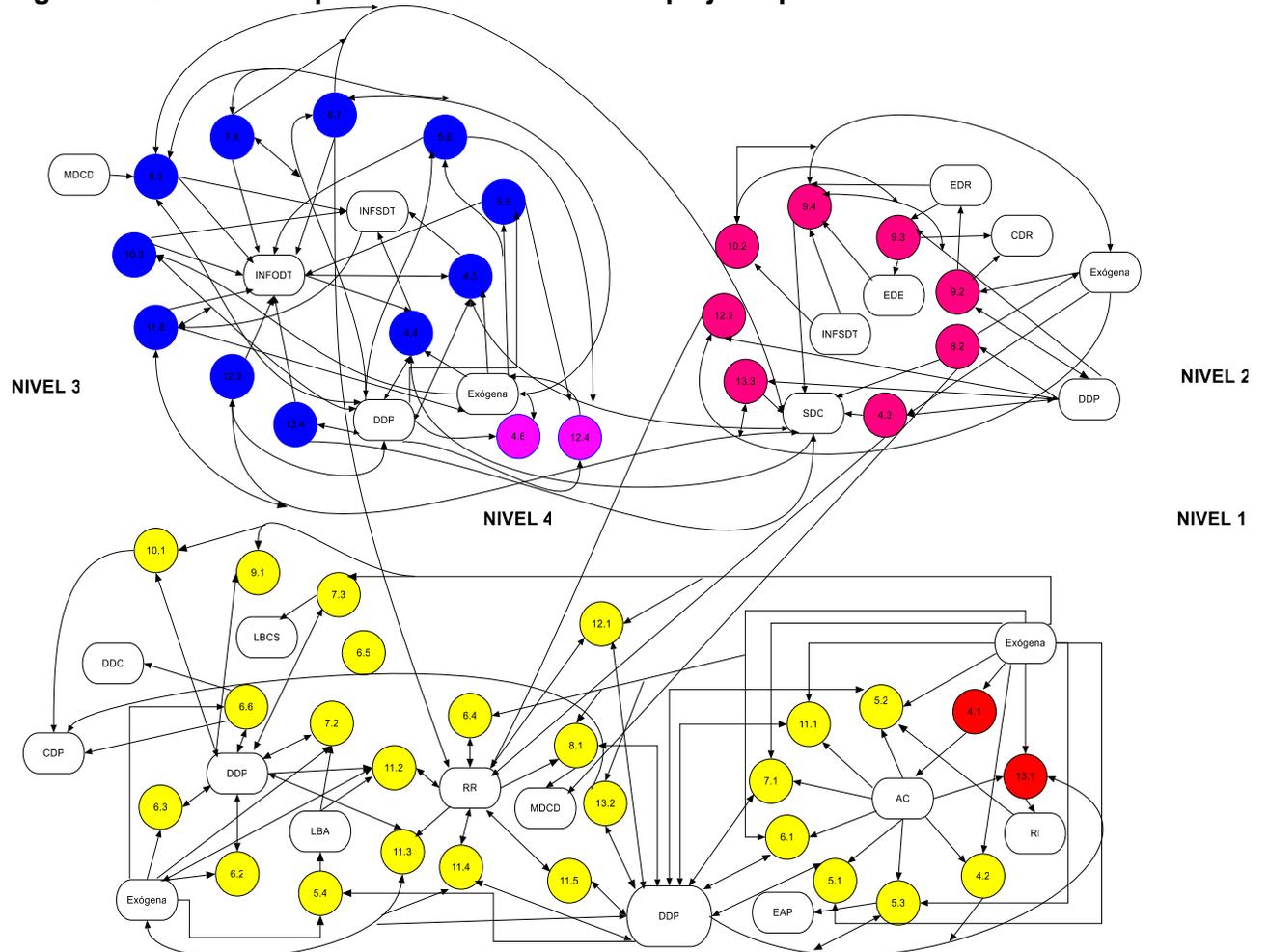
Tabla 9. Especificaciones red de niveles

| Niveles de la red | Cantidad procesos | Proceso (nodos) | Cantidad subprocesos |
|-------------------|-------------------|--|----------------------|
| 1 | 2 | Inicio (nodos color rojo) y planificación (nodos color amarillo) | 26 |
| 2 | 1 | Ejecución (nodos color rosado oscuro) | 8 |
| 3 | 1 | Monitoreo y control (nodos color azul) | 9 |
| 4 | 1 | Cierre (nodos color rosado) | 2 |

Fuente: Elaboración propia

Como se describió, se identifican 4 niveles, que corresponden a los procesos que define el PMBOK®: inicio y planificación, ejecución, monitoreo y control y cierre. Cada subproceso constituirá un nodo de la red compleja, dando un total de 47 nodos.

Figura 17. Estructura operativa – Diseño red compleja de procesos.



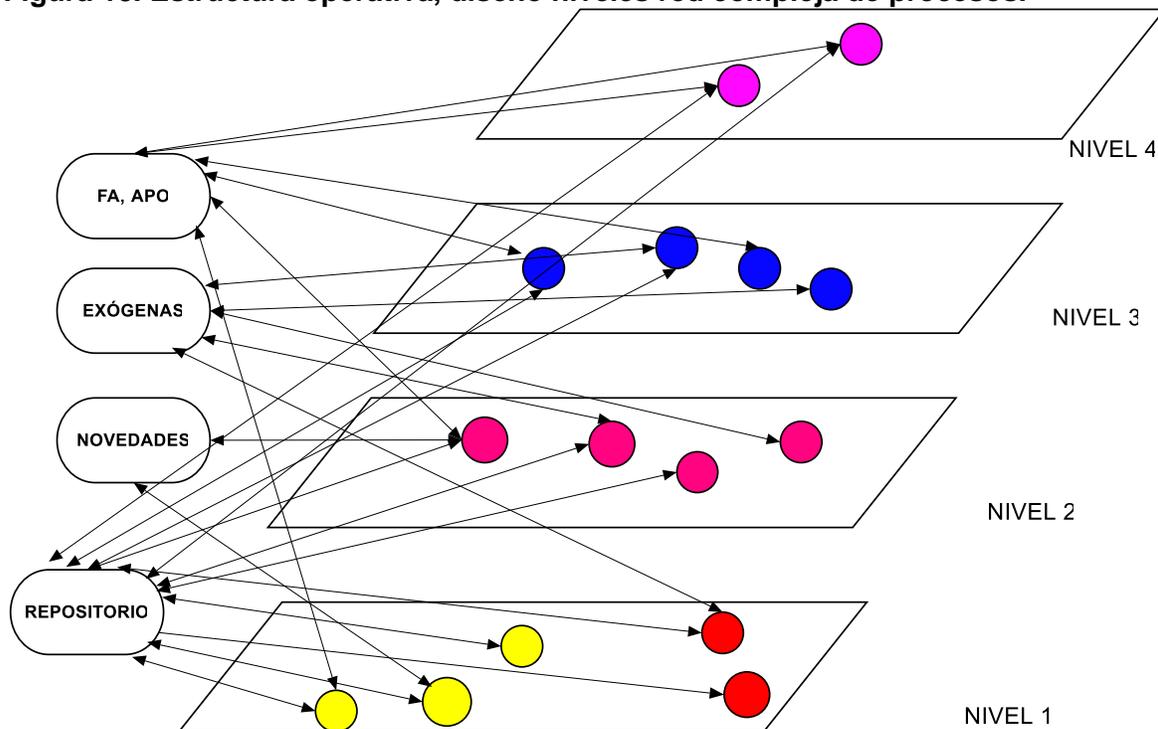
Fuente: Elaboración propia (software utilizado VENSIM)

En el diseño de la red compleja se establecen las relaciones dentro de cada nivel y entre niveles, lo que significa que una información que llega o se genera en un subproceso dentro de un nivel puede trasladar información a otro subproceso del mismo nivel o a subprocesos de otros niveles. De igual forma las relaciones entre subprocesos se pueden dar en ambos sentidos o en uno solo, dependiendo de la información que se genera y se transmite entre subprocesos.

Un ejemplo de lo anterior es lo siguiente: al ejecutarse el subproceso desarrollar el acta de constitución del proyecto (cuyo identificador en el PMBOK® es 4.1), el cual se encuentra en el nivel 1, envía información al repositorio acta de constitución del proyecto (AC) y a través de este repositorio, se envía información al subproceso desarrollar el plan para la dirección (cuyo identificador en el PMBOK® es 4.2).

La Figura 18 reúne los procesos, subprocesos de cada nivel (de la Figura 17), y se muestran los 4 nodos especiales y los repositorios de información: a) factores ambientales de la empresa (FA) y activos de procesos de la organización (APO), b) exógenas, c) novedades y d) repositorio: documentos del proyecto.

Figura 18. Estructura operativa, diseño niveles red compleja de procesos.



Fuente: Elaboración propia.

Desarrollo del modelo teórico-genérico – estructura organización temporal

La organización temporal está caracterizada por: 1) influencia de los grupos de interés sobre el modelo mental del sujeto observador, 2) percepción del observador-líder, 3) comportamiento del sujeto observador-líder y 4) la cognición organizacional en relación con la situación problema.

Y a su vez esta estructura estará influenciada por variables endógenas como:

| | |
|------------------------------------|-------------------------------------|
| Disponibilidad de recursos humanos | Nivel de aprendizaje |
| Rendimiento del recurso humano | Incentivos, motivación del personal |
| Reprocesos por mala calidad | Experiencia del personal |
| Ausentismo | Fatiga del personal |

y otras como liderazgo en los tomadores de decisiones

Estas características y variables endógenas influyen de manera positiva/negativa, durante la gestión del proyecto, elevando la complejidad del mismo.

5.4. Desarrollo del modelo de simulación

El modelo-EP y el modelo de modelos (modelo mental, modelo discursivo, modelo conceptual, modelo teórico-genérico) son modelos que parten de un sistema de referencia de la gestión de proyectos complejos (objeto de estudio), cuyo objetivo es la de generar mayor nivel de conocimiento sobre dicho sistema (Booch, Rumbaugh y Jacobson 2006; Rodríguez Zoya y Rodríguez Zoya 2013).

El modelo teórico-genérico intenta representar las reglas de evolución en el tiempo de los demás modelos y del sistema de referencia, mostrando así, la dinámica del sistema.

El modelo de simulación permitió analizar la evolución temporal del sistema modelizado (Rodríguez Zoya, 2014), cuyo objetivo fue la de poder estudiar de modo sistemático y en una dinámica temporal de los procesos/actividades de la gestión de proyectos y de analizar de modo integrado las novedades que pueden cambiar estados del sistema y el mismo sistema.

Las cuatro simulaciones que se plantean se pueden conceptualizar como una actividad por la cual se perturba un modelo dinámico (Treuil et al. 2008:5). En conclusión, el objetivo es modelizar la gestión de proyectos y luego desarrollar experimentos sobre el modelo simulándolo, en lugar de hacerlos sobre el objeto real.

A través de las simulaciones se plantea revisar hipótesis del tipo “que pasaría si”, como si las condiciones iniciales son “tales” o si variaciones a ciertas variables endógenas o exógenas afectan en mayor o menor grado la gestión de proyectos complejos.

El modelo de simulación se desarrolla a través de tres etapas: 1) definición de los parámetros de simulación, 2) simulación y 3) análisis de resultados de la simulación. Este modelo se construye a partir de los tres modelos antes desarrollados: modelo mental, modelo conceptual y el modelo teórico-genérico. Las simulaciones parten del modelo teórico-genérico teniendo en cuenta: flujos y procesos, modelo causal, flujos y niveles y el diseño de la red compleja de procesos/actividades.

Para el presente trabajo de investigación se llevaron a cabo cuatro experimentos de simulación, los experimentos partieron del modelo teórico-genérico y dos de ellos se llevaron a cabo con base en un caso de estudio específico.

La primera simulación está basada en los subprocesos identificados del PMBOK®. Se identificaron 5 procesos, 47 subprocesos y 3 subprocesos especiales. Con base en las

conexiones que se establecen entre procesos/subprocesos se muestra la dinámica en la red. Este modelo teórico-genérico no está definido para un sector de proyectos específico, podría aplicar a cualquiera el cual parte desde la perspectiva clásica de los proyectos con base en el PMBOK®, entendiendo la dinámica de su gestión desde la perspectiva de la complejidad.

A través de esta simulación se establecieron medidas de la red y su interpretación en relación con la gestión de proyectos. Las medidas que se trabajaron fueron las siguientes: densidad, centralidad, grado, entre otras.

La segunda simulación está basada en variables identificadas del PMBOK®. Se identificaron 184 variables. Se identificaron medidas de la red como lo fueron: nivel de complejidad, densidad, grado, diámetro, entre otras.

La tercera simulación está basada en variables (PMBOK®) y el caso de estudio específico: “Construcción de vías secundarias en municipios del Departamento de Caldas (Municipio de Palestina)”. La información del caso de estudio fue tomada de un caso de estudio real del Plan Vial 2 del Departamento de Caldas. Se identificaron medidas de la red como lo fueron: nivel de complejidad, densidad, grado y diámetro.

La cuarta simulación se realiza partiendo del caso de estudio específico seleccionado para la tercera simulación y sobre la fase de ejecución, se tiene en cuenta el conjunto de actividades determinadas para su ejecución.

Se identifica niveles (nodos que representan las actividades) y los flujos de información (precedencias de actividades). Con base en las conexiones que se establecen entre actividades se muestra la dinámica en la red y por cada nodo (actividad) se presenta una dinámica de sistemas.

Para esta cuarta simulación se incluye los aspectos de la organización temporal y cómo estos pueden influir positiva o negativamente en la ejecución del proyecto: disponibilidad de los recursos humanos, rendimiento, reprocesos por mala calidad, ausentismo, nivel de aprendizaje, incentivos, motivación al personal, experiencia del personal, fatiga del personal.

Se identificaron medidas de desempeño de cada actividad y del proyecto. A su vez que se pueden determinar escenarios de decisión para tomar futuros correctivos.

Resumen del capítulo

A partir del modelo de modelos propuesto en el capítulo cuatro, se desarrollaron los siguientes modelos: modelo mental, modelo conceptual, modelo teórico-genérico y el modelo de simulación.

Los aspectos más relevantes que caracterizaron la construcción del modelo de modelos fueron los siguientes:

- En el modelo mental y el modelo conceptual se trabajó una complejidad generalizada, a través del pensamiento complejo. A través de la complejidad generalizada, se hace un acercamiento al fenómeno de complejidad más desde un lenguaje natural de cómo percibe el observador el sistema que observa, que por la representación fiel de la realidad externa (Morin, 2005).

- Para los modelos teórico-genérico y el de simulaciones, se trabajó la complejidad restringida, a través de las herramientas de las ciencias de la complejidad. A través de la complejidad restringida se hace un acercamiento al fenómeno de complejidad desde un lenguaje formal intentando modelar con herramientas de las ciencias de la complejidad y con algoritmos computacionales.
- Finalmente, la hibridación de herramientas mejoró los resultados que se desprendieron de cada modelo, al aprovechar las utilidades que brindaba cada una de ellas.

Los conceptos principales previamente definidos y que dan estructura teórica al modelo de modelos propuesto son: problema de complejidad organizada, proyecto complejo, gestión de proyectos complejos, complejidad, pensamiento complejo y pensamiento sistémico, se acoplaron al desarrollar el modelo mental y el modelo conceptual de un proyecto complejo.

En el modelo mental se determinan las características de un proyecto desde la perspectiva clásica y desde la perspectiva de la complejidad, que aplican a diferentes tipos de proyecto, porque en dicho modelo se definen características generales y comunes al proyecto.

En el modelo mental desde la perspectiva clásica se identificaron los siguientes aspectos: a) Proceso: lineal, plan por fases, control y evaluación, b) Fundamentos: positivismo, determinismo, reduccionismo y disyunción y c) Característica: predecibilidad.

En el modelo mental desde la perspectiva de la complejidad se identificaron los siguientes aspectos: a) Proceso: no lineal, dinámico, complejo, propiedades y emergentes, b) Cambios de estado o cambios del sistema, c) Períodos de crisis, incertidumbre, complejidad y d) Mayor nivel de toma de decisiones, impredecibilidad.

El desarrollo de la tesis se basa en el modelo mental – discursivo desde la complejidad, cuyas características permiten estudiar un proyecto complejo, entendido: a) un sistema complejo compuesto de diferentes elementos interconectados para lograr un objetivo, b) un sistema dinámico que interactúa continuamente con su entorno, c) sus partes interactúan entre ellas y con su entorno y dan lugar a nuevas propiedades que no existían previamente en ninguna de las partes que lo componen (Arellano D., Danti J. y Pérez M., 2016).

Se desarrolló el modelo conceptual a través de un modelo metodológico o fase de diseño, modelo empírico o fase de recolección, construcción y análisis y, se identificaron: a) factores que incrementan la complejidad, b) características que debe tener un proyecto para gestionar un problema complejo y c) factores de la cognición organizacional. Con los resultados de la investigación empírica, se logra validar las hipótesis inicialmente planteadas.

El modelo conceptual es consecuente con lo definido en el modelo mental desde la complejidad, y se apoya en las definiciones conceptuales de proyecto complejo y complejidad.

- El modelo mental desde la complejidad tiene en cuenta la planificación de condiciones iniciales, cambios de estado, cambios del sistema, incertidumbres, toma

- de decisiones, desempeño del proyecto (medido a través del éxito/fracaso del proyecto), nuevos criterios de éxito, lo que estaría en relación con la hipótesis 2.
- El modelo discursivo como un sistema dinámico no lineal, adaptativo y evolutivo estaría en relación con las hipótesis 1, 2 y 3.
 - El modelo-EP donde se ha identificado la complejidad como el componente que desarrolla la relación entre: el problema a abordar, el modelo mental del sujeto decisor que podría ser un individuo o una organización y el proyecto y su forma de gestionarlo que actuarán sobre el problema identificado, lo que estaría en relación con la hipótesis 1.

Se desarrolló el modelo teórico-genérico, a través de los siguientes modelos: a) flujos, b) causal, c) flujos y niveles y d) diseño de la red compleja de procesos/actividades. Este modelo está basado en el PMBOK®, guía de las mejores prácticas para planificar, ejecutar y controlar cualquier tipo de proyecto, por lo que para este modelo no se determina un tipo de proyecto específico.

Por último, se presentaron las cuatro simulaciones que se trabajaron como instrumento de generación adicional de conocimiento. La primera simulación se hace sobre los procesos, la segunda de ellas sobre procesos, atributos y variables, la tercera simulación sobre un caso de estudio específico y la cuarta sobre las actividades en fase de ejecución sobre un caso de estudio específico. Este modelo de simulaciones se apoya en herramientas para realizar la hibridación: modelo de flujos, modelo causal, niveles y flujos, red compleja temporal, dinámica de sistemas y sistemas dinámicos.

El modelo de flujos de información, modelo causal y modelo de flujos y niveles, permitieron el modelado de procesos de la estructura operativa con base en la guía metodológica del PMBOK®. Estas herramientas se seleccionaron por cuanto permitían partir del PMBOK® determinar el modelo teórico-genérico, para el cual se tienen identificados cinco grupos de procesos, 50 subprocesos y 184 atributos, los cuales conforman los cuatro niveles de la estructura operativa.

El modelo de la red compleja temporal permitió estudiar el comportamiento del flujo de información en espacios temporales de tiempo, es una herramienta de las ciencias de la complejidad que permite representar sistemas complejos, en este caso proyectos complejos. Como complemento a la red compleja temporal se utilizó la herramienta de dinámica de sistemas y sistemas dinámicos.

Los sistemas dinámicos se utilizan para analizar el comportamiento de la información y su procesamiento en un tiempo discreto no lineal, en períodos de tiempo cortos.

La dinámica de sistemas se selecciona como herramienta que complementa a la red compleja temporal por dos razones: 1) simular el impacto de diferentes políticas relativas a la situación a estudiar ejecutando simulaciones ¿qué pasaría sí?, permitiendo ver las consecuencias a corto y mediano plazo y comprender cómo los cambios en un sistema lo afectan en el tiempo (Radzicki & Taylor, 2008) y; 2) la dinámica de sistemas permite la intervención de expertos en la programación del que ¿pasaría sí?

CAPÍTULO 6. Resultados de las simulaciones.

6.1. Generalidades

Para llevar a cabo las simulaciones, se trabajó con redes temporales no dirigidas; redes que varían en el tiempo, y cuyos enlaces están activos solo en ciertos momentos del tiempo. Cada enlace lleva información sobre cuándo está activo, junto con otras características posibles, como puede ser el peso. Las redes que varían en el tiempo son de particular relevancia para los procesos de difusión de información, en tanto que cada enlace es una oportunidad de contacto entre dos nodos a través del tiempo que dura dicha conexión.

Las redes temporales proporcionan información relevante para su análisis a través de la duración de las conexiones entre nodos (Tang, 2011).

- 1) Las marcas del tiempo se pueden asociar a un par de nodos (p.e. pueden ser nuevos usuarios, nuevos procesos o procesos que se dejan de ejecutar) y su conexión (p.e. se agrega o se elimina una amistad, se envía un mensaje o se envía información).
- 2) La duración está implícita en estas marcas de tiempo que son alguna forma de duración, por ejemplo, el tiempo que dura una amistad, el tiempo que toma un mensaje para ser enviado y entregado, cuánto tiempo se encuentran dos personas, el tiempo que toma una información para ser enviada y entregada.
- 3) La frecuencia se puede analizar una vez se tenga una lista de marcas de tiempo para una conexión o un nodo; esto puede ayudar a determinar patrones a través de ocurrencias que suceden en las conexiones o los nodos. Además, la periodicidad está presente en ciertos conjuntos de datos, como el tráfico de transporte (p.e. durante la mañana y la tarde, antes y después del trabajo), redes de contacto humano (p.e. reuniones diarias con colegas o familiares) y redes de información (p.e. en fases de planificación o ejecución del proyecto).
- 4) El orden de tiempo se destaca en varios conjuntos de datos donde, por ejemplo, el calendario es importante (sistemas de transporte público y un mensaje o virus que pasa por una red). El orden de tiempo es una pieza importante de información que se pierde en el análisis de redes estáticas. Generalmente, el orden de tiempo puede ser descrito como una dependencia de tiempo entre eventos, por ejemplo, cambiar el orden de los eventos con marca de tiempo tendría un efecto en las métricas definidas en él.
- 5) Además de esto, también se pueden clasificar dos tipos de comportamiento dinámico en el gráfico de la red. En primer lugar, los cambios topológicos a lo largo del tiempo ocurren con fluctuaciones de las conexiones entre los nodos, a medida que comienzan y terminan las reuniones entre las personas o el tráfico avanza y sale de una congestión en las carreteras. En segundo lugar, los cambios impulsados por el proceso son impulsados por algún tipo de intercambio de información, es decir, un mensaje o un virus.

La incorporación de información temporal puede conducir potencialmente a un análisis más preciso de las redes, donde es inherente la información temporal (Tang, 2011), como es el caso de la presente investigación.

El análisis de redes estáticas simplifica el análisis de la red real al ignorar la información de tiempo, pero sigue siendo útil para muchos tipos de análisis donde, por ejemplo, no se requiere información de tiempo o solo se requiere una instantánea para el análisis. En otros casos, el análisis temporal no tendría sentido ya que los cambios serían minuciosos, por ejemplo, la topología de la red eléctrica no cambia con mucha frecuencia. Sin embargo, el análisis de las demandas de tráfico en los cables que transportan energía fluctuarían con frecuencia y en este caso podrían potencialmente beneficiarse del análisis temporal.

Redes evolutivas versus temporales: Las redes en evolución describen la acumulación de nodos y conexiones a lo largo del tiempo. En el modelo evolutivo, la distribución de grados puede ser descrita por una función de ley de potencia, las topologías de red se forman con el tiempo a medida que los nuevos nodos se unen a la red (Barabási, et. al, 1999). Simplemente, se genera un efecto de bola de nieve, donde los nuevos nodos tienen mayor probabilidad de formar un enlace a nodos populares. Esto se usa para explicar, por ejemplo, la estructura de la WWW; a medida que se agregan nuevas páginas web, se hacen hipervínculos a páginas web conocidas. Estas redes en evolución se prestan bien a la estática y dan lugar a resultados como la reducción de diámetros (longitud máxima de la ruta más corta) y a la densificación en el tiempo a medida que se agregan nodos y conexiones a la red (Leskovec, et. al, 2005). Esto es diferente del modelo temporal con fluctuaciones en conexiones y nodos.

Para explicar las diferencias entre una red temporal y una red estática, se debe considerar la secuencia de interacción indicada en la Tabla 10. Estas interacciones podrían representar reuniones entre amigos, actividad entre dos regiones corticales del cerebro o flujo de información en una red informática. A partir de esto, se puede construir el gráfico temporal, (Figura 19) y el gráfico estático correspondiente (Figura 20), donde las interacciones entre un par de nodos definen una conexión.

Tabla 10. Ejemplo red temporal

| N1, N2 | Marca del tiempo | Duración |
|--------|------------------|----------|
| A,B | 1 | 2 |
| C,E | 2 | 1 |
| E,F | 2 | 1 |
| B,D | 3 | 1 |
| C,D | 3 | 1 |

Fuente: Elaboración propia, con las contribuciones de Tang (2011).

En la Tabla 10 se representa la secuencia de interacción de seis nodos. En la primera columna se describe la interacción de un par de nodos, en la segunda columna se define el tiempo de su interacción y en la tercera columna se define la duración de la interacción.

Figura 19. Grafo temporal

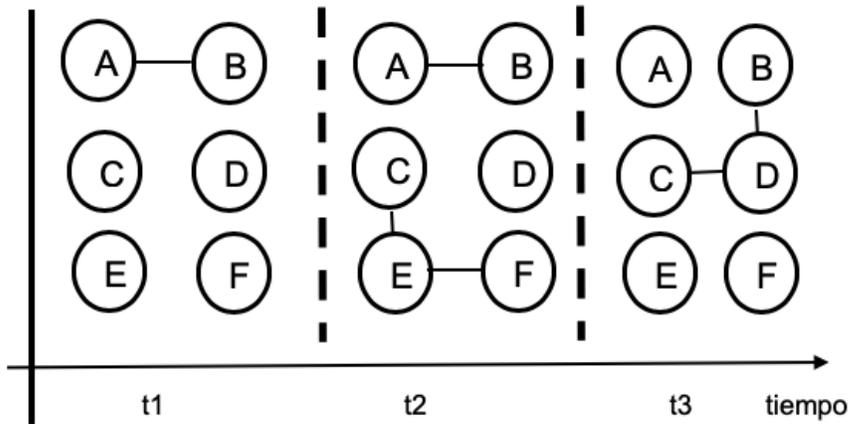
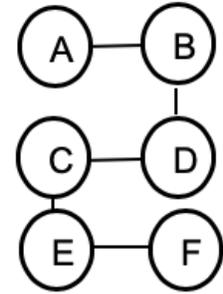


Figura 20. Grafo estático



Fuente: Elaboración propia, con las contribuciones de Tang (2011).

En las figuras 19 y 20 se muestran los beneficios de usar una red temporal, sobre una red estática. Se considera una ruta del nodo A al nodo F; usando la red estática la ruta del nodo A al nodo F está dado (A, B, D, C, E, F). Sin embargo, cuando tomamos en cuenta la información de tiempo en el gráfico temporal, no hay un camino que satisfaga su ruta. Esto se debe al orden de tiempo; la interacción entre la subruta (B, D, C) y (C, E, F) ocurren en el orden de tiempo incorrecto para facilitar la ruta.

6.2. Definiciones

A continuación, se presentan las definiciones sobre redes temporales:

Dado un conjunto de datos de interacción de red del mundo real comenzando en t_{min} y terminando en t_{max} , el gráfico temporal (no dirigido) $G^w(t_{min}, t_{max})$ se define como una secuencia ordenada de gráficos no dirigidos (G_0, G_2, \dots, G_{T-1}) donde:

- $G_t = (V_t, E_t)$ es una tupla de 2 que consta de un conjunto de nodos V_t y conexiones E_t en la ventana t ; E representa la matriz de tuplas que representa las conexiones entre pares de nodos (i, j) : i, j pertenece a E . La red puede tener conexiones binarias, es decir puede estar presente o estar ausente. Para el caso de la presente investigación no se trabajan pesos por cada conexión, siendo G_t binario, la matriz se considera no dirigida.
- Existe un enlace entre el nodo i y el nodo j en E_t , si hay algún enlace en la red real entre i y j durante el intervalo de tiempo $[(t_{min} + (w \times t)), (t_{min} + (w \times (t + 1)))]$
- $\tau - 1 = ((t_{max} - t_{min}) / w) = |G^w(t_{min}, t_{max})|$ es el número de gráficos en la secuencia
- w es la duración de cada ventana de tiempo expresada en algunas unidades de tiempo (por ejemplo, segundos u horas)

- $|E| = \sum_{t=0}^{\tau-1} |E_t|$ como el número total de conexiones en todas las ventanas de la red temporal.

Esta definición puede extenderse al caso de una red temporal dirigida, lo que daría lugar a una secuencia de gráficos dirigidos, donde existe un enlace de i a j en E_t , si hay un contacto de i a j durante el intervalo de tiempo $[(t_{min} + (w \times t)), (t_{min} + (w \times (t + 1)))]$.

Así como se indicó anteriormente, se trabajó con una red temporal no dirigida, a través de la matriz de tuplas pueden surgir diferentes relaciones temporales entre nodos, considere el nodo A y el nodo B, con una posible conexión en un tiempo t .

- El nodo A, temporalmente, se puede conectar con el nodo B, el nodo B no tiene que tener conexión con el nodo A.
- El nodo B, temporalmente se puede conectar con el nodo A, el nodo A no tiene que tener conexión con el nodo B
- El nodo A, temporalmente, se puede conectar con el nodo B y, el nodo B, temporalmente, puede comunicarse con el nodo A, con duraciones diferentes en cada conexión.
- El nodo A, temporalmente, puede estar conectado con el nodo B, sin estar enviando información.
- El nodo A, temporalmente, se comunica con el mismo.
- El nodo B, temporalmente, se comunica con el mismo.
- El nodo A no se comunica con el nodo B
- Si el nodo A está conectado con el nodo B, y el nodo B está conectado con el nodo C, temporalmente, esto no significa que A está conectado con C.

6.3 Medidas para redes temporales

Una vez que se han derivado los t-grafos, se pueden implementar varias medidas para cuantificar el grado y las características del flujo temporal de información a través de la red de trabajo. La atención en la presente investigación se centró en medidas que derivan propiedades temporales en un nivel local (es decir, por nodo o por conexión) o un nivel global.

Se ha limitado el alcance para la tesis para describir solo el caso de t-grafos binarios, no dirigidos y discretos, aunque muchas medidas podrían extenderse a tiempo continuo, conexiones dirigidas y datos no binarios.

Las medidas de redes temporales que se verán como resultado de las simulaciones fueron las siguientes: trayectoria temporal más corta (diámetro), tiempo de contacto, centralidad y accesibilidad y se trabajaron otras medidas importantes: asortatividad, densidad, adyacencia (coeficiente de correlación temporal) y agrupamiento temporal (clustering).

Adicionalmente, los roles de cada nodo fueron analizados a través de la definición de fuerza de nodos. Se definieron los nodos fuertes, débiles y nodos sin uso, identificando así, los

nodos más vulnerables en la red temporal, dependencias de uno frente al otro y nodos inestables.

6.3.1. Concepto: trayectoria temporal más corta

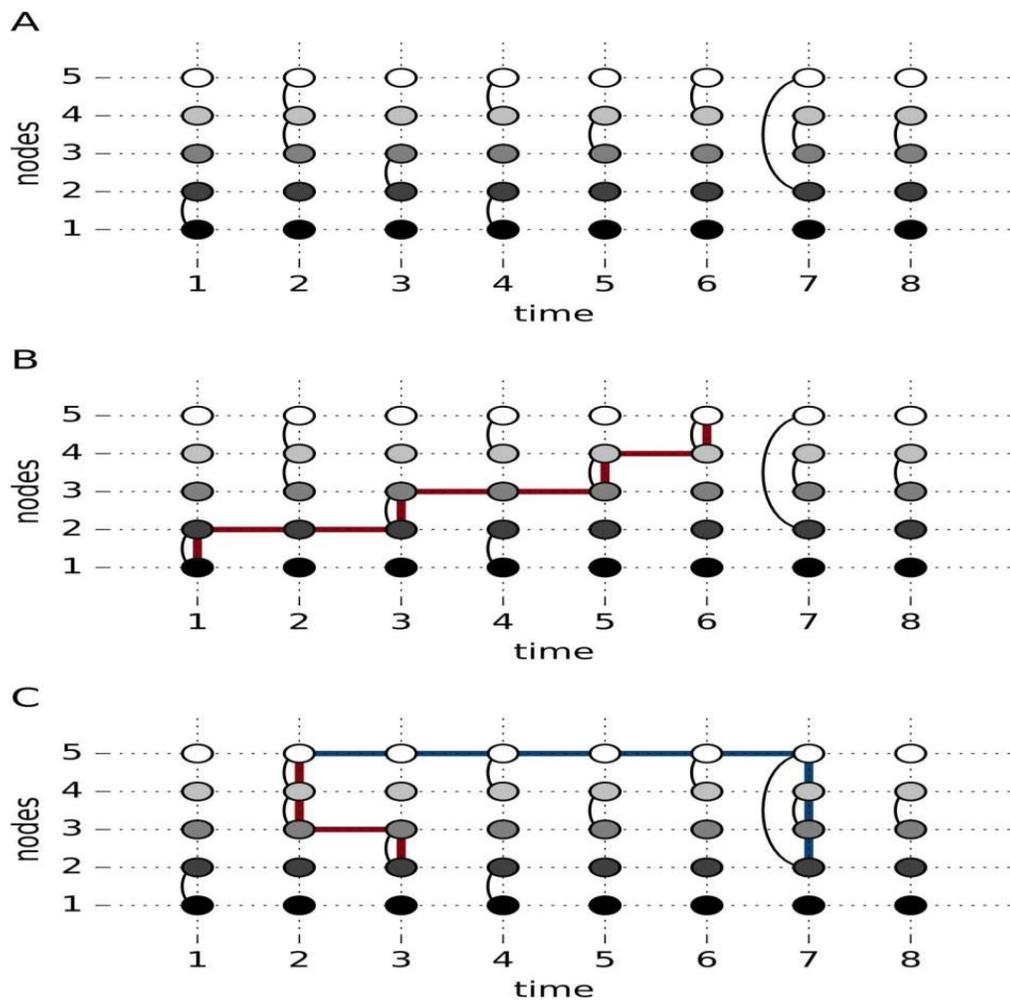
En redes estáticas, la *ruta más corta* es el número mínimo de conexiones (o la suma de los pesos de las conexiones) que se necesita para que un nodo se comunique con otro nodo. Dentro de las redes temporales, se puede cuantificar el tiempo necesario para un nodo comunicarse con otro nodo. Esto a veces se llama el "tiempo más corto de distancia" o "tiempo de espera". Las rutas temporales se pueden medir de manera diferente calculando cuántas conexiones se recorren o cuántos pasos de tiempo se toman (Masuda & Lambiotte, 2016).

En la Figura 21, se pueden observar diferentes trayectorias temporales, las más cortas, entre nodos.

En la Figura 21A el nodo 1 alcanza al nodo 2 en una unidad de tiempo, en un tiempo que es el más corto.

La ruta temporal para que el nodo 1 alcance el nodo 5 es de cinco unidades de tiempo (Figura 21B, línea roja). Las rutas temporales nunca pueden viajar en conexiones desde un punto de tiempo anterior (es decir, hacia atrás en el tiempo), pero es posible visitar varias conexiones en cada paso de tiempo. Por lo tanto, es necesario determinar cuántas conexiones se pueden recorrer en cada punto de tiempo. Por ejemplo, el nodo 5 en el punto de tiempo 2 puede alcanzar el Nodo 3 en un solo paso si se permite que viajen múltiples conexiones (Figura 21B, línea roja). Si no se pueden recorrer múltiples conexiones, entonces el camino más corto para que el nodo 5 llegue al nodo 2, comenzando en el punto de tiempo 2, son cinco unidades de tiempo (Figura 21C, línea azul). Por lo tanto, se debe establecer un parámetro que restringe cuántas conexiones por punto de tiempo pueden viajar. Este parámetro debe depender de la resolución temporal de los datos y se elige de acuerdo a la dinámica de los datos.

Figura 21. Concepto de trayectoria temporal más corta



Fuente: Hedley et. al (2017)

También es posible definir diámetro temporal como la máxima distancia entre cualquier par de nodos de la red temporal, de la siguiente manera:

$$D = \max_{ij} d_{ij}, \text{ en donde:}$$

i y j son un par de nodos

d , es la distancia entre un par de nodos

6.3.2. Concepto: tiempo de contacto

Se define como el tiempo entre dos nodos en una conexión directa. En la Figura 21A, los tiempos de contacto entre los nodos 4 y 5 se convierten en una lista de tiempos, ya que hay conexiones presentes en los puntos de tiempo 2, 4 y 6.

6.3.4. Concepto de medida nodal: Centralidad temporal

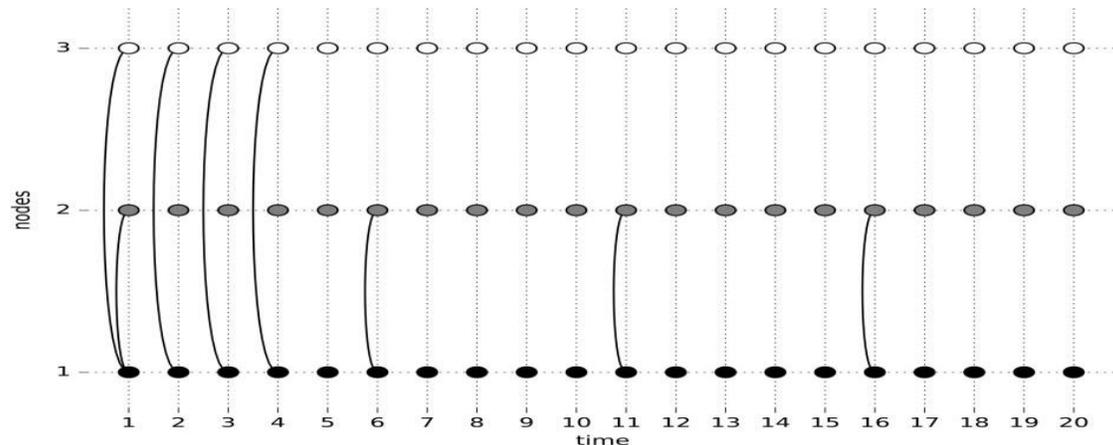
La influencia de un nodo en una red temporal se puede calcular de manera similar a la centralidad de grado en el caso estático, donde se calcula la suma de las conexiones de un nodo. La diferencia de su contraparte estática es que también sumamos el número de aristas a lo largo del tiempo. Formalmente, el grado de centralidad para una red temporal, D^T , para un nodo i se calcula como:

$$D_i^T = \sum_{j=1}^N \sum_{t=1}^T A_{i,j}^t$$

Donde T es el número de puntos de tiempo, N es el número de nodos y $A_{i,j}^t$ es un grafo.

Si bien proporciona una estimación de cuán activo o central es un nodo en una red temporal, la centralidad de grado temporal no cuantifica el orden temporal de las conexiones. Esto se ilustra en la Figura 22, donde el nodo 3 y el nodo 2 tienen centralidades de grado temporal idénticas, a pesar de tener un orden temporal muy diferente de sus conexiones.

Figura 22. Ejemplo de una red temporal que ilustra la diferencia conceptual entre centralidad de grado temporal y centralidad de proximidad temporal.



Fuente: Hedley et al. (2017)

6.3.5. Concepto de medida nodal: Centralidad de proximidad temporal

Una medida de centralidad que considera el orden temporal es la centralidad de proximidad temporal (Pan y Saramäki, 2011). Esta es una extensión de la centralidad de cercanía estática, que es la suma inversa de los caminos más cortos. La centralidad de proximidad temporal se calcula como:

$$C_{i,t}^T = \frac{1}{N-1} \sum_{j=1}^N \frac{1}{d_{i,j}^T}$$

donde $d_{i,j}^T$ es la ruta más corta promedio entre los nodos i y j en todos los puntos de tiempo para los cuales existe un camino más corto. Como en la contraparte estática, si un nodo

tiene rutas temporales más cortas que otros nodos, tendrá una mayor centralidad de proximidad temporal.

La Figura 22 muestra una secuencia temporal de conectividad entre tres nodos sobre 20 puntos de tiempo. Las centralidades de grado temporal son idénticas tanto para el nodo 2 como para el nodo 3, mientras que la centralidad de grado para el nodo 1 es dos veces mayor. El nodo 2 tiene la mayor centralidad de proximidad temporal, ya que el tiempo entre conexiones es más largo para el nodo 2 que para el nodo 3, que tiene el valor más bajo de centralidad de proximidad temporal.

6.3.6. Concepto de medida global: Latencia de accesibilidad

Las medidas de accesibilidad se centran en estimar el tiempo necesario para "alcanzar" los nodos en un momento en la red. Según Holme (2005), tanto en la *relación de accesibilidad*, como el *tiempo de accesibilidad* son medidas usadas en redes temporales.

La relación de accesibilidad es el porcentaje de conexiones que tienen una ruta temporal que los conecta. El tiempo de accesibilidad es la longitud promedio de todos los caminos temporales.

Se define una medida de accesibilidad, *latencia de accesibilidad*, que cuantifica el tiempo promedio que le toma a una red temporal alcanzar una definición de accesibilidad definida a priori.

Esto se define como:

$$R_r = \frac{1}{TN} \sum t \sum_i d_{i,k}^t$$

donde d_i^t es un vector ordenado de longitud N de las rutas temporales más cortas para el nodo i en el punto de tiempo t . El valor k representa el elemento $[rN]$ -ésimo en el vector, que es el producto redondeado de la fracción de nodos a los que se puede llegar, r , siendo N el número total de nodos en la red.

En el caso de $r = 1$, (es decir, se puede acceder al 100% de los nodos), la ecuación anterior puede reescribirse como sigue:

$$R_1 = \frac{1}{TN} \sum t \sum_i \max_j d_{i,j}^t$$

La ecuación anterior se denomina *diámetro temporal* de la red (Nicosia y col., 2013).

6.3.7. Medida de superposición topológica promedio

Estima la probabilidad de que una conexión de i a uno de sus vecinos j persista a través de dos ventanas de tiempo consecutivas. En una palabra, es una medida del *agrupamiento temporal* de conexiones, es decir, de su tendencia a persistir a través de múltiples ventanas.

6.3.8. Modelo de simulaciones

El modelo de simulaciones se construye a partir de los modelos anteriores: modelo mental, modelo conceptual y modelo teórico-genérico, cuyo tratamiento es de la complejidad restringida.

Para las simulaciones se plantea un caso general (primera y segunda simulación) y un caso particular (tercera y cuarta simulación).

Para el caso general, se parte del PMBOK® interpretándolo bajo las siguientes características: procesos/subprocesos no lineales, dinámicos y con comportamientos emergentes, a través de factores exógenos (previsibles/no previsibles) y novedades (no previsibles).

Para el caso particular, el caso de estudio seleccionado es un proyecto complejo que, de acuerdo a la especificidad, se determinaron las herramientas para hacer la hibridación, teniendo en cuenta dos estructuras: estructura operativa (sistema complejo de indicadores) y la estructura de organización temporal (sistema complejo adaptativo).

Es un proyecto de infraestructura vial desarrollado en el departamento de Caldas, cuya gestión estuvo a cargo de Inficaldas (entidad descentralizada del orden departamental). Este proyecto hace parte de un proyecto mayor en donde se intervienen cinco vías en diferentes zonas del departamento de Caldas, cuyos factores que incrementaron su complejidad fueron: la toma de decisiones, los actores o interesados, las restricciones dadas, los requerimientos, el tipo de financiamiento de la obra, los diseños y los riesgos.

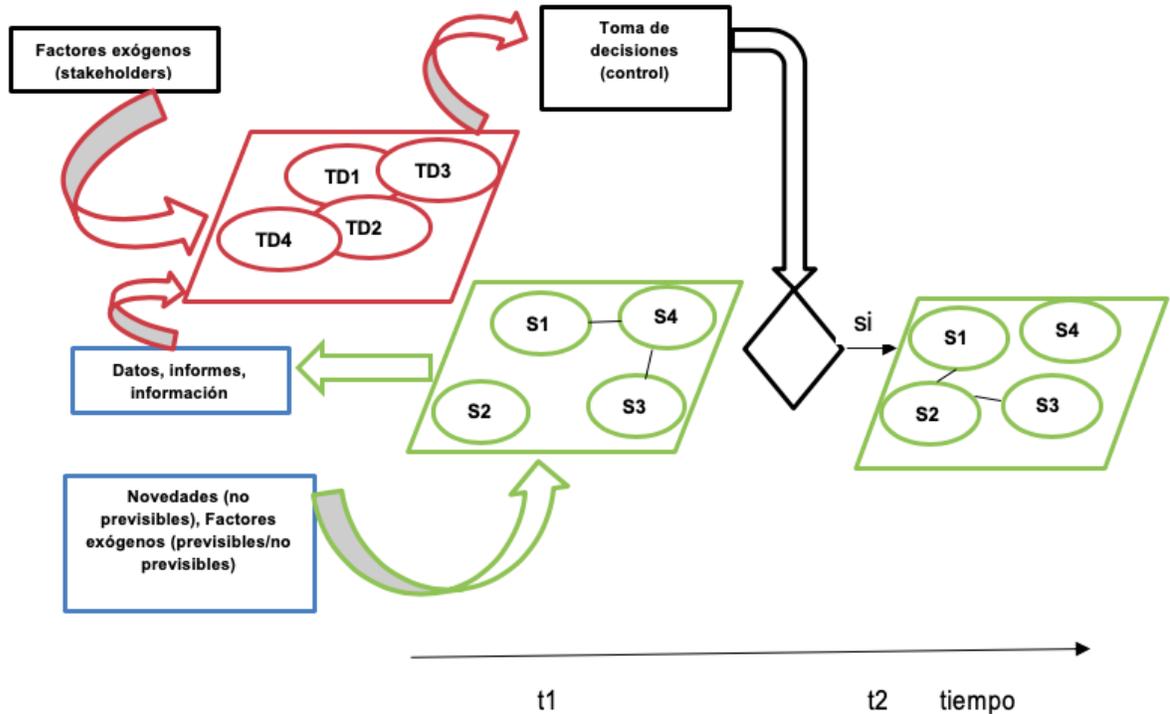
Con base en lo anterior es un proyecto complejo que puede ser estudiado a través del modelo teórico-genérico y el modelo de simulación. Los factores que definieron que se trataba de un proyecto complejo fueron las siguientes:

1. Costos totales de todo el proyecto: 34MM, el tramo de vía estudiado tuvo un costo de 8MM.
2. Duración total del proyecto: 3 años, el tramo de vía estudiado tuvo una duración de 14 meses.
3. Número de recursos humanos asignados al proyecto específico: 200 personas.
4. Fuente de financiación: sistema general de regalías (SGR) y la gobernación del departamento de Caldas.
5. Contratación con ejecutores, interventores y supervisores a través de la plataforma SECOP II (primer proyecto en Colombia de infraestructura vial, que fue licitado a través de dicha plataforma, utilización de pliegos tipo).
6. Número de interesados y diversidad de los mismos (gobierno departamental, gobierno municipal, gobierno nacional, planeación nacional, SGR, entes de control regionales y nacionales, comunidad beneficiaria o afectada por la obra, tipo de comunidad a la que iba dirigida el proyecto, transportadores, comerciantes de la zona, población flotante visitante, Inficaldas (entidad ejecutora), sociedad de ingenieros civiles, contratistas, proveedores, recurso humano en general, entre otros).
7. Interdependencias de los interesados: entre otros aspectos se encontraron intereses diferentes hacia el proyecto y a su vez algunos grupos pertenecían a otros sistemas que podían influir sobre el proyecto.

8. Impactos ambientales y sus limitaciones: permiso con la autoridad ambiental y restricciones de normatividad.
9. Cambios organizacionales, conformación organización temporal (sistema complejo adaptativo), la gestión del proyecto era adaptativa.
10. Tamaño del alcance.
11. Interdependencia de actividades.
12. Disponibilidad del recurso humano, de materiales y equipos.
13. Contexto político y legal: cumplimiento compromisos Plan de desarrollo 2016-2019, departamento de Caldas. Cumplimiento requisitos SGR. Cumplimiento normatividad en contratación estatal.
14. Factores culturales y sociales: afectos a la zona de intervención, diversos y con intereses diferentes.
15. Importancia estratégica del proyecto: hizo parte del plan de desarrollo del departamento de Caldas y para la conectividad de la región.
16. Interacción con otros proyectos: Pacífico III y proyecto Aerocafé.

Cuando se menciona que los proyectos complejos pueden ser estudiados como sistemas complejos adaptativos, es porque la estructura de la organización temporal a través de la toma de decisiones puede llevar a cabo una gestión adaptativa del proyecto en un tiempo t . En la Figura 23 puede observarse como ejemplo, dos conjuntos de nodos: nodos de la estructura de la organización temporal, el conjunto de tomadores de decisiones (TD1, TD2, TD3, TD4), del sistema complejo adaptativo, y, el conjunto de nodos de la estructura operativa, el conjunto de subprocesos (S1, S2, S3, S4), del sistema complejo de indicadores, en un tiempo " t ", con conexiones de (S1, S4, S3). En un tiempo t_2 pueden tomarse decisiones que obliguen a cambiar de estado el sistema complejo de indicadores, con conexiones (S1, S2 y S3), adaptándose de acuerdo a: factores exógenos, novedades o factores endógenos que conducen a una toma de decisiones en el proyecto complejo.

Figura 23. Red temporal adaptativa



Fuente: Elaboración propia.

La estructura de la organización temporal se simuló a través de factores endógenos como: disponibilidad de recursos humanos, rendimientos, reprocesos por mala calidad, ausentismo, aprendizaje, incentivos, motivación del personal, experiencia del personal, fatiga del personal, demoras de llegada de equipos, presupuesto, suministro de materiales, entre otros. Estos factores se simularon con la asignación de valores aleatorios entre 0 y 1, por cada unidad de tiempo de medición de la ejecución del proyecto, teniendo en cuenta una toma de decisiones simulada, para determinar la incidencia de los mismos en la dinámica de cada nodo de la red compleja temporal, a través de la asignación de pesos entre 1 y 12.

De igual forma se tuvo en cuenta novedades y/o factores exógenos que afectan el desempeño de la estructura operativa, como: clima, aspectos ambientales, índice de precios, cadena de suministros, imprevistos, diseño y otros. Estos factores se simularon con la asignación de valores aleatorios entre 0 y 1, por cada unidad de tiempo de medición de la ejecución del proyecto, para igualmente determinar su incidencia en la dinámica de cada nodo de la red temporal.

En la primera simulación se incluyó una prueba de adaptabilidad en probar las consecuencias de eliminar un nodo de la red temporal.

6.4. Primera simulación: Simulación de procesos con base en el modelo teórico-genérico

Por cada grupo de procesos identificados en el modelo teórico-genérico (inicio, planificación, ejecución, monitoreo y control y cierre), se identifican los subprocesos y sus entradas y salidas (que a su vez será un nodo de la red compleja).

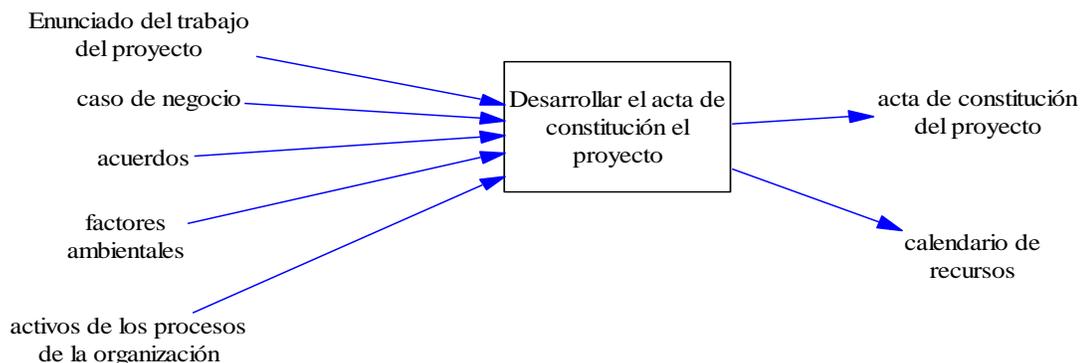
a) Los subprocesos de los procesos de inicio y planificación son 26:

desarrollar el acta de constitución del proyecto
 identificar a los interesados
 desarrollar el plan para la dirección
 planificar la gestión del alcance
 recopilar requisitos
 definir el alcance
 crear la EDT/WBS
 planificar la gestión del cronograma
 definir las actividades
 secuenciar las actividades
 estimar los recursos de las actividades
 estimar la duración de las actividades

desarrollar el cronograma
 planificar la gestión de los costos
 estimar los costos
 determinar el presupuesto
 planificar la gestión de la calidad
 planificar la gestión de recursos humanos
 planificar la gestión de las comunicaciones
 planificar la gestión de los riesgos
 identificar los riesgos, análisis cualitativo
 identificar los riesgos, análisis cuantitativo
 planificar la respuesta a los riesgos
 planificar la gestión de las adquisiciones
 planificar la gestión de los interesados

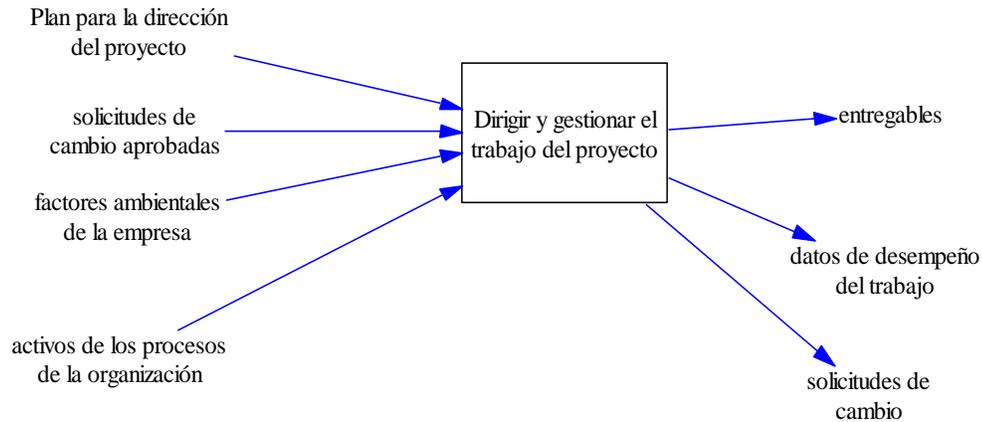
En la Figura 24 se muestra el proceso de inicio y uno de sus subprocesos.

Figura 24. Proceso inicio, subproceso desarrollar el acta de constitución del proyecto.



Fuente: Elaboración propia, con las contribuciones del PMBOK® 2013.

b) Los subprocesos del proceso de ejecución son ocho: dirigir y gestionar el trabajo del proyecto, realizar el aseguramiento de la calidad, adquirir el equipo del proyecto, desarrollar el equipo del proyecto, dirigir el equipo del proyecto, gestionar las comunicaciones, efectuar las adquisiciones, gestionar la participación de los interesados (ver Figura 25).

Figura 25. Proceso ejecución, subproceso dirigir y gestionar el trabajo del proyecto.

Fuente: Elaboración propia, con las contribuciones del PMBOK® 2013.

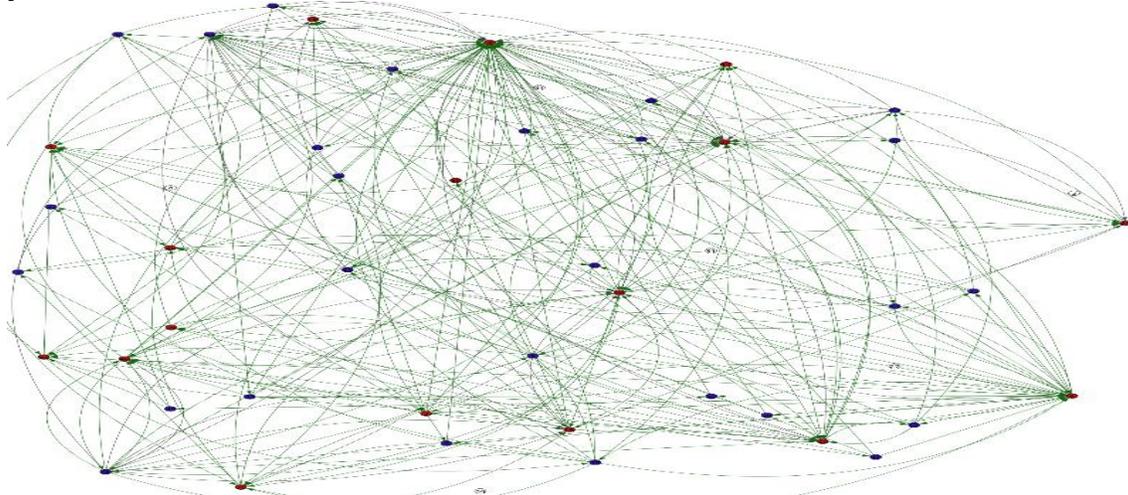
- c) Los subprocesos del proceso de monitoreo y control son once: monitoreo y control del trabajo del proyecto, realizar el control integrado de cambios, validar el alcance, controlar el alcance, controlar el cronograma, controlar los costos, controlar la calidad, controlar las comunicaciones, controlar los riesgos, controlar las adquisiciones, controlar la participación de los interesados.
- d) Los subprocesos del proceso de cierre son dos: cerrar el proyecto o fase, cerrar el proyecto o fase (adquisiciones).
- e) Se adicionan tres procesos nuevos, adicionales a los definidos por el PMBOK®: repositorio (contendrá la información del proyecto), exógena (variables conocidas del entorno), novedades (variables no conocidas). Estos tres subprocesos complementan los cinco definidos por el PMBOK®; son necesarios para almacenar la información generada a través de la dinámica de la red compleja, el proceso de exógena y endógena permite simular la influencia de las variables controlables internas al proyecto y las externas no controlables al proyecto, lo que permitió analizar los cambios de estado y los cambios del sistema de parámetros del proyecto.
- f) Se identifican relaciones principales (las que se originan desde una variable exógena) y relaciones secundarias (derivadas de las principales, se originan desde una variable endógena o exógena transmitida de otro subproceso) que pudieran darse entre los diferentes subprocesos, lo que se ha denominado como redes secundarias que se activan para actualizar los nodos respectivos.
Las relaciones se establecen bajo el principio de relacionamiento óptimo, buscando eficiencias en las conexiones y eliminar la redundancia de las mismas (no volver a un nodo si este ya ha sido actualizado previamente), con una distribución uniforme para fijar un tiempo aleatorio para simular el proceso de cada nodo y la duración de la relación entre nodos. Se muestran ejemplos en las Figuras 26, 27 y 28, proceso de inicio, subproceso: desarrollar el acta de constitución del proyecto, y mediante la Figura 29 se muestra el proceso de inicio y planificación.
- g) Se establece con colores la dinámica de cada nodo y la dinámica de las conexiones (Tabla 11).

Tabla 11. Identificación nodos y estados

| Color (nodos) | Estado |
|--------------------|------------------------|
| Verde | Pendiente |
| Azul | Enviando información |
| Amarillo | Recibiendo información |
| Rojo | Procesando información |
| Color (conexiones) | |
| Morado | Enviando información |
| Negro | No activa |
| Verde | Conexión pendiente |

Fuente: Elaboración propia.

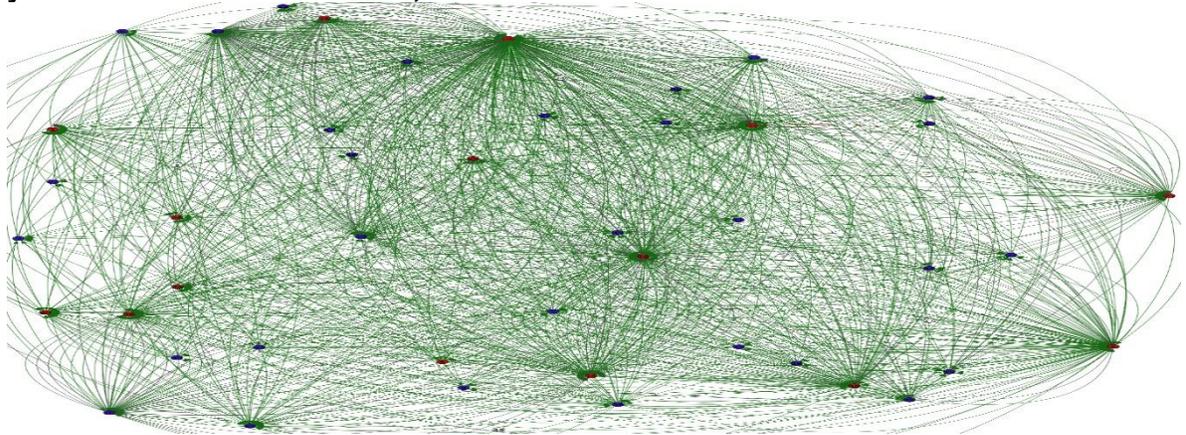
Figura 26. Proceso inicio, subprocesso desarrollar el acta de constitución del proyecto y relaciones con otros nodos, secuencia inicial.



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 26 se muestra cómo la red compleja comienza a establecer las diferentes relaciones entre los subprocessos del proceso de inicio que se activan con base en las variables exógenas que van llegando al proyecto, en un tiempo t' o tiempo transcurrido desde el inicio de la simulación; como se indicó, la simulación tuvo una duración calculada a través de una distribución uniforme. Se demuestra con ello el nivel de complejidad en términos de relaciones que se establecen en un tiempo dado y la cantidad de variables que se relacionan entre sí.

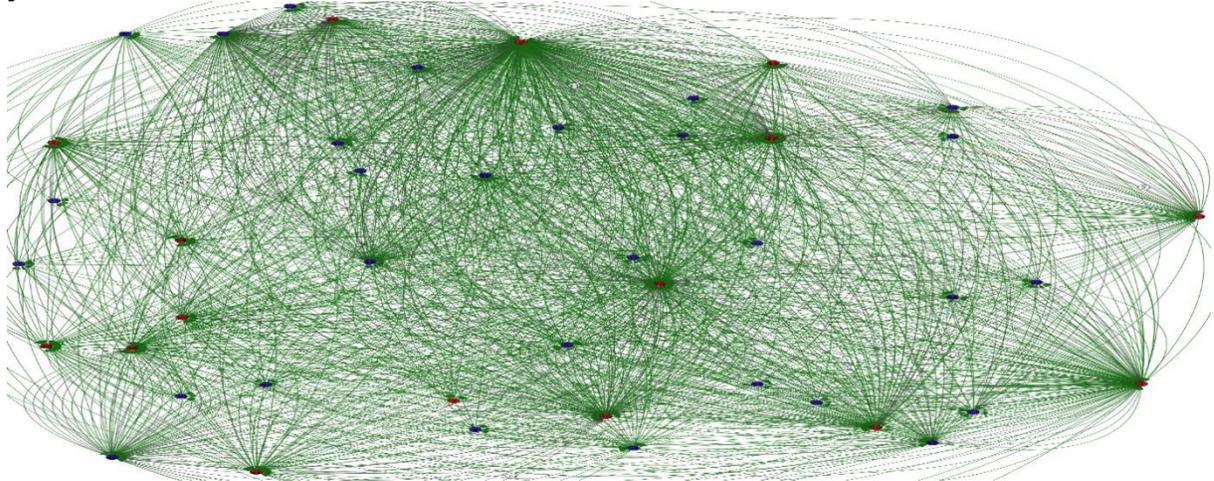
Figura 27. Proceso inicio, subprocesso desarrollar el acta de constitución del proyecto y relaciones con otros nodos, secuencia intermedia.



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 27 se muestra como se establecen relaciones principales y secundarias en un tiempo t' o tiempo transcurrido del inicio de la simulación.

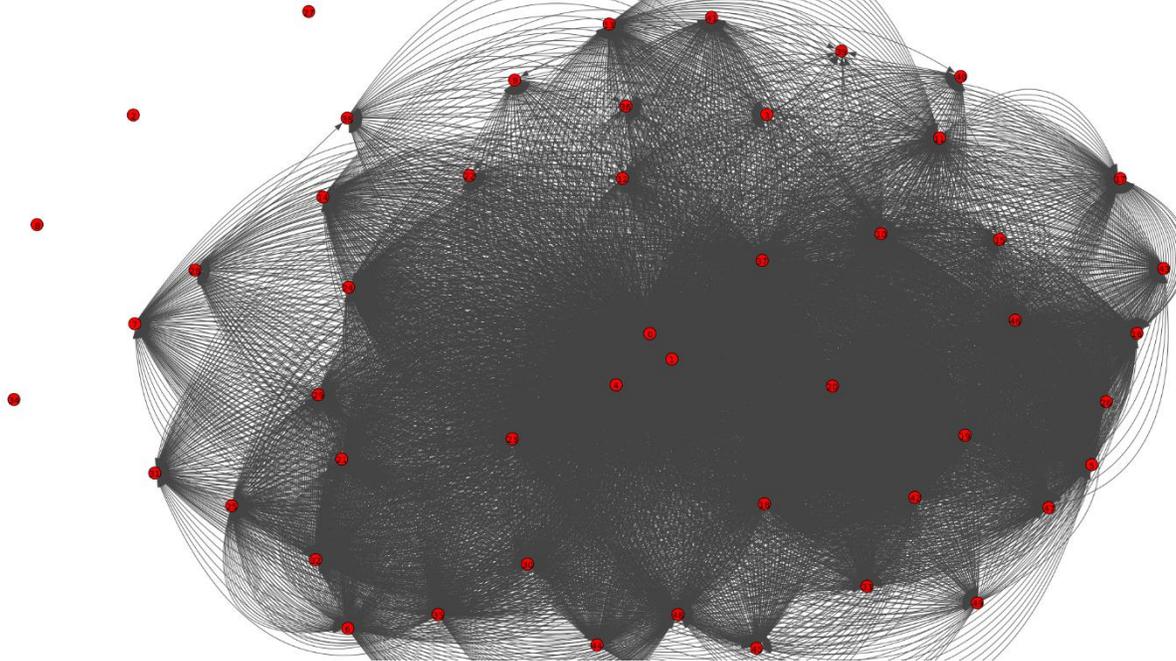
Figura 28. Proceso inicio, subprocesso desarrollar el acta de constitución del proyecto y relaciones con otros nodos, secuencia final.



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 28 se muestran las relaciones principales y secundarias al finalizar la simulación. Están activas las relaciones que provienen directamente de una variable exógena y del paso de información de dichas variables a los otros procesos y subprocessos de la red compleja.

Figura 29. Red compleja de subprocesos, proceso de inicio y planificación.



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 29 se observan los nodos/subprocesos que se conectan durante los procesos de inicio y planificación, la simulación se observa en un tiempo t' , después del tiempo de inicio de la gestión del proyecto.

En la medida que se vayan incluyendo subprocesos (para el caso de los procesos de inicio y planificación), el número de relaciones que se establecen en la red compleja es mayor, generando con ello un nivel mayor de complejidad.

Modelado y simulación de nodos/subprocesos.

1) Descripción del modelo de conexiones entre subprocesos:

Cada nodo de la red compleja es en sí mismo la representación de un subproceso, estos se ven afectados por información que le llega y afecta otros nodos al enviar información, generando las relaciones entre los diferentes nodos de la red compleja.

Tomemos el nodo desarrollar el acta de constitución del proyecto del proceso de inicio.

- Nodos fuentes, que le pueden enviar información:
 - nodo exógeno
 - nodo análisis cualitativo de riesgos
- Nodos salida, al que le envía información:
 - nodo repositorio
 - desarrollar el plan para la dirección
 - planificar la gestión del alcance
 - recopilar requisitos
 - definir el alcance
 - planificar la gestión del cronograma

planificar la gestión de los costos
 planificar la gestión de los riesgos
 identificar los interesados

Cuando el nodo desarrollar el acta de constitución del proyecto sea activado por un nodo fuente, una vez procese la información recibida, este activará los procesos de salida. Estos procesos de salida a su vez podrán activar otros procesos con los cuales tenga alguna relación en la red compleja. Para tal fin se modelan no solamente la relación con los nodos salida sino también con la secuencia de nodos secundarios definidos.

2) Determinación de los parámetros de la simulación:

- Se determinan los 50 subprocesos tomando como base el PMBOK®.
- Se parte del supuesto de que existe información completa del proyecto en la fase de planificación y a su vez se llevan a cabo la fase de ejecución, monitoreo y control y cierre.
- No se tiene en cuenta un proyecto específico, la simulación evalúa el comportamiento de la gestión de proyectos con la información definida por el PMBOK®.
- Cada nodo es codificado con un número para facilitar el proceso de simulación.
- A través de la identificación de colores se puede establecer la dinámica de cada nodo y la dinámica de las conexiones (Tabla 12).
- El tiempo de proceso de cada nodo y la duración de la conexión entre dos nodos, está determinado por una distribución uniforme discreta, tomando valores aleatorios en un rango finito entre 2 y 11 como unidades de tiempo.
 La distribución uniforme discreta describe el comportamiento de una variable discreta que puede tomar "n" valores distintos con la misma probabilidad cada uno de ellos. Esta distribución asigna igual probabilidad a todos los valores enteros entre el límite inferior y el límite superior que definen el recorrido de la variable.
- Las conexiones se simulan de manera concurrente, cuando el nodo fuente llega a varios destinos o cuando el nodo destino tiene varias salidas.
- Las fases de la gestión de proyectos se simulan en la siguiente secuencia: planeación, ejecución, monitoreo y control y finalmente la de cierre.

Para ilustrar lo anterior se toma el subproceso desarrollar el acta de constitución del proyecto, se utiliza un identificador numérico para facilitar la simulación (ver Tabla 12).

Tabla 12. Fuente, Destino y Salidas del subproceso desarrollar el acta de constitución del proyecto.

| FUENTE | DESTINO | SALIDA |
|---|---------------------------------------|---|
| Exógeno (1) Análisis cualitativo de riesgos (38) | Acta de constitución del proyecto (3) | Repositorio (0), desarrollar el plan para la dirección (4), planificar la gestión del alcance (9), recopilar los requisitos (10), definir el alcance (11), planificar la gestión del cronograma (15), planificar la gestión de los costos (22), planificar la gestión de los riesgos (36), identificar los interesados (46) |

Fuente: Elaboración propia.

Lo anterior se interpretó así: (ver Tabla 13)

Tabla 13. Ejemplo de identificadores para fuente, destino y salida.

| FUENTE | DESTINO | SALIDA |
|--------|---------|--------------------------|
| 1;38; | 3; | 0;4;9;10;11;15;22;36;46; |

Fuente: Elaboración propia.

Y a su vez cada nodo de salida, podría conectarse con otros nodos y así sucesivamente, hasta que se complete la actualización/modificación de la información que tiene relación. Por ejemplo, tomemos una muestra del nodo 4 (que está como nodo de salida), al ser actualizado/modificado, este se conecta con los nodos destinos y estos a su vez con los nodos salida y así sucesivamente hasta lograr actualizar/modificar toda la información relacionada (ver Tabla 14).

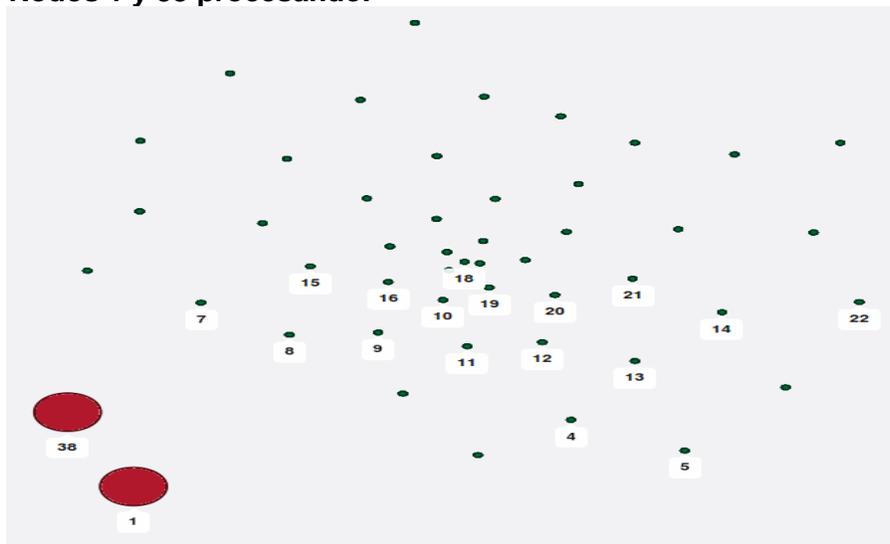
Tabla 14. Ejemplo de identificadores para fuente, destino y salida.

| FUENTE | DESTINO | SALIDA |
|--------|---------|--------|
| 4; | 9; | 0; |
| 4; | 15; | 0; |
| 4; | 45; | 0; |
| 4; | 45; | 1; |

Fuente: Elaboración propia.

La dinámica tanto de los nodos como de las conexiones muestra los diferentes estados del sistema, a continuación, se muestra dicha dinámica a través de la red compleja, ver Figura 30, 31, 32 y 33.

Figura 30. Nodos 1 y 38 procesando.

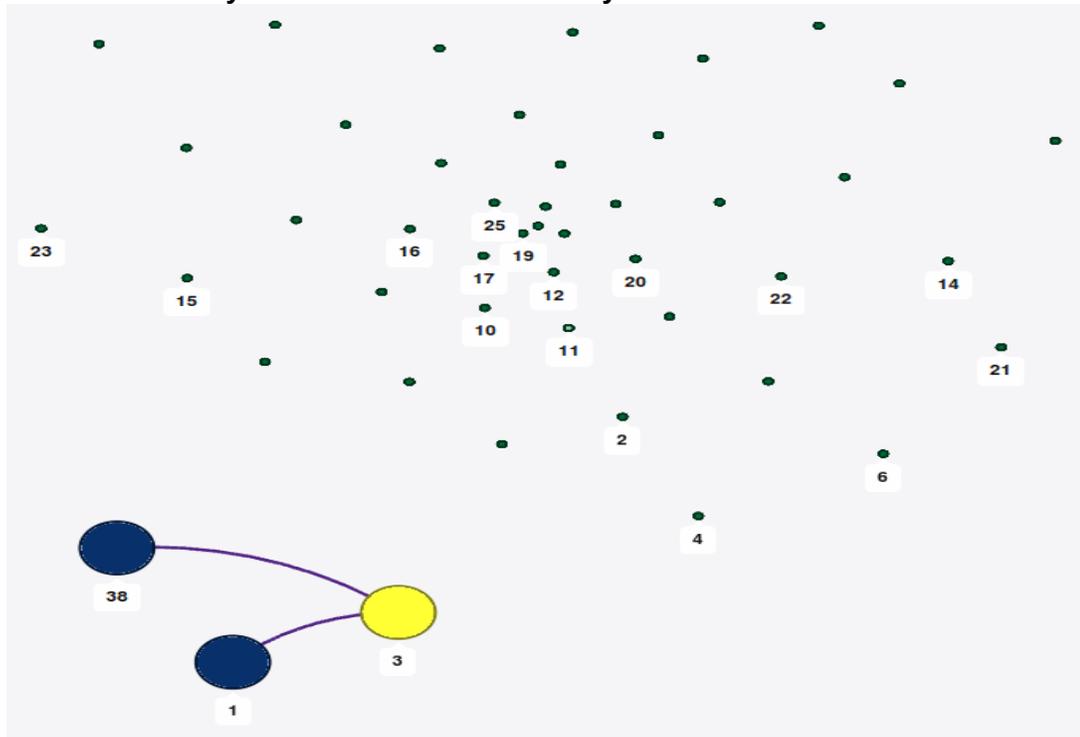


Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 30 se muestra el nodo 1 (exógeno) y 38 (análisis cualitativo de riesgos), estos nodos por encontrarse en color rojo indican que están procesando información y el resto de nodos se encuentran en color negro lo que indica que están en nodo inactivo. Para la

simulación se determina que ambos nodos reciben información de manera concurrente, por lo que se activan al mismo tiempo.

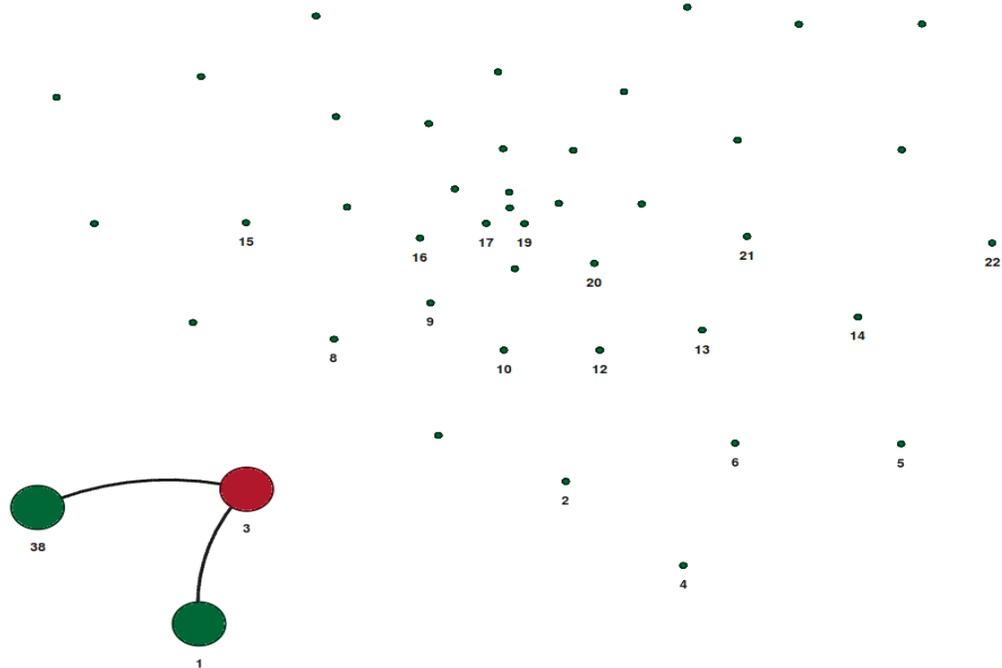
Figura 31. Nodos 1 y 38 enviando información y nodo 3 recibiendo.



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 31 se muestran el nodo 1 (exógeno) y el nodo 38 (análisis cualitativo de riesgos) en estado de envío de información al nodo 3 (subproceso acta de constitución del proyecto). La conexión está de color morado, lo que indica que se está enviando información. El resto de nodos permanece en color negro indicando que se encuentran inactivos.

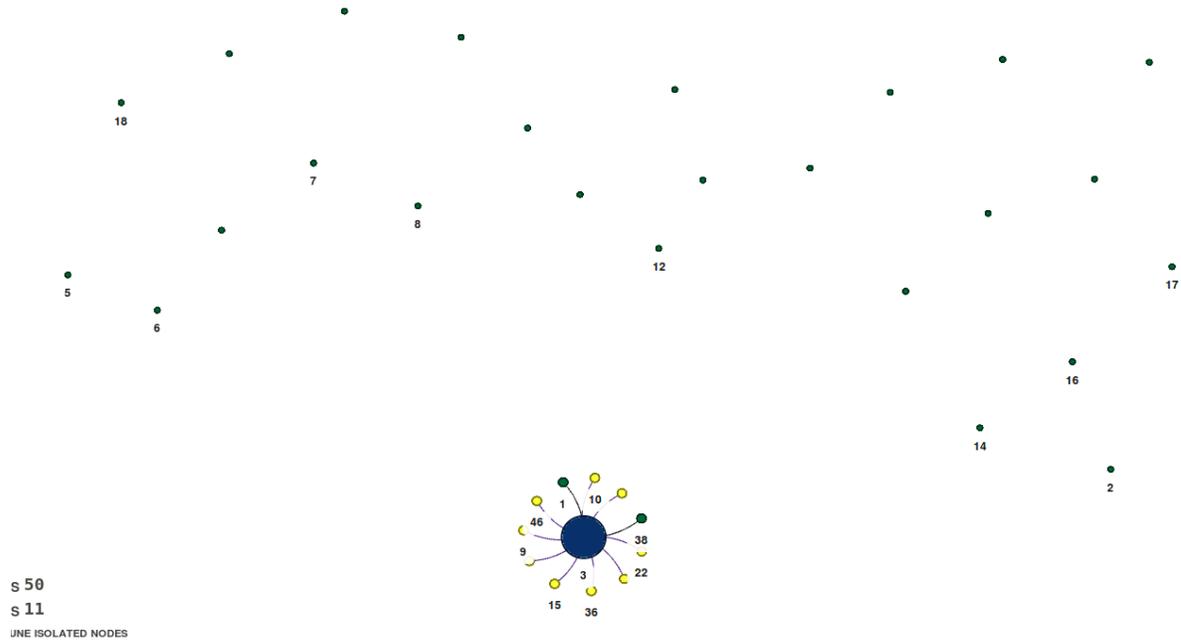
Figura 32. Nodos 1 y 38 en espera y nodo 3 procesando.



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 32 se muestran el nodo 1 (exógeno) y el nodo 38 (análisis cualitativo de riesgos) en estado de pendiente y el nodo 3 (subproceso acta de constitución del proyecto) se encuentra en estado de procesando información.

La conexión está de color negro, indica que se está en estado de inactiva. El resto de nodos permanece en color negro indicando que se encuentran inactivos.

Figura 33. Nodo 3 enviando información a nodos.

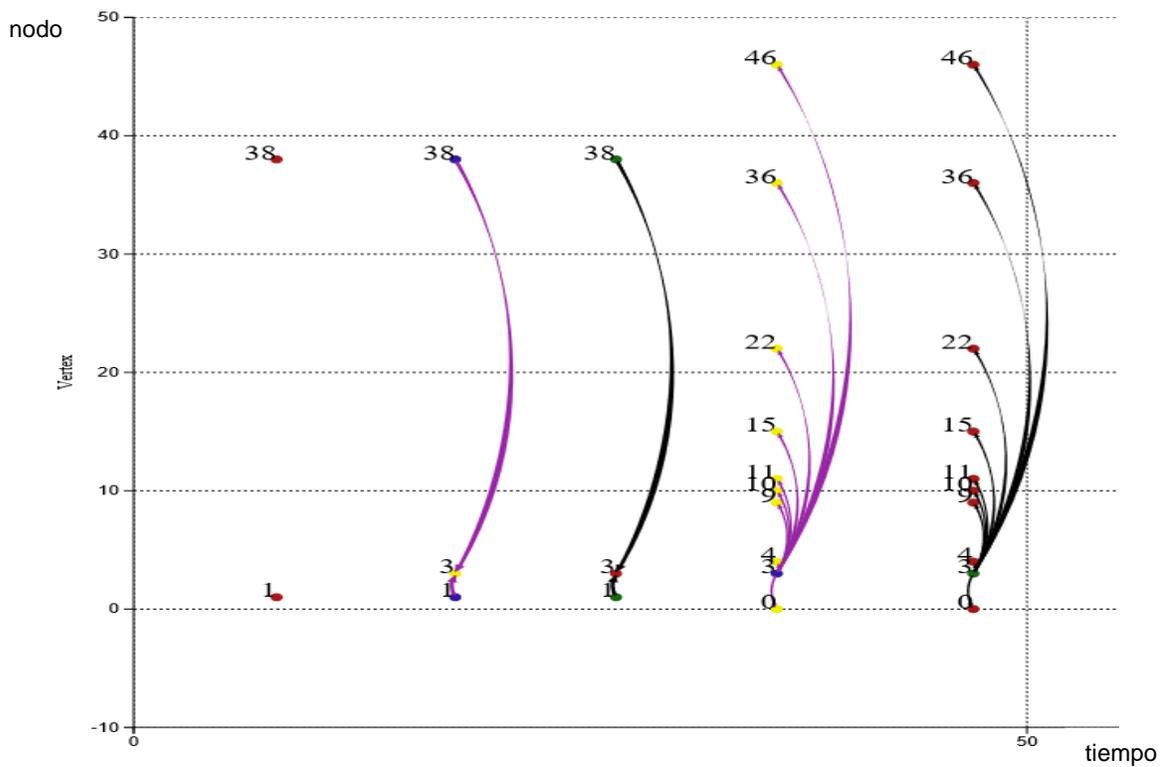
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 33 se puede apreciar el cambio de estados con base en la dinámica de los nodos y la dinámica de las aristas. Para el ejemplo se inicia con la activación de los nodos 1 y 38 que procesan información una vez la reciben (color rojo), luego establecen conexión con el nodo 3 y al hacerlo el nodo 1 y 38 envía información (color azul) y el nodo 3 recibe información (color amarillo), con una conexión activa (color morado) y luego el nodo 3 procesa la información recibida (color rojo) y así sucesivamente hasta establecer las conexiones dispuestas para el procesamiento de información.

Otra forma de ver la dinámica de los nodos y de las conexiones, es la que se observa en la Figura 29.

- Estado inicial: el nodo 1 y 38 de manera concurrente procesan información (color rojo) en una unidad de tiempo determinada por la distribución uniforme discreta.
- Estado siguiente: el nodo 1 y 38 envían información (color azul), el nodo 3 recibe información (color amarillo) y la conexión entre nodos 1-3 y 38-3 está activa (color morado).
- Estado siguiente: el nodo 3 procesa información (color rojo), el nodo 1 y 38 están a la espera (color verde) y la conexión 1-3 y 38-3 se desactiva (color negro).
- Y así sucesivamente.

Figura 34. Dinámica de los nodos y las conexiones.



Fuente: Elaboración propia.

3) Resultados y discusión de la simulación de la red compleja de subprocessos.

Los resultados de la simulación fueron los siguientes:

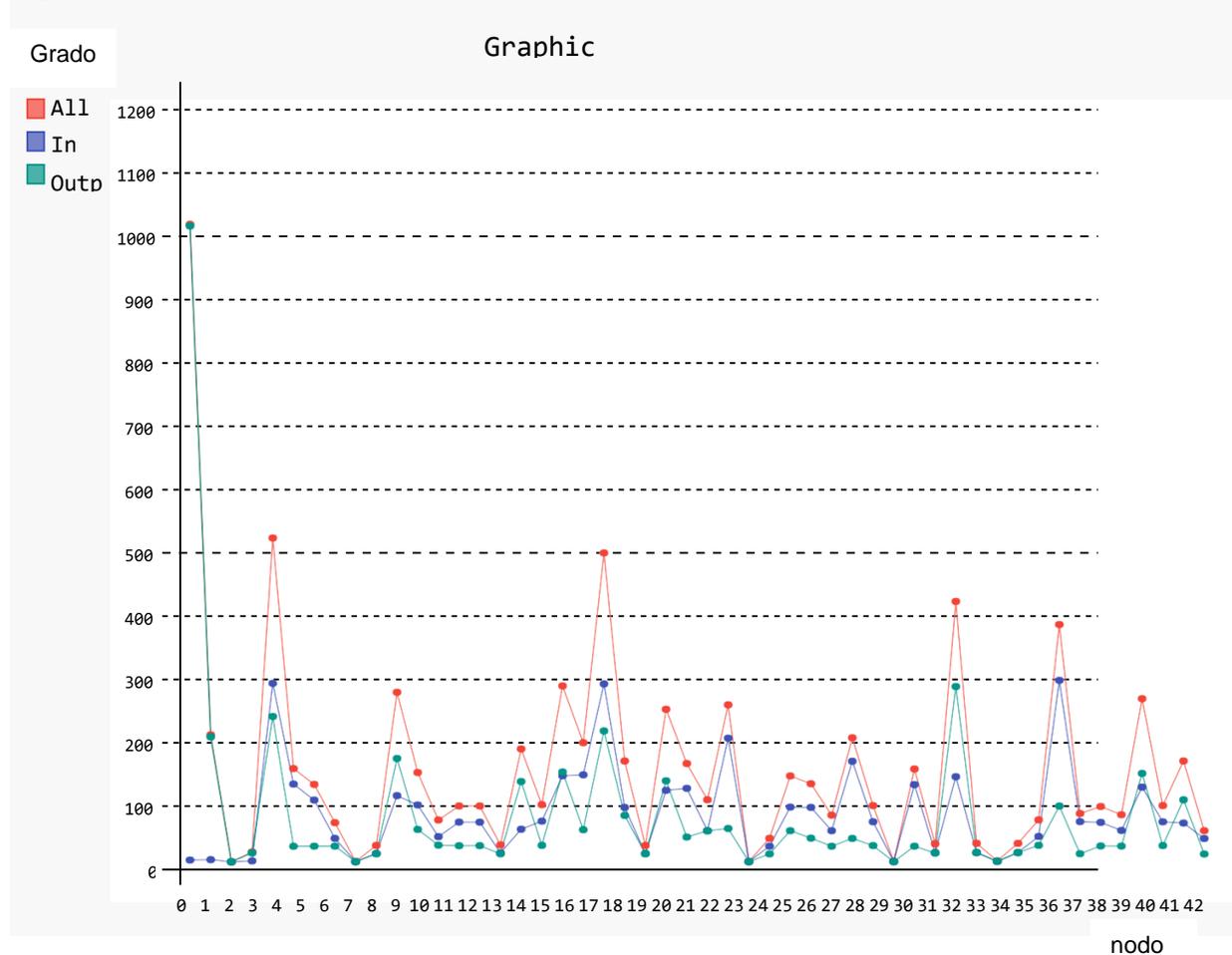
- ❖ Con base en la distribución uniforme discreta para el cálculo del tiempo, se obtuvieron los siguientes resultados (ver Tabla 15).

Tabla 15. Resultados de la simulación.

| Fase | Duración (unidades de tiempo) | Acumulado |
|---------------------|-------------------------------|---------------|
| Planificación | 21.068 | 21.068 |
| Ejecución | 4.115 | 25.183 |
| Monitoreo y control | 5.028 | 30.211 |
| Cierre | 90 | 30.301 |
| TOTAL | | 30.301 |

Fuente: Elaboración propia.

- ❖ Los grados totales de la red compleja fueron 90.290, grados tanto de entrada como de salida fueron 45.145 (ver Figura 35).

Figura 35. Grados de los 49 nodos, resultado de una simulación completa.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 35 se pueden observar los grados totales, de entrada y de salida como resultado de la simulación. En color rojo está los grados totales, en color azul están los grados de entrada y en color verde están los grados de salida (ver Tabla 16).

Tabla 16. Nodos con mayor grado.

| Nodo | Grado total |
|---|-------------|
| Repositorio (0) | 12.194 |
| Desarrollar el plan para la dirección (4) | 6.194 |
| Desarrollar el cronograma (20) | 5.908 |
| Identificar los riesgos (37) | 4.981 |
| Planificar la gestión de las adquisiciones (42) | 4.539 |

Fuente: Elaboración propia.

Lo que significa que el nodo repositorio es el nodo con mayor conexión con otros nodos por cuanto allí es en donde se ha determinado que reposará toda la información del proyecto, los demás nodos con mayor relevancia en la red compleja, son: desarrollar el plan para la dirección del proyecto, desarrollar el cronograma, identificar los riesgos y planificar la gestión

de adquisiciones. Se puede concluir, que estos son los nodos más vulnerables²² a ser modificados o actualizados con información y a su vez son los nodos más fuertes porque se conectan con la mayoría (ver Tabla 17).

Tabla 17. Nodos con menor grado.

| Nodo | Grado total |
|--|-------------|
| Planificar la gestión del alcance (9) | 313 |
| Planificar la gestión de los costos (22) | 312 |
| Planificar la gestión del cronograma (15) | 323 |
| Planificar la gestión de los riesgos (36) | 344 |
| Planificar la respuesta a los riesgos (40) | 353 |
| Análisis cualitativo de riesgos (38) | 354 |
| Controlar la calidad (28) | 450 |

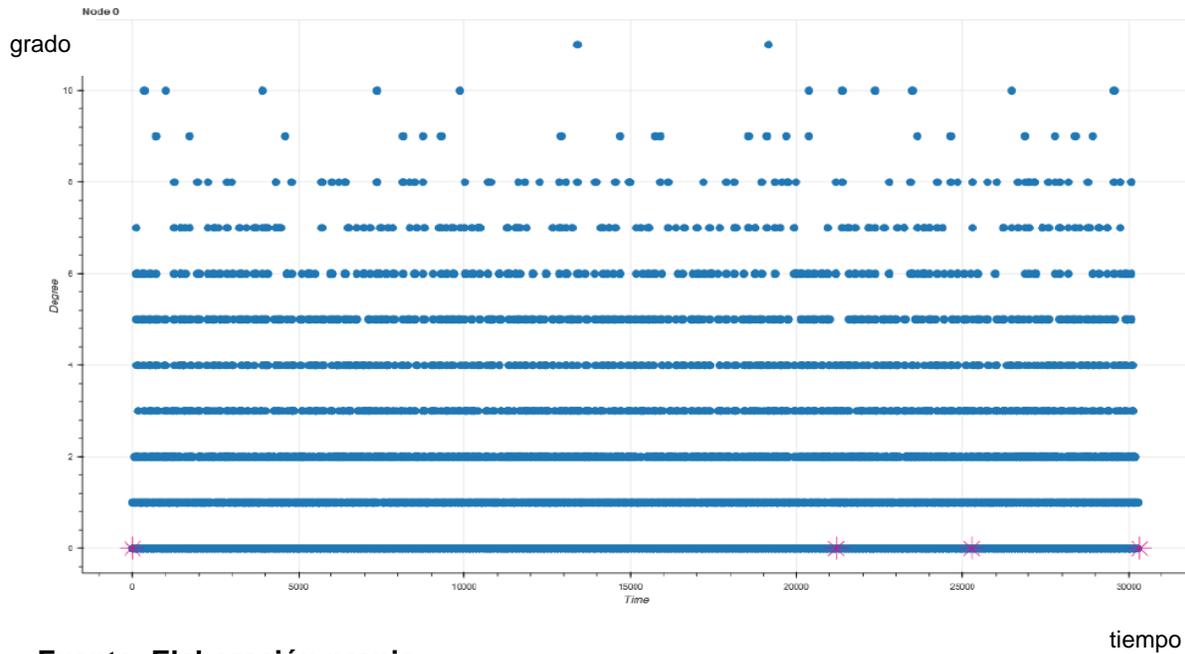
Fuente: Elaboración propia.

Lo que significa que el nodo planificar la gestión del alcance es el nodo con menor conexión con otros nodos y se concluye que en estos nodos solamente se determina el cómo construir las líneas base del proyecto (cronograma, costos, riesgos), no son tan vulnerables a ser modificados/actualizados, son nodos menos importantes que otros durante la gestión del proyecto, siendo así los nodos débiles en la gestión de proyectos.

A continuación, se presentan los nodos con mayor grado, como resultado de la simulación a través de la red compleja (ver Figuras 36, 37 y 38). El primer asterisco de color rojo marcado en el eje X corresponde al inicio de la fase de planificación, el segundo asterisco al inicio de la fase de ejecución, el tercer asterisco al inicio de la fase de monitoreo y control, y el cuarto asterisco al inicio de la fase de cierre.

²² Holmgren (2006) define vulnerabilidad como la sensibilidad del sistema a las amenazas, riesgos o perturbaciones que pueden presentarse. Boccaletti, et al. (2007) definen la vulnerabilidad de las redes complejas como la capacidad para mantener su desempeño funcional ante daños aleatorios o ataques maliciosos. La importancia de un nodo está dada por varios factores asociados a su conectividad y a la de la red como un todo.

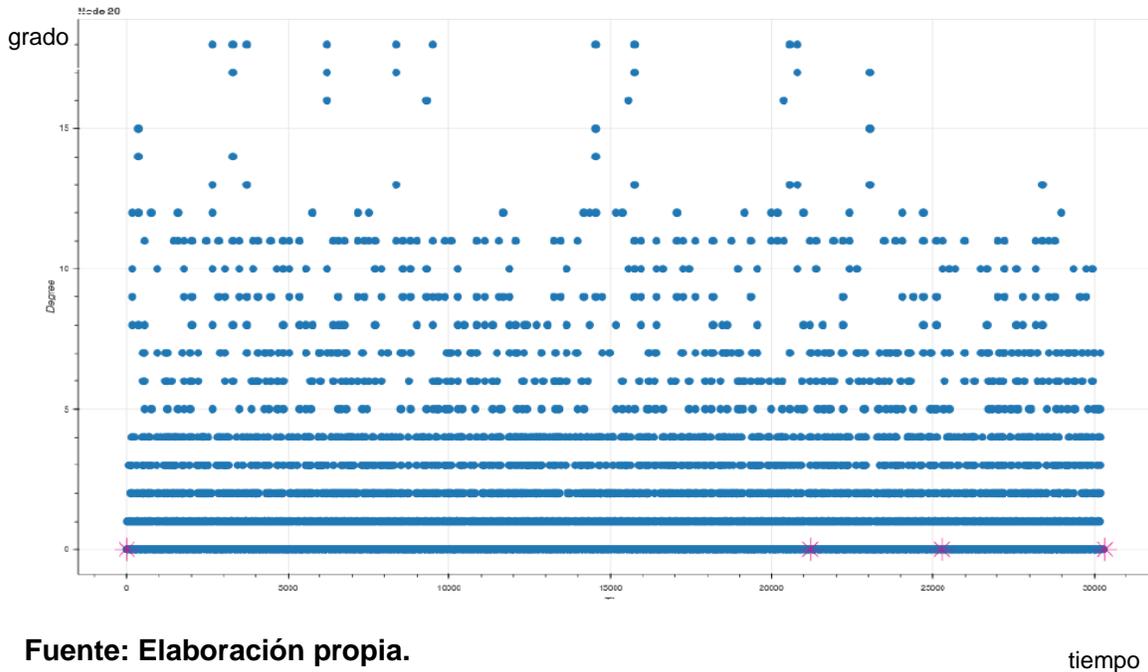
Figura 36. Grados del nodo 0 (repositorio), durante toda la simulación.



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 36 se muestran los grados del nodo 0 (nodo repositorio), durante las cuatro fases (planificación, ejecución, monitoreo y control y cierre), las fases se marcan con asterisco en color rojo sobre el eje X de la gráfica.

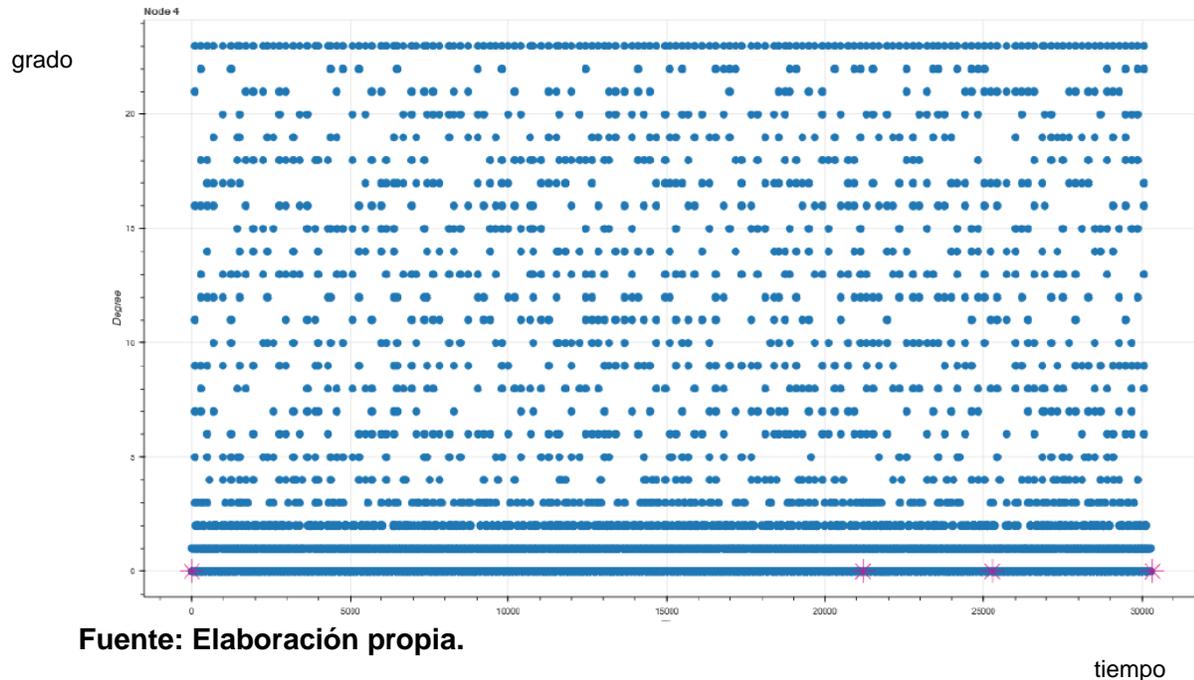
Figura 37. Grados del nodo 20 (desarrollar el cronograma), durante toda la simulación.



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 37 se muestran los grados del nodo 20 (desarrollar el cronograma) y su comportamiento en las cuatro fases: planificación, ejecución, monitoreo y control y cierre. En la fase de planificación y ejecución hay algunos picos que demuestran los momentos en que el nodo puede ser vulnerable a ser modificado/actualizado, siendo menos vulnerable en las fases de monitoreo y control y cierre.

Figura 38. Grados del nodo 4 (desarrollar el plan para la dirección), durante toda la simulación.



Fuente: Elaboración propia.

tiempo

En la Figura 38 se muestran los grados del nodo 4 (desarrollar el plan para la dirección), es el segundo nodo con grados más alto y es el nodo más vulnerable por su alto nivel de ser modificado/actualizado durante la simulación, por ende, es uno de los nodos fuertes de la red compleja, su incidencia se ve reflejada en las diferentes fases: planificación, ejecución, monitoreo y control y cierre.

Con base en los resultados sobre la medida de grados, se plantea una definición como resultado de esta investigación: la de nodos fuertes y la de nodos débiles de la red compleja. Se define como nodo fuerte aquellos nodos con mayor grado durante la simulación y que serían más vulnerables a ser modificados/actualizados y con mayor grado de conexión con otros nodos. Para el caso de la simulación, los nodos fuertes son: 0,4,20, 37 y 42.

Por otro lado, se define como nodo débil aquellos nodos con menor grado durante la simulación y que serían más vulnerables a ser modificados/actualizados y con menor grado de conexión con otros nodos. Para el caso de la simulación, los nodos débiles son: 9, 22, 15, 36, 40, 38 y 28.

También se infiere que si un nodo fuerte no se activa (por falta de información de entrada), el proyecto podría estar en un umbral mayor de incertidumbre.

A continuación, se presentan las medidas más importantes de la red compleja, como producto de la simulación:

- ❖ **Asortatividad:** -0,01052, si el valor es <0 , entonces las relaciones en la red compleja se establecen entre nodos de diferente grado, lo que significa que los nodos con alta conectividad tienden a conectarse a otros de diferente grado, no hay correlación entre los nodos y los grados.
La asortatividad es la preferencia de los nodos de una red por unirse a otros que le son similares en alguna característica. A pesar de que la medida específica de similitud puede variar, los teóricos de redes frecuentemente estudian la asortatividad en función del grado de los nodos. Esta característica sirve para aproximar los modelos de redes complejas al comportamiento de muchas redes reales.
Frecuentemente se encuentran correlaciones entre los nodos de redes que tienen grado similar. Además, en las redes sociales, los nodos con alta conectividad tienden a conectarse a otros que tiene un grado alto. Esta tendencia se denomina asortatividad. Por otro lado, las redes tecnológicas y biológicas tienden a mostrar un comportamiento disortativo ya que los nodos con alto grado tienden a conectarse con los nodos de bajo grado.
- ❖ **Densidad:** 0,1842653: Es la capacidad de conectividad de la red, es el cociente entre el número de relaciones existentes con las relaciones posibles.
La "densidad de red" describe la porción de las conexiones potenciales en una red que son conexiones reales. Una "conexión potencial" es una conexión que podría existir entre dos "nodos", independientemente de si realmente existe o no. Esta persona podría conocer a esa persona; esta computadora podría conectarse a esa. Si se conectan o no es irrelevante cuando se habla de una conexión potencial. Por el contrario, una "conexión real" es una que realmente existe. Esta persona sí conoce a esa persona; esta computadora está conectada a esa.
- ❖ **Diámetro:** 3, corresponde a la máxima distancia entre cualquier par de nodos de la red (máxima longitud del camino más corto).
- ❖ **Adyacencia (coeficiente de correlación temporal):** Los nodos con mayor adyacencia con otros son los que se muestran en la Tabla 18:

Tabla 18. Nodos con mayor adyacencia.

| Nodos Adyacentes | | Nivel de adyacencia |
|---|---|---------------------|
| 42 (planificar la gestión de las adquisiciones) | 37 (identificar los riesgos) | 1.055 |
| 42 (planificar la gestión de las adquisiciones) | 0 (repositorio) | 903 |
| 42 (planificar la gestión de las adquisiciones) | 10 (recopilar requisitos) | 899 |
| 20 (desarrollar el cronograma) | 4 (desarrollar el plan para la dirección) | 766 |
| 20 (desarrollar el cronograma) | 0 (repositorio) | 775 |
| 19 (estimar la duración de las actividades) | 0 (repositorio) | 602 |

Fuente: Elaboración propia.

Los nodos con mayor número de adyacencia, son aquellos que están en el grupo de nodos de mayor grado: nodo 42 (planificar la gestión de las adquisiciones) y nodo 20 (desarrollar el cronograma).

- ❖ Centralidad: El grado de centralidad es el número de nodos a los cuales un nodo está directamente unido.
 - Grado de intermediación (betweenness): Es la posibilidad que tiene un nodo para intermediar las comunicaciones entre pares de nodos. Esta medida se obtiene al contar las veces que un nodo aparece en los caminos que conectan a todos los pares de nodos de la red.
Los nodos que dieron con valores superiores son los siguientes: nodo 0 (repositorio) 809,949, nodo 4 (desarrollar el plan para la dirección) 486,7958, 20, nodo 20 (desarrollar el cronograma) 123,04543. Son los nodos de mayor control sobre la red, lo que indica que por ellos pasará mayor cantidad de información.
 - Grado de cercanía (closeness): El grado de cercanía es la capacidad de un nodo de llegar a todos los otros, este se calcula en contar todas las distancias de un nodo para llegar a los demás.
El nodo 2 (novedad): 0,02 y el nodo 8 (cerrar el proyecto o fase): 0,342657343. Para el análisis se podría descartar el nodo 2 por cuanto durante la simulación no se incluyó la posibilidad de alguna novedad, entonces el nodo más cerca al centro de la red es el nodo 8. Podría asociarse a que el nodo más cerca al centro es el nodo en donde concluye la simulación o porque termina una fase del proyecto o el proyecto en sí mismo.
- ❖ Agrupamiento temporal (clustering): el nodo 1 (repositorio) aparece como el nodo más conectado durante la simulación, por cuanto es el nodo repositorio de información.

6.4.1. Conclusiones primera simulación

La perspectiva clásica determinista no es suficiente para comprender la cantidad de relaciones que se establecen entre los diferentes nodos y la dependencia de unos nodos con otros.

Una de las propuestas que se planteó fue la definir “nodo débil” y “nodo fuerte”, con base en la definición de grado de una red compleja.

Se pudieron identificar cuáles son los nodos débiles y los nodos fuertes y mostrar con ello cuáles nodos son más vulnerables a ser modificados/actualizados y aquellos que de no activarse podrían generar umbrales mayores de incertidumbre para el proyecto.

La anterior lleva a una primera conclusión de la simulación, y es que el comportamiento de la gestión de proyectos complejos es no determinista en contraposición a cómo lo plantea el PMBOK®, el cual asume que las variables son determinísticas y que no deberían tender casi modificaciones/actualizaciones durante la gestión del proyecto y que su comportamiento es determinista desde la planificación hasta el cierre del proyecto/fase.

Con base en lo anterior puede darse cuenta de la rigidez de dicha determinación para la naturaleza del proyecto cuando este obedece a una situación compleja.

Con estos resultados nos preguntamos ¿Qué pasaría si el nodo 4 y el nodo 20 desaparecen de la red y que si no se activan por falta de información?

Para responder a la pregunta se efectuó simulación partiendo del supuesto que el nodo 4 (desarrollar el plan para la dirección) y el nodo 20 (desarrollar el cronograma) no se activan en el modelado de la estructura analítica. Los resultados son los siguientes:

- Grados totales: 29.552 que muestra una disminución del 32% respecto a la simulación inicial (grados totales: 90.290). Lo que confirma que dicho nodo tiene una alta influencia sobre los demás y que a su vez la información que se desprende del mismo es muy importante para la gestión del proyecto. La inexistencia del mismo generará niveles de incertidumbre por falta de información importante para el proyecto.
- La densidad es de: 6,031020 que muestra una disminución del 32% respecto a la simulación inicial (densidad: 18,42653).
- El diámetro pasa a 4, aumentando la máxima distancia entre cualquier par de nodos de la red, lo que podría suponer que estos nodos (4 y 20) son nodos puente que ayudan a que la información fluya con mayor facilidad en la red compleja, porque al aumentar el diámetro la conexión directa entre nodos disminuye.

Otra conclusión de este trabajo es la importancia que debe darse a la utilización de herramientas de las ciencias de la complejidad para interpretar la gestión de proyectos complejos:

- a) Análisis de relaciones: Se generaron 29.730 con los procesos de inicio y planificación, 45.145 para todos los procesos (los 5 procesos definidos por el PMBOK®); lo que indica que la mayoría de nodos/subprocesos pueden incidir en otros nodos, configurándose una red vulnerable en la incidencia que tiene un nodo sobre muchos. Lo que vislumbra es que, a menos información, mayores niveles de incertidumbre, a mayor cantidad de información más vulnerable es la red compleja de procesos y si se llega a eliminar un nodo con fuerza >1 la vulnerabilidad sería mayor.

Homgren (2006) define “vulnerabilidad” como la sensibilidad del sistema a las amenazas, riesgos o perturbaciones que puedan presentarse. Wu, et. al. (2007) define la vulnerabilidad de las redes complejas como las fallas aleatorias o los ataques intencionados que afectan la integridad y la operación de la red. Por otro lado, Boccaletti, et al. (2007) definen la vulnerabilidad de las redes complejas como la capacidad para mantener su desempeño funcional ante daños aleatorios o ataques maliciosos. Ellos usan el término vulnerabilidad como un concepto para evaluar la estabilidad y la robustez de los comportamientos globales de las redes complejas ante perturbaciones externas.

Nagurney y Quiang (2011) afirman que el análisis de vulnerabilidad de redes complejas trata de cuantificar y evaluar el impacto de la remoción de un componente de la red. Para la presente investigación se toma la definición de Boccaletti et al. (2007), donde se evalúa la estabilidad y robustez de la red compleja.

- b) Fuerza de nodos: Se encontró que la relación entre los nodos/subprocesos de: identificar los riesgos y planificar la gestión de las adquisiciones, recopilar requisitos y planificar la gestión de las adquisiciones, son las relaciones más fuertes en la red compleja, mientras que planificar la gestión del alcance y recopilar requisitos es una de las relaciones menos fuertes en la red compleja. Entre más fuerza existe entre las relaciones de

nodos/subprocesos, hay mayor dependencia de la existencia de uno frente al otro, lo que también los hace débiles o inestables cuando no exista información fluyendo entre ellos.

- c) Para las 45.145 relaciones se encontró que el diámetro es 3 y la densidad es 18,42, es una densidad alta, lo que indica el nivel de actualización tan fuerte que existe cuando llega una nueva información y la necesidad de que un nodo se conecte con otro nodo.

Finalmente, el modelo teórico-genérico propuesto permitirá a futuro poder avanzar en diferentes tipos de simulaciones para cualquier tipo de proyecto, con la particularidad que se podrá simular cualquier secuencia en la construcción de la red, en la medida que vaya llegando información esta irá actualizando aquellos nodos/subprocesos que así lo requieran. A futuro se podrán establecer medidas de incertidumbre, eficiencia y robustez, lo que permitirá tomar decisiones antes de comenzar a ejecutar el proyecto. Y durante la ejecución del proyecto mantener los umbrales permisibles.

6.5. Segunda simulación: Modelado de la red compleja de procesos/atributos/variables con base en el estándar PMBOK® (2013)

Para esta segunda simulación se identificaron 50 atributos y 184 variables que se derivan de los atributos.

Los atributos identificados fueron los siguientes con base en el PMBOK®:

| | |
|--|--|
| enunciado del trabajo | documento de requisitos |
| caso de negocio | matriz de trazabilidad de requisitos |
| acuerdos | enunciado del alcance del proyecto |
| factores ambientales | lista de actividades |
| activos de los procesos de la organización | atributos de actividades |
| acta de constitución del proyecto | lista de hitos, registro de riesgos |
| documentos de adquisiciones | diagrama de red del cronograma del proyecto |
| registro de interesados | estimados de costos de las actividades |
| plan para la dirección del proyecto | recursos requeridos para las actividades |
| línea base del cronograma | estructura de desglose de recursos |
| línea base de costos | estimación de la duración de las actividades |
| línea base del alcance | cronograma del proyecto |
| plan de gestión del alcance | datos del cronograma |
| plan de gestión de requisitos | base de estimaciones |
| plan de gestión del cronograma | métricas de calidad |
| plan de gestión de costos | listado de verificación de calidad |
| plan de gestión de calidad | enunciado del trabajo relativo a adquisiciones |
| plan de mejoras del proceso | criterios de selección de proveedores |
| plan de gestión de recursos humanos | decisiones de hacer o comprar |
| plan de gestión de comunicaciones | solicitudes de cambio |
| plan de gestión de riesgos | propuestas de los vendedores |
| plan de gestión de adquisiciones | requisitos de financiamiento |
| plan de gestión de interesados | |

A continuación, se proponen los pasos para definir los parámetros de simulación, a través de las variables identificadas:

- 1) Se identifica el flujo de información entre procesos y subprocesos, el flujo de información corresponde a datos de entrada (externos) y a las variables que fluyen entre los subprocesos.
- 2) Identificación de atributos y variables, asociadas a cada subproceso, se muestra la del subproceso desarrollar el acta de constitución del proyecto (ver Tabla 19):

Tabla 19. Identificación de atributos y variables, subproceso desarrollar el acta de constitución del proyecto.

| Proceso/área del conocimiento | Subprocesos | Atributos de entrada | Variables del atributo |
|-------------------------------|--|--|---|
| integración/inicio | Desarrollar el acta de constitución del proyecto | Enunciado del trabajo | necesidades del negocio (propósito, objetivos medibles, descripción de alto nivel, lista de interesados), descripción del alcance del producto (descripción, requisitos de aprobación) y plan estratégico de la organización. |
| | | Caso de negocio | viabilidad (criterios de éxito asociados, requisitos de alto nivel, supuestos, restricciones, resumen cronograma de hitos), necesidad del negocio, costo/beneficio (resumen presupuesto), limitantes y riesgos (riesgos de alto nivel). |
| | | Acuerdos, no tiene variables de atributo. Factores ambientales. | No tienen variables de atributo |
| | | Activos de los procesos de la organización. | |

Fuente: Elaboración propia.

Con base en el PMBOK® se determinan los atributos de entrada y las variables de cada subproceso. Una vez se determinan atributos/variables, se identifica si el atributo o alguna de estas variables pasan información a otro atributo o a otra variable, estableciendo el flujo de información entre subprocesos. Por ejemplo, enunciado del trabajo/necesidad del negocio como atributo de entrada/variable, pasa información a los siguientes nodos: desarrollar el plan para la dirección y planificar la gestión de los interesados; y a los siguientes atributos: descripción del alcance, viabilidad, necesidad del negocio, objetivos medibles, propósito, descripción del alto nivel, lista de interesados, descripción del alcance, requisitos del negocio, objetivos del proyecto, plan de gestión de interesados, enunciado del alcance, plan estratégico de la organización y requisitos de los interesados.

Modelado y simulación de variables:

- 1) **Determinación de los parámetros de la simulación:** Los parámetros se determinaron con base en el PMBOK® y algunos como propuesta de la presente investigación.
 - Se parte de los principios definidos para la primera simulación.
 - Se definen atributos por cada nodo/subproceso (información que manejará cada nodo/subproceso). Se identificaron 50 atributos, como: enunciado del trabajo, caso

- de negocio, acuerdos, factores ambientales, activos de los procesos de la organización, acta de constitución del proyecto (con base en el PMBOK®).
- Se definen variables de cada atributo identificando el tipo de variable (texto, cualitativa, cuantitativa, estocástica, fuzzy, desconocida). Se identificaron 184 variables, por ejemplo, del atributo enunciado del trabajo: necesidad del negocio (tipo texto), descripción del alcance (tipo texto), plan estratégico de la organización (tipo texto) y así con cada atributo (con base en el PMBOK®). Para la presente investigación se propuso una identificación de tipo de variable por cada una de ellas.
 - Por cada variable de las 184 se definió su naturaleza, 134 son variables exógenas y 54 endógenas, con base en las definiciones del PMBOK®.
 - Si el atributo es exógeno, se determina de manera aleatoria si existe información de las variables en relación con cada atributo {0,1}. Si establece 0, significa que no se cuenta con dato, 1 significa que se cuenta con dato. Estos valores se definen como propuesta propia.
 - Se determinan por variable, que otros atributos y otras variables afecta. Con esta determinación una vez se identifique que una variable contiene un dato de entrada, se busca los atributos y variables que afecta para activar el flujo de información (al trasladar la información de un subproceso a otro, con base en el PMBOK®).
 - La dinámica de cada nodo (proceso) y de cada enlace será identificado con colores, igual que se definió para la primera simulación.
 - Se definió el total de variables por su naturaleza y por grupo de área del conocimiento (según PMBOK®), ver Tabla 20.

Tabla 20. Variables por área del conocimiento

| Grupo de Área del conocimiento | Total Variables | Total exógenas | Total endógenas |
|-----------------------------------|-----------------|----------------|-----------------|
| Gestión de Proceso de Inicio | 20 | 7 | 13 |
| Gestión de Proceso de Integración | 15 | 15 | 0 |

Fuente: Elaboración propia.

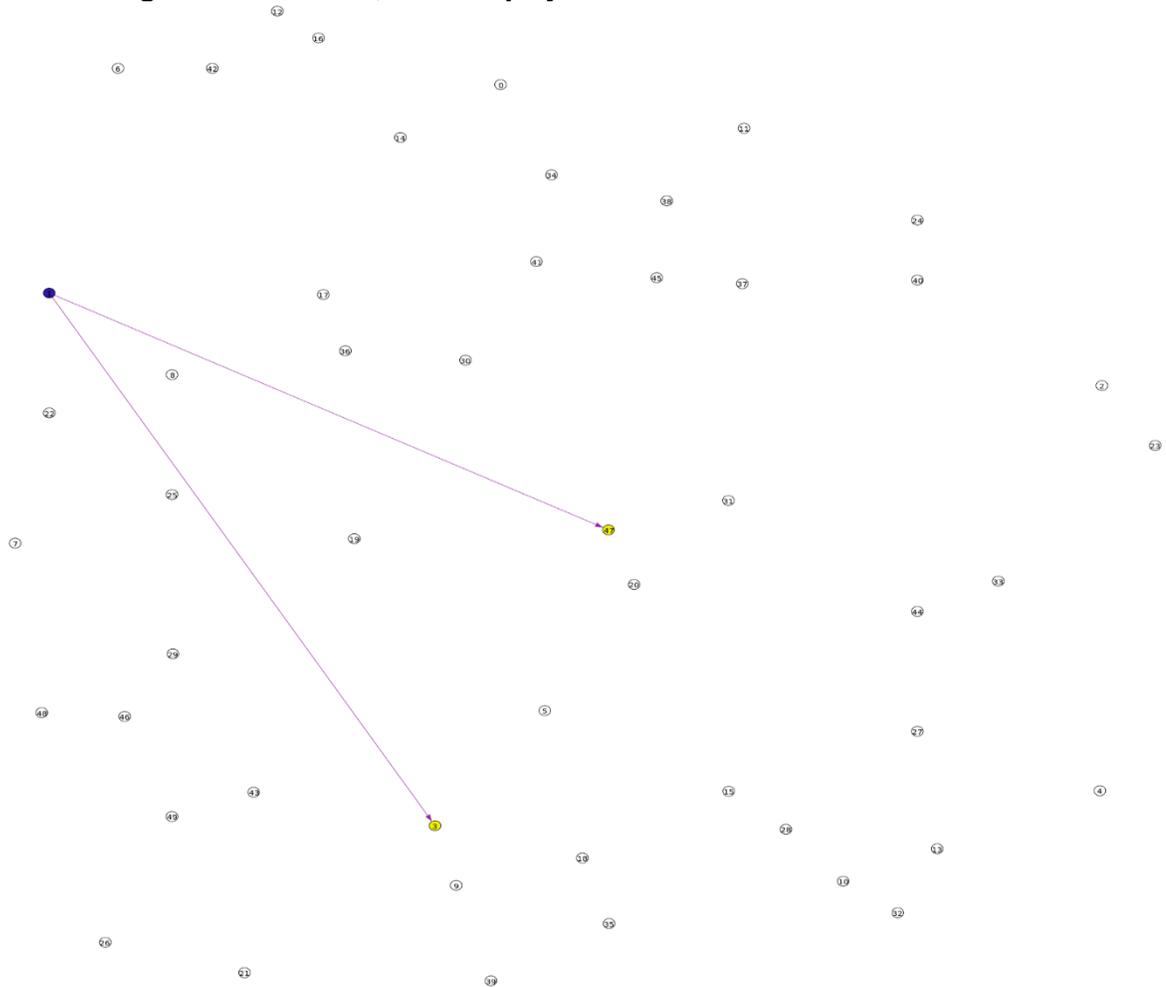
- El tiempo de proceso de cada nodo y la duración de la conexión para establecer el flujo de información está determinado por una distribución uniforme discreta (se tomaron valores entre 2 y 11), para ejemplificar el proceso, se trabajaron como unidades de tiempo.
- Medidas que se establecieron: variables (flujo de información) versus óptimos esperados, medidas de nodos y medidas de red.

En las Figuras 39,40,41,42,43,44, se muestra la construcción de la red, dependiendo de los datos de entrada existentes y cómo estos van afectando otros atributos y otras variables. El recorrido se hace partiendo del supuesto que como la información puede llegar en cualquier momento, sin ningún orden, se simula de manera aleatoria su llegada.

Figura 39. Primera secuencia, red compleja de atributos.

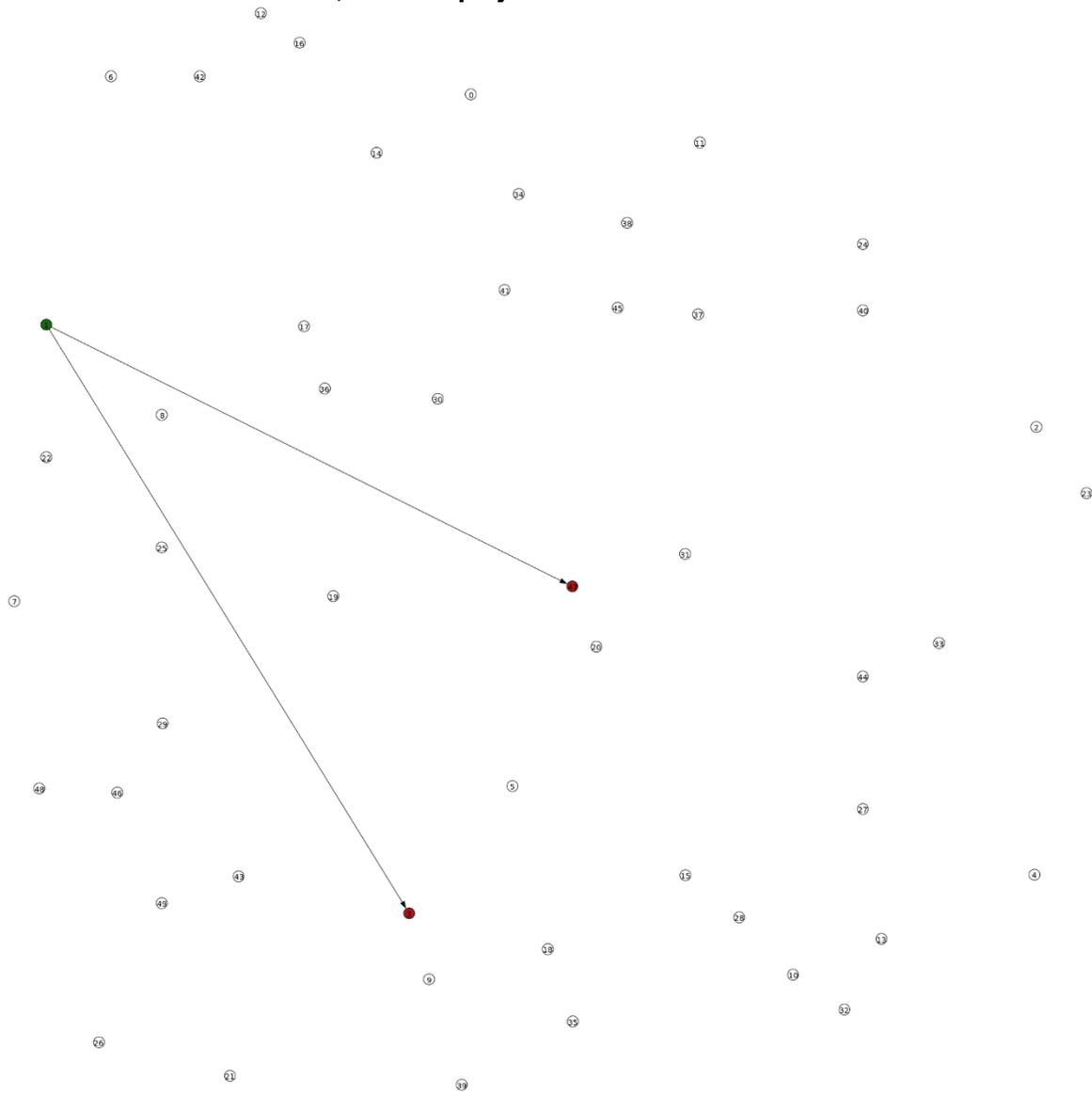
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 39 se muestra que el nodo 1 (exógeno) está en color rojo, lo que significa que le ha llegado información y su estado es: procesando información. El resto de nodos están sin color y las conexiones en color negro por estar en estado inactivo.

Figura 40. Segunda secuencia, red compleja de atributos.

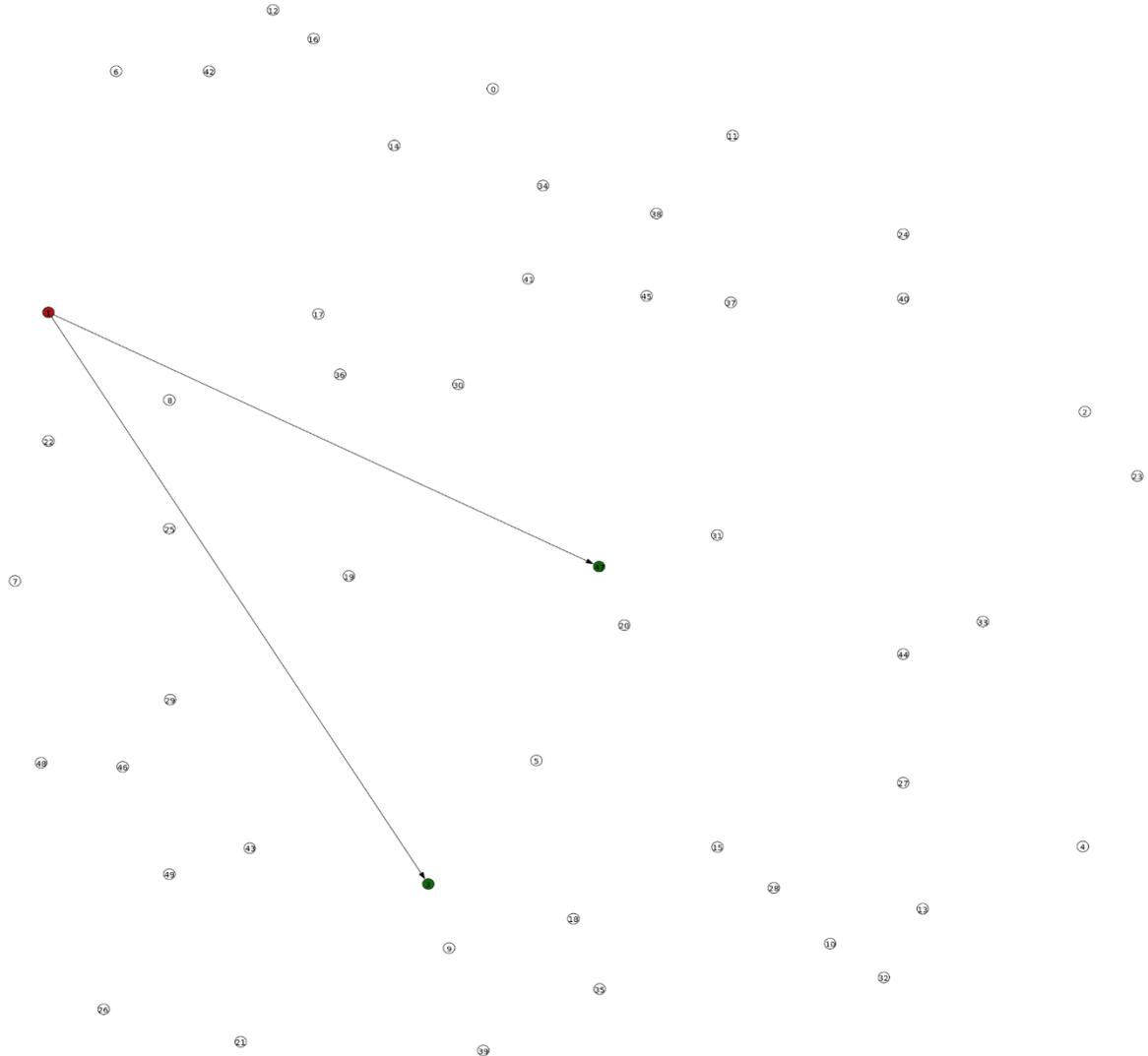
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 40 se muestra que el nodo 1 (exógeno) envía información a los nodos: 3 (desarrollar el acta de constitución del proyecto) y 47 (planificar la gestión de los interesados), está en color azul, lo que significa que su estado es: enviando información y los nodos 3 y 47 están en color amarillo, lo que significa que su estado es: recibiendo información. La conexión pasa de color negro a color morado, lo que significa que su estado está en enviando información.

Figura 41. Tercera secuencia, red compleja de atributos.

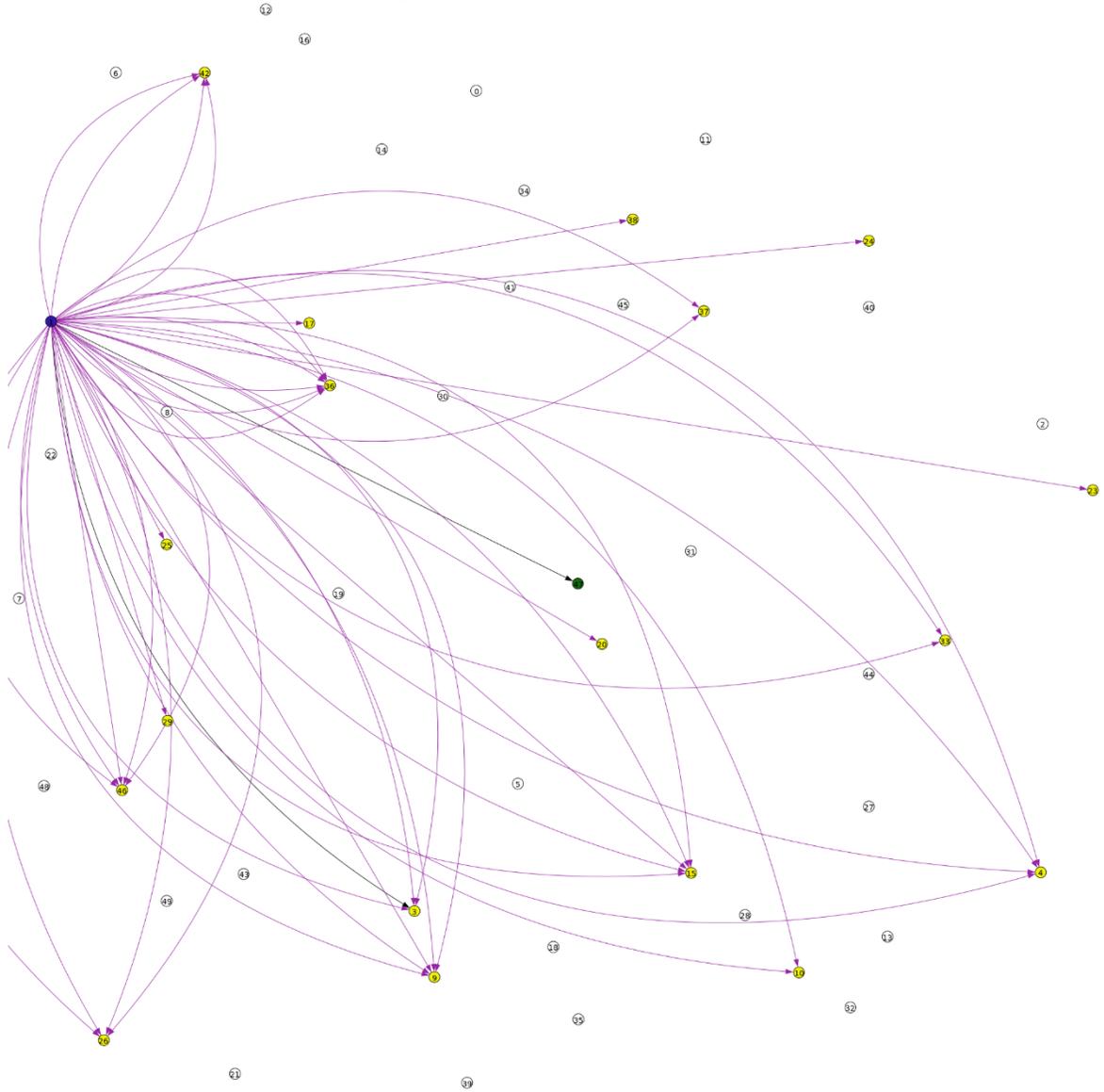
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 41 se muestra que el nodo 1 (exógeno) ya terminó de enviar información a los nodos 3 y 47, pasa al color verde, lo que significa que su estado es pendiente y los nodos 3 y 47 están en color rojo, lo que significa que su estado es procesando información. La conexión sigue en color morado, mientras termina de enviar información.

Figura 42. Cuarta secuencia, red compleja de atributos.

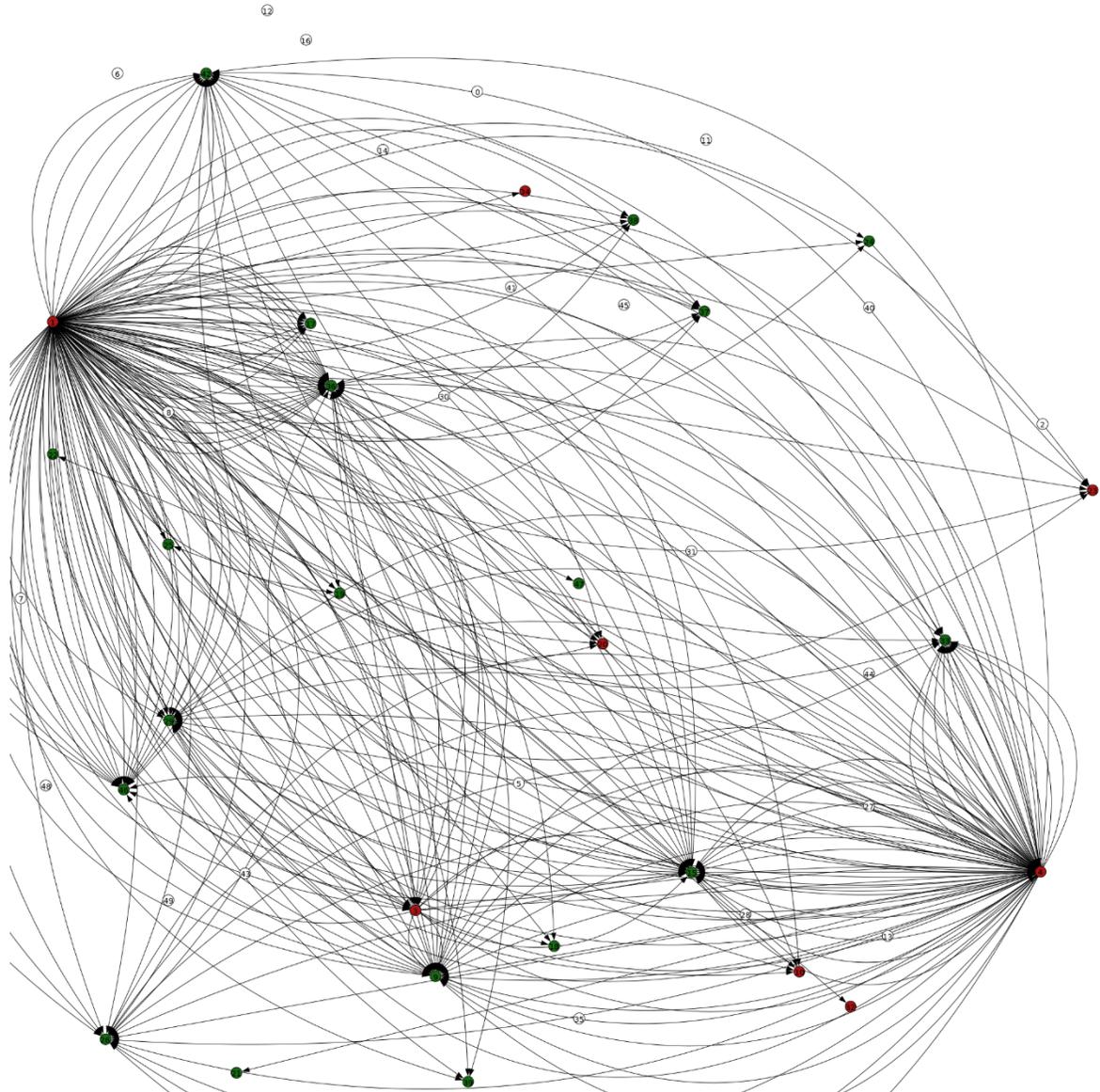
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 42 se muestra que el nodo 1 (exógeno) regresa a color rojo (procesando información), lo que indica que le ha llegado información nueva, los nodos 3 y 47 pasan a color verde, lo que significa que su estado es: pendiente. La conexión pasa a color negro, inactiva. Y así sucesivamente hasta recorrer toda la secuencia de conexiones de manera aleatoria.

Figura 43. Secuencia, red compleja de atributos.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 43 se muestra que el nodo 1 (exógeno) regresa a color azul (enviando información) y los nodos a los cuales les envía información se encuentran en color amarillo (recibiendo información). Las conexiones están en color morado, estado enviando información.

Figura 44. Secuencia, red compleja de atributos.

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 44 se muestra que el nodo 1 (exógeno) regresa a color rojo (procesando información) y los nodos a los cuales les envía información algunos se encuentran en color rojo (procesando información) y otros se encuentran en color verde (estado pendiente). Las conexiones están en color negro, es decir su estado no es activo.

2) Resultados y discusión de la simulación de la red compleja de atributos y variables.

Los resultados de la simulación fueron los siguientes:

- a) Con base en la distribución uniforme discreta para el cálculo del tiempo, se tiene que la simulación del flujo de información tuvo una duración de 1.746 unidades de tiempo.

El cálculo del tiempo tuvo en cuenta: tiempo de duración de envío de variables y tiempo de duración de la conexión.

- b) Los grados totales de la red compleja son 746. Se identificaron nodos fuertes, débiles y sin uso, clasificación que se propone en la presente investigación, teniendo en cuenta que grados corresponde al número de conexiones que establece un nodo durante la simulación.

Se definió como proceso fuerte, aquel en el que una vez culmine la simulación, el grado es $>$ que la media óptima.

Como proceso débil, aquel en el que una vez culmine la simulación el grado es \leq media óptima y ≥ 1

Como proceso sin uso, aquel en el que una vez culmine la simulación el grado es $= 0$.

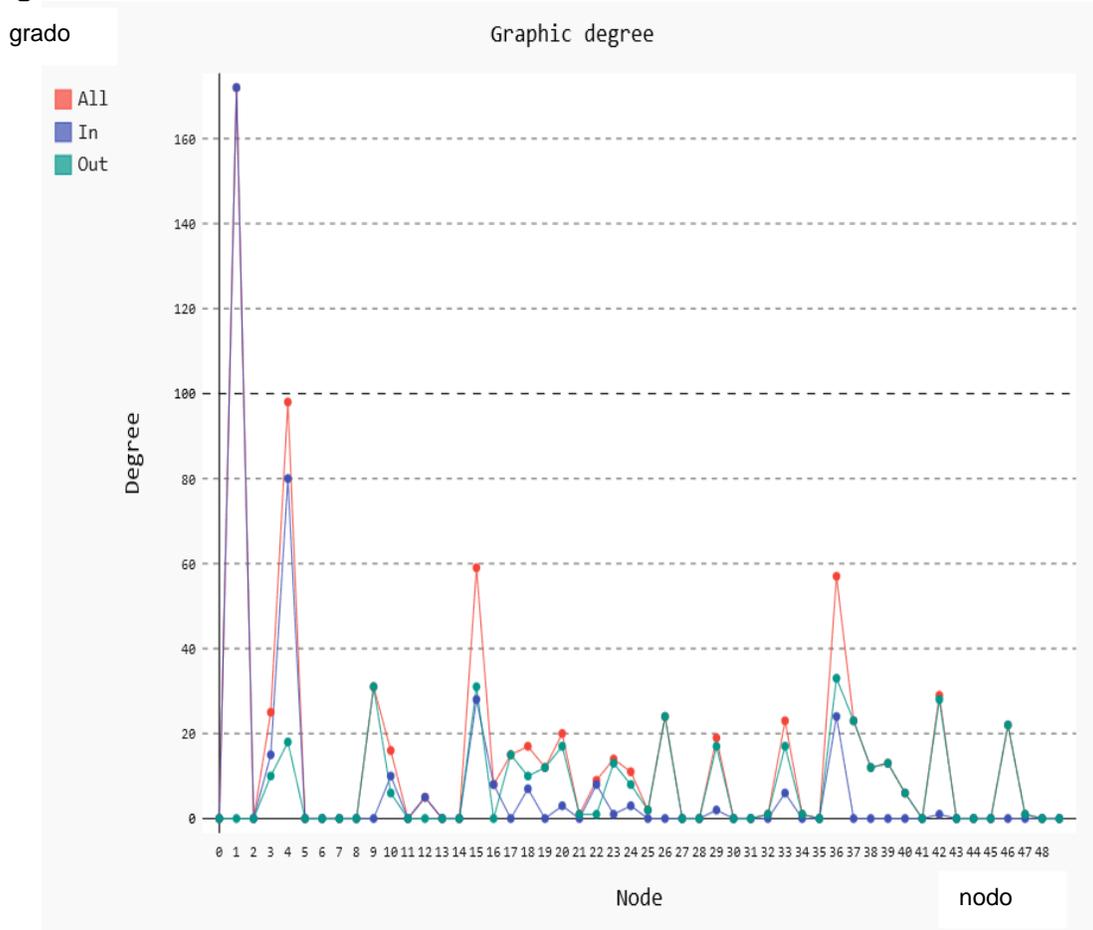
La media óptima se obtiene suponiendo que se cuenta con toda la información de entrada (todos los datos externos están en 1) y como resultado de la simulación se obtienen los grados y la media respectiva (ver Tabla 21 y Figura 45):

Tabla 21. Resultados tipos de nodos.

| Procesos (nodos sin uso) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | 0 | 2 | 5 | 6 | 7 | 8 | 11 | 13 | 14 | 27 | 28 | 30 | 31 | 35 | 41 | 43 | 44 | 45 | 48 | 49 |
| Grado | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Procesos (nodos fuertes) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 1 | 3 | 4 | 9 | 10 | 15 | 17 | 18 | 20 | 26 | 29 | 33 | 36 | 37 | 42 | 46 | | | | |
| Grado | 172 | 25 | 98 | 31 | 16 | 59 | 15 | 17 | 20 | 24 | 19 | 23 | 57 | 23 | 29 | 22 | | | | |
| Procesos (nodos débiles) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 12 | 16 | 19 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 32 | 34 | 38 | 39 | 40 | 47 | | | | | | |
| Grado | 5 | 8 | 12 | 1 | 9 | 14 | 11 | 2 | 1 | 1 | 12 | 13 | 6 | 1 | | | | | | |

Fuente: Elaboración propia.

Figura 45. Grados de los nodos.



Fuente: Elaboración propia.

Los nodos más fuertes son los siguientes: Nodo 1 (desarrollar el acta de constitución del proyecto), Nodo 4 (planificar la gestión del alcance), Nodo 15 (estimar costos).

Si se compara con los resultados obtenidos en el primer experimento se tendría lo siguiente: (ver Tabla 22)

Tabla 22. Nodos más fuertes.

| Nodos más fuertes (mayor grado) | |
|---|---|
| Primera simulación: procesos/subprocesos | Desarrollar el plan para la dirección del proyecto, desarrollar el cronograma, identificar los riesgos y planificar la gestión de adquisiciones |
| Segunda simulación: procesos/subprocesos/variables/atributos | Desarrollar el acta de constitución del proyecto, planificar la gestión del alcance y estimar los costos |

Fuente: Elaboración propia.

Con base en los resultados anteriores se puede concluir que uno de los nodos más fuerte que se encuentra presente en ambas simulaciones es desarrollar el acta de constitución del proyecto. Los nodos fuertes como se ha indicado anteriormente son aquellos cuyo número de grados que se obtienen por simulación son los más altos, los grados corresponden al número de conexiones con otros nodos en la red compleja. Y si tomamos la definición de vulnerabilidad de una red compleja dada por Nagurney y Quiang (2011) quienes afirman que el análisis de vulnerabilidad de redes complejas trata de cuantificar y evaluar el impacto de la remoción de un componente de la red, se propone como conclusión de la presente investigación, que aquellos nodos que se han identificado como fuertes, si son removidos de la red, vuelven a esta vulnerable, por ende se definen como vulnerables, con base en la dinámica de la red compleja.

Como reflexión general de la simulación se puede decir que no solamente la incertidumbre se genera por la falta de información, sino también por la variabilidad de las condiciones exógenas y endógenas que se vayan dando durante la fase de ejecución, con lo cual podría concluirse en que hay un nivel de incertidumbre asociado a la fase de planificación y otro al nivel de ejecución, lo que nos indica que un proyecto puede iniciar con niveles de certeza altos pero esto no significa que el mismo nivel se mantenga durante su ejecución.

| Nodos más débiles (menor grado) | |
|--|---|
| Primera simulación: procesos/subprocesos | Planificar la gestión del alcance, planificar la gestión de los costos, planificar la gestión del cronograma, planificar la gestión de los riesgos |
| Segunda simulación: procesos/subprocesos/variable s/atributos | Determinar el presupuesto, planificar la gestión de las comunicaciones, identificar los riesgos, planificar la gestión de los costos, estimar costos, planificar la respuesta a los riesgos |

Con base en los resultados anteriores se puede concluir que uno de los nodos más débiles que se encuentra presente en ambas simulaciones es planificar la gestión de los costos. Este nodo es poco vulnerable a ser modificado/actualizado corroborando con ello que el PMBOK® se sustenta es en la perspectiva clásica de los proyectos, en donde supone un comportamiento estable durante todo el tiempo de gestión del proyecto, lo que estaría alejado de la realidad de los proyectos complejos.

6.5.1. Conclusiones segunda simulación

Medidas de la red:

- ❖ Asortatividad (assortativity): 0,2467, si el valor es >0, entonces las relaciones en la red compleja se establecen entre nodos de similar grado.
- ❖ Densidad: 0,1522: Densidad baja, que dependerá del nivel de información con que cuenta el proyecto.
- ❖ Diámetro: 3, corresponde a la máxima distancia entre cualquier par de nodos de la red.
- ❖ Adyacencia (ver Tabla 23).

Tabla 23. Nodos con mayor adyacencia con otros.

| Nodos Adyacentes | Nivel de adyacencia |
|-------------------------|----------------------------|
|-------------------------|----------------------------|

| | | |
|--|---|----|
| 1 (exógeno, con 172 adyacencia total) | 36 (planificar la gestión de los riesgos) | 19 |
| 4 (desarrollar el plan para la dirección, con 80 adyacencia total) | 9 (planificar la gestión del alcance) 15 (planificar la gestión del cronograma) 26 (planificar la gestión de calidad) 29 (planificar la gestión de los recursos humanos) 33 (planificar la gestión de las comunicaciones) 36 (planificar la gestión de los riesgos) 42 (planificar la gestión de las adquisiciones) | 11 |

Fuente: Elaboración propia.

Los nodos con mayor número de adyacencia, son aquellos que están en el grupo de nodos de mayor grado: nodo 1 (exógeno, grado total 172) y nodo 4 (desarrollar el plan para la dirección, grado total 98).

- ❖ Centralidad (centrality):
 - Intermediación (betweenness): Los nodos que dieron con valores superiores de intermediación son los siguientes: nodo 4 (desarrollar el plan para la dirección): 10,00794, nodo 15 (planificar la gestión del cronograma): 9,822, son los nodos de mayor control sobre la red, lo que indica que por ellos pasará mayor cantidad de información, siendo en sí mismos nodos vulnerables para la red compleja y a su vez nodos fuertes.
 - Cercanía (closeness): El nodo 1 (exógeno): 0,04738 y el nodo 4 (desarrollar el plan para la dirección): 0,0467. El nodo más cerca al centro de la red es el nodo 1. Podría asociarse a que el nodo más cercano al centro es el nodo de donde parte la información.
- ❖ Agrupamiento temporal (clustering): el nodo 1 (repositorio) aparece como el nodo más conectado durante la simulación, ya que es en el cual se almacenará toda la información.
- ❖ Nivel de criticidad: Para obtener esta medida se determina de manera aleatoria valores entre 0-100 para los 12 grupos de procesos identificados: inicio, integración, alcance, tiempo, costos, calidad, recursos humanos, comunicaciones, riesgos, adquisiciones, interesados y exógenas. Se compara el nivel de criticidad con el nivel de información con el que realmente cuenta el proyecto y de allí se define nivel de incertidumbre:
 - Si es \geq , la incertidumbre es mínima
 - Si es $<$ en un 10% la incertidumbre es media
 - Si es $<$ en más del 10% la incertidumbre es alta.

El nivel de criticidad es calculado con valores aleatorios y estos se comparan con el nivel de información inicial del proyecto. Estas características dinámicas son variables aleatorias, es decir, que tienen un valor asociado de incertidumbre y esta incertidumbre puede ser de dos tipos: incertidumbre aleatoria e incertidumbre epistémica.

La incertidumbre aleatoria está en relación con variables intrínsecas del proyecto y se encuentra asociada a una variabilidad aleatoria a diferentes realizaciones, o valores que pueden tener una misma variable (cuando se hacen diferentes ensayos).

La incertidumbre epistémica, está en relación con el conocimiento incompleto de las variables del proyecto y podría originarse de algo que no es suficientemente conocido (por que se refiere al futuro o porque no se tiene conocimiento completo de algo presente (incertidumbre epistémica), (Knight, 1921).

Con base en estos parámetros los resultados fueron los siguientes (criticidad aleatoria, presencia información de variables críticas y cálculo nivel de incertidumbre), ver Tabla 24.

Tabla 24. Procesos y nivel de criticidad.

| Proceso | Nivel de criticidad | Variables críticas (%) | Nivel de incertidumbre |
|------------------|---------------------|------------------------|------------------------|
| Inicio | 63 | 60% | Media |
| Integración | 69 | 60% | Media |
| Alcance | 42 | 42.9% | Mínima |
| Tiempo | 6 | 52.2% | Mínima |
| Costo | 45 | 37.5% | Media |
| Calidad | 4 | 33.3% | Mínima |
| Recursos humanos | 30 | 50% | Mínima |
| Comunicaciones | 78 | 50% | Máxima |
| riesgos | 27 | 40% | Mínima |
| adquisiciones | 19 | 64.7% | Mínima |
| Interesados | 20 | 0% | Máxima |
| Exógenas | 36 | 80% | Mínima |

Fuente: Elaboración propia.

Se concluye que para esta simulación la incertidumbre por falta de información se da en los módulos de gestión del conocimiento de: comunicaciones e interesados.

6.6. Tercera simulación: Modelado de la red compleja de procesos/atributos/variables con base en un caso de estudio específico

Especificaciones del caso de estudio seleccionado:

Sector: Infraestructura - Vías secundarias en el Departamento de Caldas. El proyecto seleccionado hace parte del plan de desarrollo del Departamento de Caldas 2016 – 2019 (Secretaría de Planeación, Gobernación de Caldas, 2016).

Objetivo: La infraestructura de transporte plantea romper las barreras que históricamente moldearon una sociedad cerrada, desigual y con territorios con alta incidencia del conflicto armado. Generar más producción, reduciendo las distancias entre sus centros de consumo y de producción, el tránsito de personas le brindará mayor exposición al talento local ante el mundo y lo enriquecerá mediante el intercambio de ideas y conocimientos, ingredientes indispensables para la innovación.

La infraestructura de transporte será una herramienta fundamental para la construcción de la paz, se facilitarán más presencia en todo el territorio, con oferta de programas sociales, servicios públicos, inversión productiva y seguridad. La conectividad también contribuirá a la

construcción de una sociedad menos desigual, al cerrar brechas poblacionales y territoriales en el acceso a bienes, servicios e información.

La red vial secundaria departamental tiene una longitud de 1.170,3 kilómetros.

La subregión Centro – Sur tiene una red vial en condiciones aceptables de servicio ya que sus vías, tanto pavimentadas como en afirmado, cumplen marginalmente con los requisitos básicos para dar un buen servicio a la población. Los Municipios que se sirven de estas vías son Manizales, Chinchiná, Palestina, Villamaría y Neira y, por el volumen concentrado de población en estas cabeceras, son rutas con un tráfico alto y han sufrido un deterioro progresivo.

Plan vial fase II - infraestructura para la competitividad: Se ha identificado la necesidad de mejorar las condiciones de la superficie de rodadura (pavimentación o placa huella), con el fin de llevar los indicadores de calidad de infraestructura a los estándares de los países de la región. Para lograrlo, además de la continuación de los programas de Corredores de Prosperidad²³ a cargo del INVIAS, se estructurará un programa de pavimentación que priorice aquellos tramos necesarios para la construcción de la paz y el cierre de brechas regionales, y aquellos tramos que conecten ciudades capitales de departamento.

Meta de resultado: Porcentaje de red vial departamental (red secundaria) en buen estado. Con base en lo anterior y dada la importancia estratégica de este proyecto, se ha seleccionado para el estudio un tramo de intervención vial como caso específico, sobre el cual se cuenta con información amplia y suficiente lo que permitió llevar a cabo sin ninguna restricción la simulación.

Proyecto específico seleccionado: Construcción de vías secundarias en municipios del departamento de Caldas – Municipio de Palestina: 1) Tramo Tres Puertas – Alto del Paisa: construcción nueva calzada en pavimento asfáltico tipo MDC (670m).

Modelado y simulación de variables:

1) Determinación de los parámetros de la simulación:

- Se parte de los principios definidos para la segunda simulación, se mantienen los 50 atributos y las 184 variables.
- Si el atributo es exógeno, se determina de manera precisa la información específica al caso de estudio seleccionado.
- El total de variables exógenas y endógenas por área del conocimiento se mantiene como fueron definidas en la segunda simulación.
- El tiempo de proceso de cada nodo y la duración de la conexión para establecer el flujo de información está determinado por una distribución uniforme discreta (se

²³ El programa Corredores Prioritarios para la Prosperidad se encuentra enmarcado con la política de maduración de proyectos (Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014), en el cual se cumple el ciclo de vida de los proyectos de inversión, para que estos, de manera previa a su ejecución, cuenten con estudios de factibilidad, estructuración financiera, diseños de ingeniería y gestión ambiental, social, predial y del riesgo, que permitan un adecuado esquema de asignación de responsabilidades asociadas a las construcción, operación y mantenimiento de la infraestructura vial.

tomaron valores entre 2 y 11), para ejemplificar el proceso, se trabajaron como unidades de tiempo.

- Medidas que se establecieron: información sobre las variables versus óptimos esperados, medidas de nodos y medidas de red.

En las Figuras 46,47,48,49,50 y 51, se muestra la construcción de la red, al paso del flujo de la información, dependiendo de los datos de entrada existentes y de cómo estos van afectando otros atributos u otras variables. El recorrido se hace partiendo del supuesto que como la información puede llegar en cualquier momento, sin ningún orden, se simula de manera aleatoria la llegada de la misma.

Figura 46. Primera secuencia, red compleja caso de estudio específico.



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 46 se muestra que el nodo 1 (exógeno) está en color rojo, lo que significa que le ha llegado información y su estado es: procesando información. El resto de nodos están presentes están sin color y las conexiones están en color negro por encontrarse inactivos.

Los datos de entrada que se conocen del caso de estudio son los siguientes: propósito, objetivos medibles, descripción de alto nivel, lista de interesados, criterios de éxito asociado, requisitos de alto nivel, supuestos, restricciones, resumen cronograma de hitos, limitantes, riesgos, director del proyecto, responsabilidad director del proyecto, nivel de autoridad director del proyecto, patrocinador, nivel autoridad patrocinador, plan de gestión del alcance, plan de gestión de requisitos, plan de gestión cronograma, plan de gestión de costos, plan de gestión de calidad, plan de mejoras del proceso, plan de gestión de recursos humanos, presupuesto de costos.

Figura 47. Segunda secuencia, red compleja caso de estudio específico.

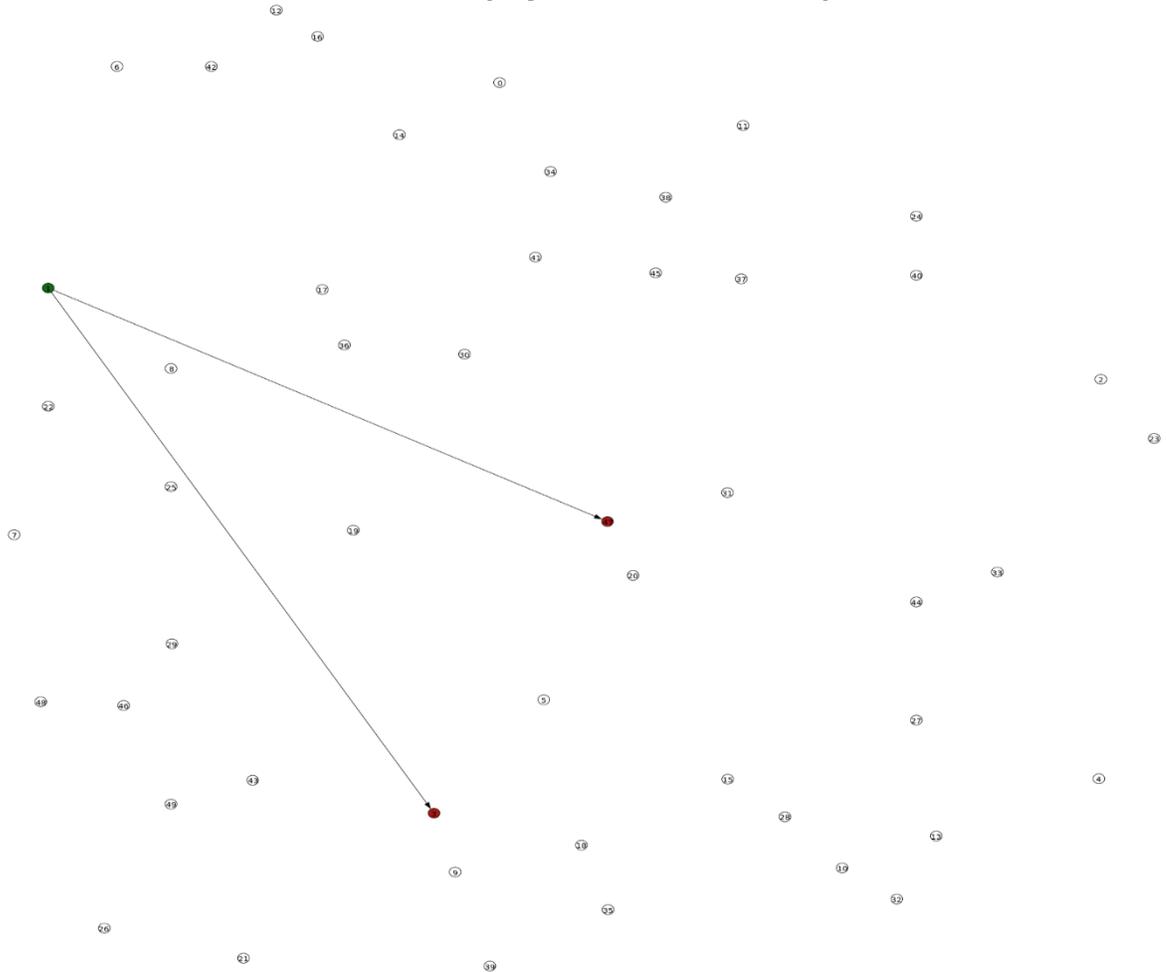
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 47 se muestra que el nodo 1 (exógeno) envía información a los nodos 3 (desarrollar el acta de constitución del proyecto) y 47 (planificar la gestión de los interesados); como está enviando información está en color azul, y los nodos 3 y 47 están en color amarillo, lo que significa que su estado es recibiendo información. La conexión pasa de color negro a color morado, lo que significa que su estado está en enviando información.

El nodo 1 (exógeno) contiene la siguiente información de entrada:

Necesidades del negocio: propósito, objetivos medibles, descripción de alto nivel, lista de interesados: 1) habitantes de la zona, 2) gobierno, departamento, 3) Inficaldas, 4) entes de control, 5) veedurías ciudadanas, 6) alcaldías municipales, 7) comunidad en general.

Figura 48. Tercera secuencia, red compleja caso de estudio específico.

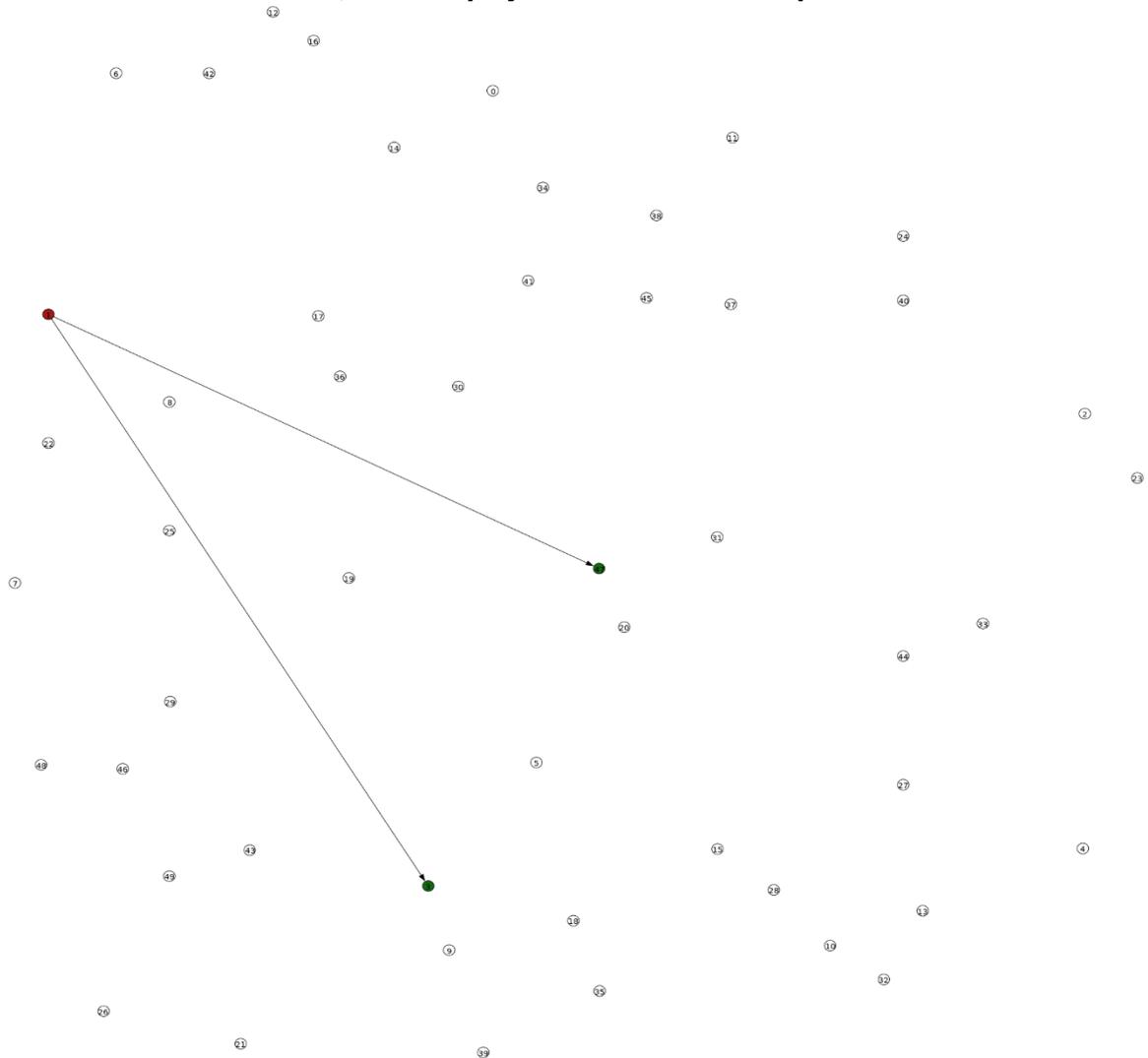


Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 48 se muestra que el nodo 1 (exógeno) ya terminó de enviar información al nodo 3 y 47, pasa al color verde, lo que significa que su estado es pendiente y los nodos 3 y 47 están en color rojo, lo que significa que su estado es procesando información. La conexión sigue en color morado, mientras termina de enviar información.

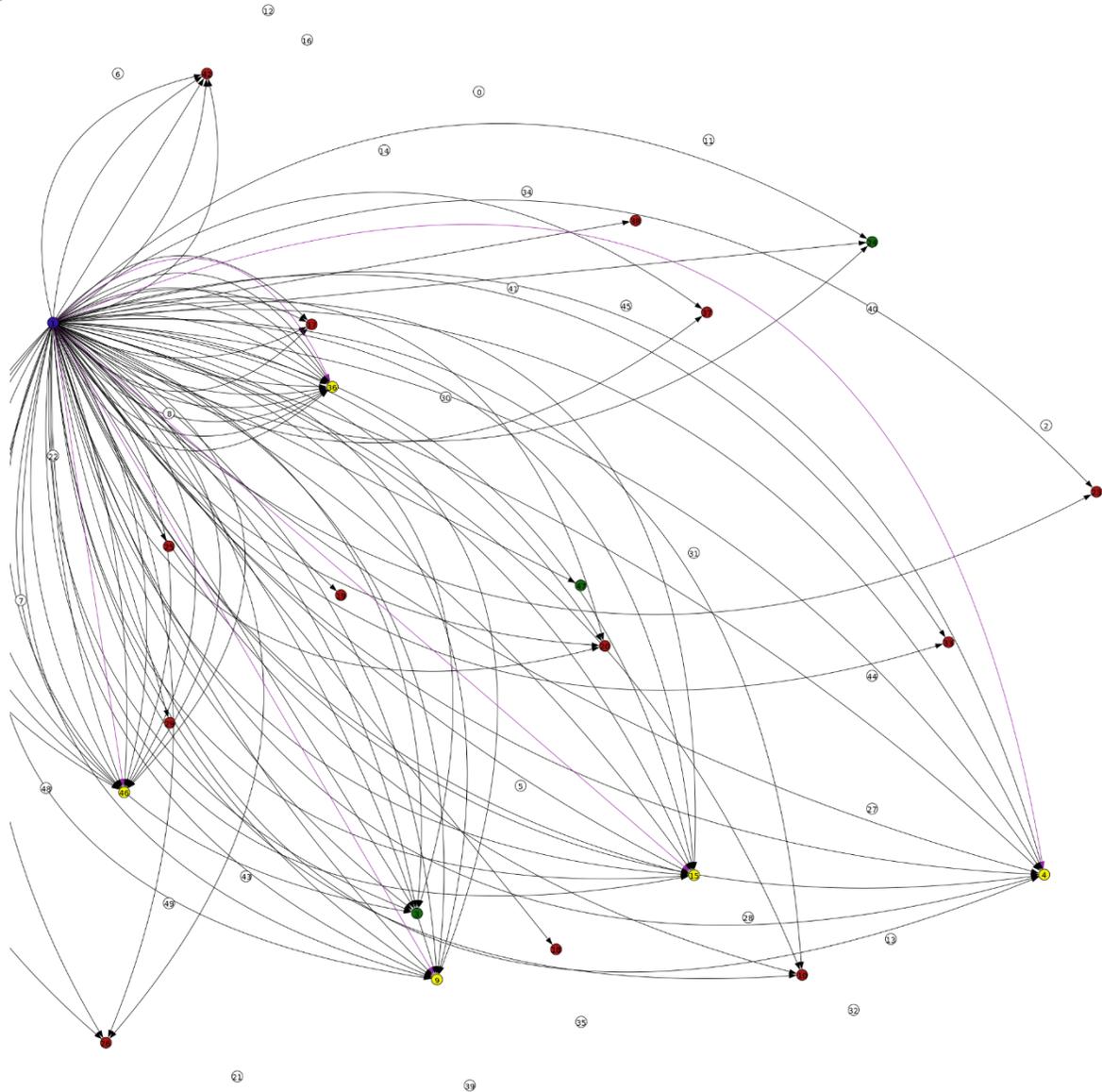
Al nodo 3 (desarrollar el acta de constitución del proyecto) le llega la siguiente información: propósito, objetivos medibles, descripción de alto nivel, lista de interesados.

Al nodo 47 (planificar la gestión de los interesados) le llega la siguiente información: niveles de participación (de los interesados), interrelaciones, requisitos de comunicación, información que recibirán (los interesados).

Figura 49. Cuarta secuencia, red compleja caso de estudio específico.

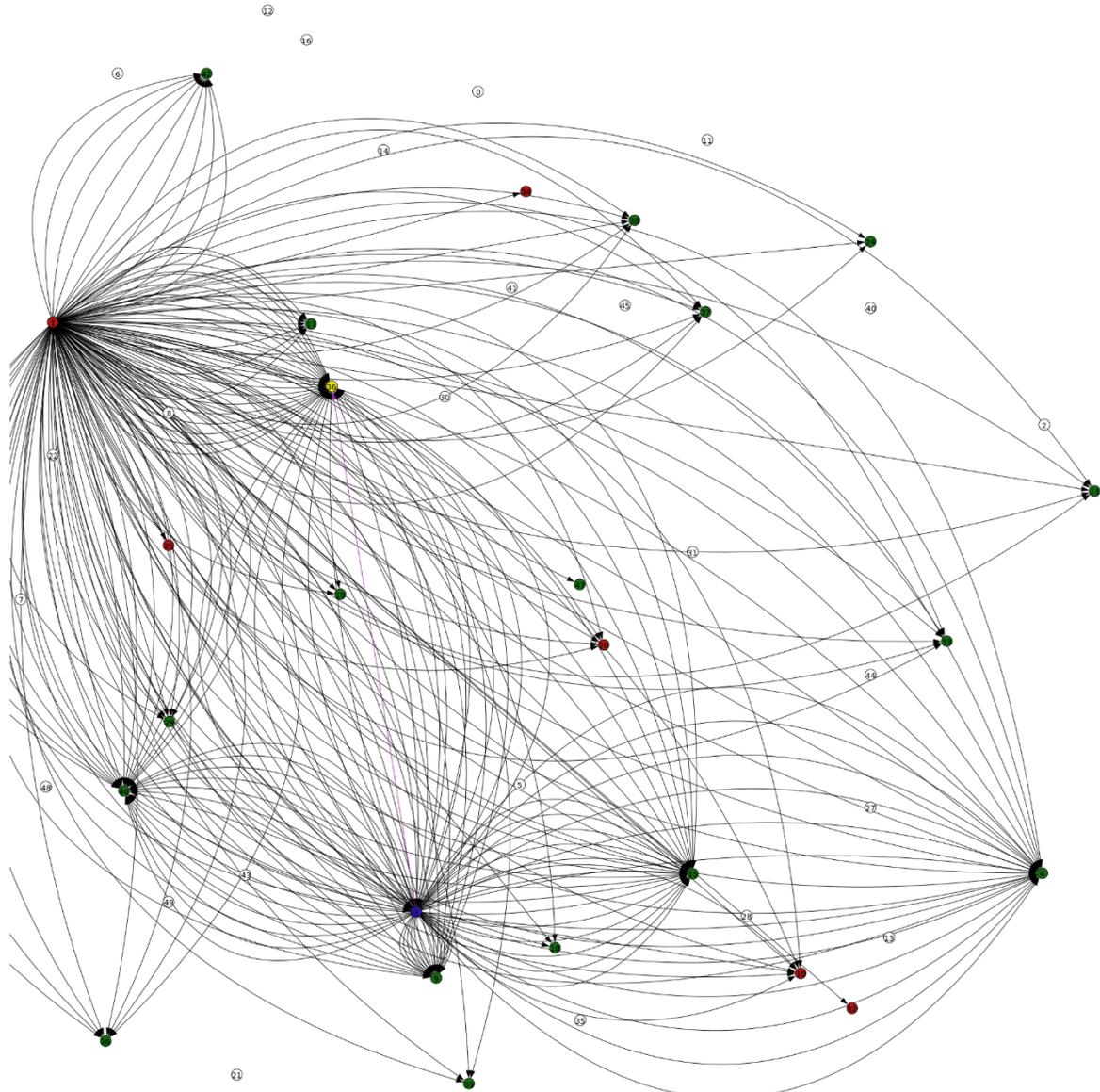
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 49 se muestra que el nodo 1 (exógeno) regresa a color rojo (procesando información), lo que indica que le ha llegado información nueva, los nodos 3 y 47 pasan a color verde, lo que significa que su estado es: pendiente. La conexión pasa a color negro, inactiva. Y así sucesivamente hasta recorrer toda la secuencia de conexiones de manera aleatoria.

Figura 50. Secuencia, red compleja caso de estudio específico.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 50 se muestra que el nodo 1 (exógeno) regresa a color azul (enviando información), hay nodos que se encuentran en color amarillo (recibiendo información), otros nodos se encuentran en color rojo (procesando información) y otros se encuentran en color verde (estado pendiente). La conexión pasa a color morado, lo que significa que se está enviando información.

Figura 51. Secuencia, red compleja caso de estudio específico.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 51 se muestra que el nodo 1 (exógeno) regresa a color rojo (procesando información), hay nodos que se encuentran en color amarillo (recibiendo información), otros nodos se encuentran en color rojo (procesando información) y otros se encuentran en color verde (estado pendiente). La conexión pasa a color negro, esto significa que el estado es inactivo.

2. Resultados y discusión de la simulación de la red compleja de atributos y variables.

Los resultados de la simulación fueron los siguientes:

- a) Con base en la distribución uniforme discreta para el cálculo del tiempo, se tiene que la simulación del flujo de información tuvo una duración de 3.658 unidades de tiempo.

El cálculo del tiempo tuvo en cuenta: tiempo de duración de envío de variables y tiempo de duración de la conexión.

- b) Los grados totales de la red compleja: 1.258, en donde se identificaron nodos fuertes, débiles y sin uso (para la simulación). El resultado específico fue el siguiente, ver Tabla 25.

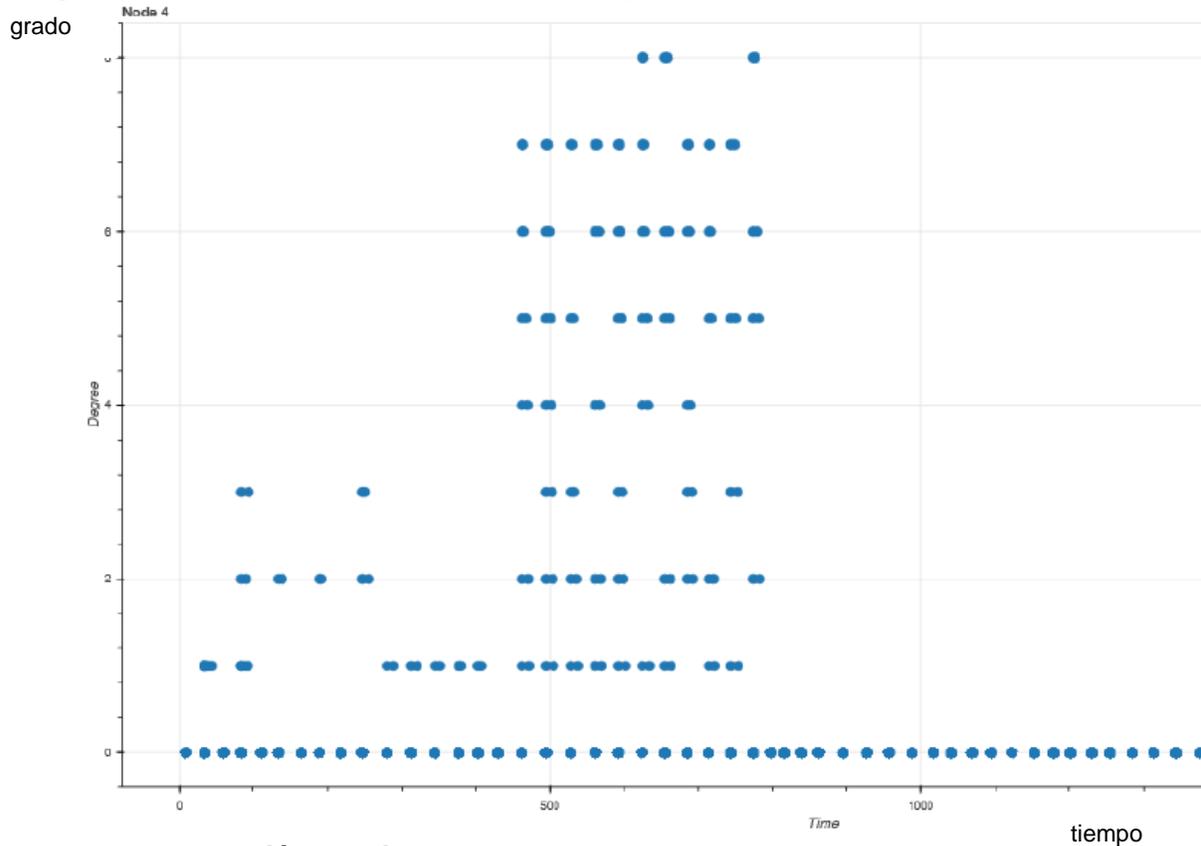
Tabla 25. Resultados grados totales de la red compleja.

| Procesos (nodos sin uso) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|-----|-----|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|----|----|----|----|----|----|
| | 0 | 2 | 5 | 6 | 7 | 8 | 13 | 14 | 27 | 28 | 30 | 31 | 35 | 41 | 43 | 44 | 45 | 48 | 49 |
| Grado | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Procesos (nodos fuertes) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 1 | 3 | 4 | 9 | 10 | 15 | 20 | 23 | 24 | 26 | 29 | 33 | 36 | 37 | 42 | 46 | | | |
| Grado | 174 | 108 | 162 | 55 | 29 | 61 | 47 | 34 | 27 | 35 | 30 | 37 | 101 | 57 | 42 | 52 | | | |
| Procesos (nodos débiles) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 11 | 12 | 16 | 17 | 18 | 19 | 21 | 22 | 25 | 32 | 34 | 38 | 39 | 40 | 47 | | | | |
| Grado | 20 | 16 | 25 | 23 | 20 | 15 | 1 | 22 | 2 | 1 | 1 | 19 | 25 | 15 | 1 | | | | |

Fuente: Elaboración propia.

Los nodos más fuertes son los siguientes: Nodo 1 (desarrollar el acta de constitución del proyecto), Nodo 4 (planificar la gestión del alcance), Nodo 15 (estimar costos).

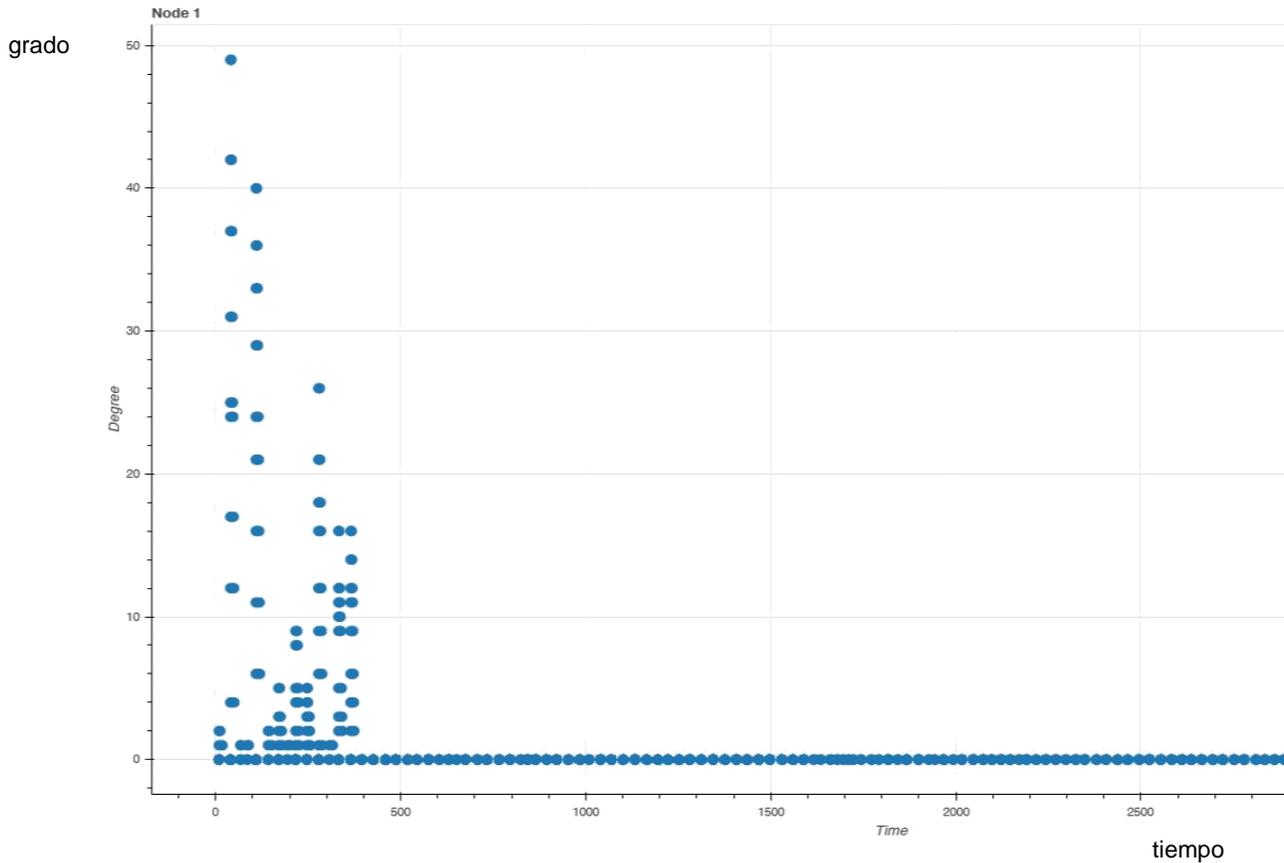
Los nodos más débiles son los siguientes: 16 (definir las actividades), 39 (análisis cuantitativo de riesgos), 17 (secuenciar las actividades). Ver Figuras 52,53 y 54.

Figura 52. Grados del nodo 4, planificar la gestión del alcance.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 52 se muestra al nodo 4 (desarrollar el plan para la dirección), se observa que es el segundo nodo con grado más alto (162) y es uno de los nodos más vulnerable por su alto nivel de ser modificado/actualizado en ciertos momentos de la simulación y por ende es uno de los nodos fuertes de la red compleja (es fuerte por los grados o número de conexiones con otros nodos y se vulnerable porque su remoción puede impactar el desempeño de la red compleja).

Figura 53. Grados del nodo 1, desarrollar el acta de constitución del proyecto.

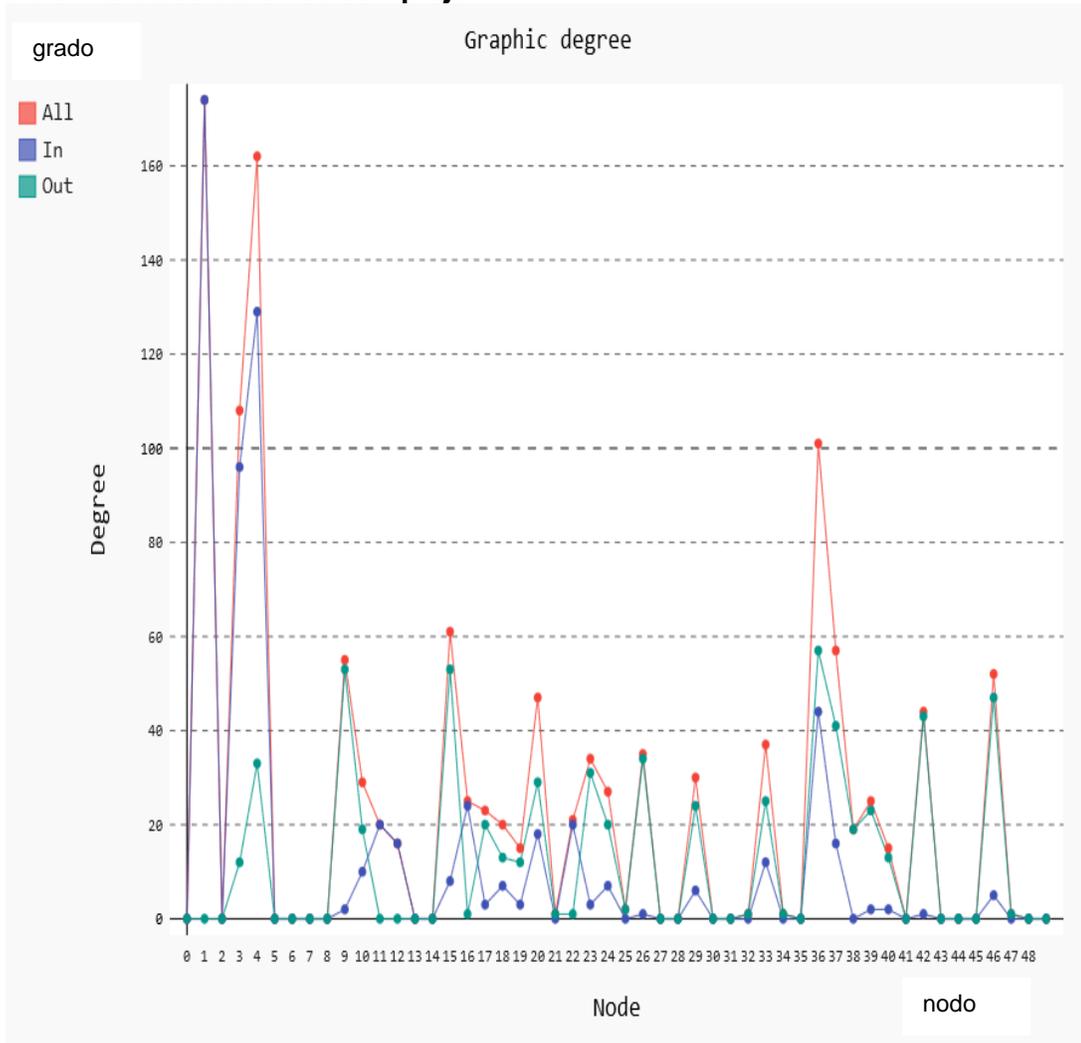


Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 53 se muestra al nodo 1 (desarrollar el acta de constitución del proyecto), es el segundo nodo con grados más alto (174) y cómo puede observarse también es uno de los nodos más vulnerables por su alto nivel de ser modificado/actualizado en un período inicial de la simulación y por ende es uno de los nodos fuertes de la red compleja.

El alto nivel de concentración en un período de la simulación puede entenderse como un período vulnerable en donde se recibe y transfiere información a otros nodos, luego se estabiliza en su nivel de utilización.

Figura 54. Grados de la red compleja.



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 54 se muestran los grados totales por nodo, los grados con base en las conexiones de entrada y los grados con base en las conexiones de salida.

Como puede observarse los nodos fuertes mayor a grado 100, son los siguientes ver Tabla 26.

Tabla 26. Grados totales por subproceso.

| Proceso (nodo) | Grado |
|--|-------|
| 1 (desarrollar el acta de constitución del proyecto) | 174 |
| 4 (planificar la gestión del alcance) | 162 |
| 3 (desarrollar el plan para la dirección) | 108 |
| 36 (planificar la gestión de los riesgos) | 101 |

Fuente: Elaboración propia.

En el análisis se encuentra que estos nodos son fuertes más por las conexiones de entrada que de salida, lo que significa que son más vulnerables en su actualización que en actualizar a otros.

6.6.1. Conclusiones Tercera simulación

Medidas de la red:

- ❖ Asortatividad: 0,2804, si el valor es >0 , entonces las relaciones en la red compleja se establecen entre nodos de similar grado.
- ❖ Densidad: 0,256: Densidad baja, que dependerá del nivel de información con que cuente el proyecto.
- ❖ Diámetro: 5, corresponde a la máxima distancia entre cualquier par de nodos de la red.
- ❖ Adyacencia (ver Tabla 27).

Tabla 27. Nodos con mayor adyacencia con otros.

| Nodos Adyacentes | | Nivel de adyacencia |
|---|---|---------------------|
| 1 (exógeno, con 174 adyacencia total) | 36 (planificar la gestión de los riesgos) | 19 |
| 4 (desarrollar el plan para la dirección, con 129 adyacencia total) | 9 (planificar la gestión del alcance) 15 (planificar la gestión del cronograma) 26 (planificar la gestión de calidad) 29 (planificar la gestión de los recursos humanos) 33 (planificar la gestión de las comunicaciones) 36 (planificar la gestión de los riesgos) 42 (planificar la gestión de las adquisiciones) | 18 |

Fuente: Elaboración propia.

Los nodos con mayor número de adyacencia, son aquellos que están en el grupo de nodos de mayor grado: nodo 1 (exógeno, grado total 174) y nodo 4 (desarrollar el plan para la dirección, grado total 162).

- ❖ Centralidad:
 - Intermediación: Los nodos que dieron con valores superiores son los siguientes: nodo 37 (identificar los riesgos): 113,251, nodo 18 (estimar los recursos de las actividades): 59,41, nodo 23 (estimar costos): 19,865, son los nodos de mayor control sobre la red, lo que indica que por ellos pasará mayor cantidad de información, siendo en sí mismos nodos vulnerables para la red compleja y a su vez nodos fuertes.
 - Cercanía: El nodo 1 (exógeno): 0,04969 y el nodo 4 (desarrollar el plan para la dirección): 0,04895. El nodo más cerca al centro de la red es el nodo 1. Podría asociarse a que el nodo más cerca al centro es el nodo de donde parte la información.
- ❖ Nivel de criticidad (ver Tabla 28).

Tabla 28. Procesos y nivel de criticidad.

| Proceso | Nivel de criticidad | Variables críticas (%) | Nivel de incertidumbre |
|------------------|---------------------|------------------------|------------------------|
| Inicio | 45 | 100% | Mínima |
| Integración | 71 | 100% | Mínima |
| Alcance | 33 | 100% | Mínima |
| Tiempo | 84 | 100% | Mínima |
| Costo | 89 | 100% | Mínima |
| Calidad | 66 | 100% | Mínima |
| Recursos humanos | 87 | 100% | Mínima |
| Comunicaciones | 12 | 100% | Mínima |
| Riesgos | 27 | 100% | Mínima |
| Adquisiciones | 19 | 64.7% | Mínima |
| Interesados | 58 | 100% | Mínima |
| Exógenas | 52 | 100% | Mínima |

Fuente: Elaboración propia.

Se concluye que para esta simulación la incertidumbre es mínima, se cuenta con suficiente información al inicio del proyecto o fase de planificación.

A continuación, se presentan reflexiones sobre los resultados de la simulación:

- Si bien es cierto que el nivel de incertidumbre de este proyecto es mínimo, esto no significa que el mismo se mantenga durante la ejecución del proyecto. En la realidad el proyecto en su planificación se presentó de manera determinística coincidiendo con la simulación con un bajo nivel de incertidumbre, el proyecto en su ejecución pasó a ser no determinístico como consecuencia de las variables exógenas y variables endógenas que elevaron el nivel de incertidumbre del proyecto.
- La aparente certeza de un nivel mínimo de incertidumbre podría inducir a nombrar un gerente para el proyecto con pensamiento clásico y simplificador, lo que seguramente agravaría la toma de decisiones cuando este nivel de incertidumbre varíe durante la ejecución del proyecto. Esta conclusión se pudo comprobar con lo que realmente ocurrió en el proyecto, el gerente de proyectos con su pensamiento simplificador, optó por reducir las emergencias que se presentaron, simplemente re-planificando el proyecto, lo cual condujo a cambios de estados en el sistema generando niveles altos de incertidumbre poniendo en riesgo la ejecución del proyecto.
- Este proyecto es financiado por el sistema general de regalías²⁴, este sistema está diseñado para proyectos determinísticos y con bajo nivel de incertidumbre, lo cual es contradictorio, implica que en un alto porcentaje de este tipo de proyectos tenga

²⁴ El Sistema General de Regalías SGR es un esquema nuevo de coordinación entre las entidades territoriales y el Gobierno nacional a través del cual se determina la distribución, objetivos, fines, administración, ejecución, control, el uso eficiente y destinación de los ingresos provenientes de la explotación de los recursos naturales no renovables precisando las condiciones de participación de sus beneficiarios (Ministerio de Hacienda).

desviaciones no permisibles y que conduzcan a problemas adicionales para lograr sus ajustes²⁵.

- Los proyectos del SGR son evaluados después de reportar avances en su ejecución a través de los siguientes indicadores: administración (40%) y control de calidad (60%). Estos indicadores se evalúan de manera posterior, no hay una herramienta que conduzca a simular comportamientos de manera anticipada que puedan afectar a futuro el proyecto.
- Con base en la reflexión anterior, si la planificación de los proyectos del sector de la construcción de vías tiene este comportamiento similar, el nivel de fracaso de los mismos será alto.

Como reflexión general se tiene que los proyectos de este tipo (construcción – vías), se planifican bajo un modelo ideal, en donde se mantiene los tres criterios críticos: el tiempo, el alcance y los costos. Las incertidumbres se reducen a información suministrada inicialmente; los riesgos, las variables exógenas y variables endógenas influyentes no se cuantifican, no se cruzan entre ellas para revisar incidencias, por lo que estos análisis no se incluyen en los costos ni en el tiempo. Los costos y el tiempo estarán desajustados para darle cumplimiento al alcance. Se plantean las siguientes preguntas: ¿Cuántos proyectos de construcción – vías son adicionados en presupuesto y prorrogados en tiempo?, como por costumbre el porcentaje de éxito de los proyectos de obra es bajo en su gestión y en la mayoría de los casos alto en su resultado, ¿Los tomadores de decisiones se acostumbraron a que lo normal son los desfases en los factores críticos?, ¿Los gerentes asignados a este tipo de proyectos en Colombia vienen del pensamiento clásico?

Si la medición de desempeño de los proyectos complejos está determinada por el tiempo, costo y alcance, ¿esto en sí mismo no simplifica el nivel de complejidad de un proyecto complejo?, ¿estos criterios no deberían ser consecuencia de la identificación de los factores críticos y de su tratamiento durante la planificación?, como se indicó en un capítulo anterior, ¿la eficiencia, eficacia e innovación, deberán ser los criterios para determinar el desempeño de los proyectos complejos?, si la planificación del proyecto está basada en métodos determinísticos ¿qué métodos se aplican en la ejecución del proyecto?, ¿lo determinístico determinará desde el inicio el fracaso del proyecto?

6.7. Cuarta simulación: Modelado de la red compleja de actividades en fase de ejecución, con base en un caso de estudio específico, a través de la dinámica de sistemas.

Con base en el PMBOK®, y tomando como fases del ciclo de vida de los proyectos: planificación, ejecución, monitoreo y control y cierre y, una vez presentadas las simulaciones anteriores sobre la fase de planeación a través de redes complejas, se presenta la cuarta

²⁵ Evaluación del sistema general de regalías, diciembre de 2017 (Contraloría General de la República): Con base en la información del DNP al 2017, se calculó el tiempo entre la aprobación de proyectos y la suscripción del primer contrato. Se tomaron 10.025 proyectos por valor de 20,1 billones. Un total de 2.969 proyectos se demoraron más de seis meses en iniciar la ejecución (el 30%), por un valor de alrededor siete billones de pesos (35% del valor) y el 14% de los proyectos, por un valor de \$3,5 billones, tardaron más de nueve meses en iniciar ejecución, (el 17% del valor).

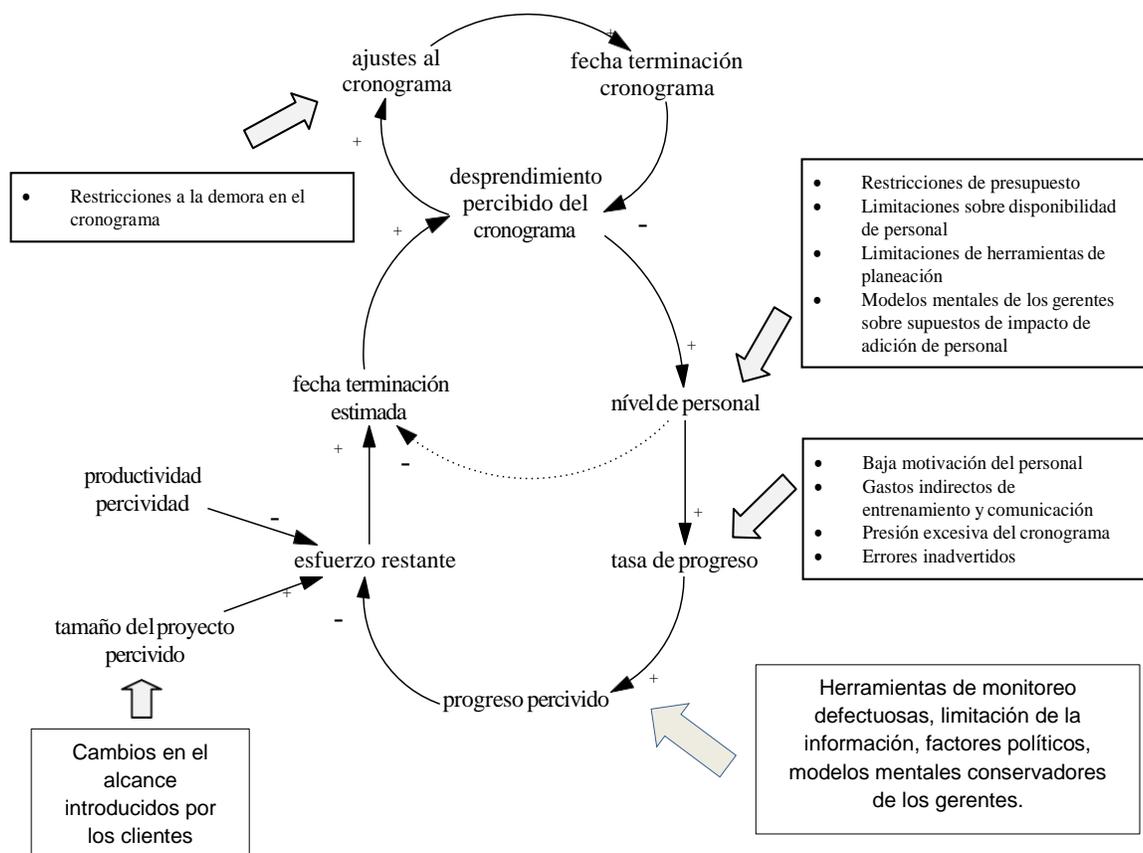
simulación correspondiente a la fase de ejecución, con el objetivo de determinar el comportamiento de sus variables a través de la dinámica de sistemas.

Modelado y simulación de la fase de ejecución: Se simula la fase de ejecución del caso de estudio seleccionado, con base en un conjunto de actividades definidas durante la fase de planeación.

Dinámica de sistemas: Para el caso de estudio que nos ocupa, la dinámica de sistemas se basa en una visión compleja del proceso de gestión de proyectos y se centra en los procesos de respuesta que suceden durante su ejecución (Rodríguez et. al. 1996).

En la Figura 55 se ilustra la fase de ejecución de un proyecto a través del modelo de dinámica de sistemas.

Figura 55. Ciclo del control del proyecto.



Fuente: Rodríguez & Bowers (1996).

Determinantes de la simulación:

Se toma el conjunto de actividades definidas para el caso de estudio seleccionado.

Las actividades son representadas por variables de nivel, las cuales se definen como el porcentaje de ejecución de la actividad y se encuentran en función de la tasa de ejecución y

salida de la misma, en aplicación de la metodología para elaborar modelos dinámicos de redes CPM y PERT (González, Kalenatic y López, 2008).

$$NEA_{ik} = NEA_{ij} + (TEA_{ijk} - TRA_{ijk}) * dt$$

Donde:

NEA_{ik} = nivel de ejecución de la actividad "i", en el tiempo actual

NEA_{ij} = nivel de ejecución de la actividad "i", en el tiempo anterior

TEA_{ijk} = tasa de ejecución de la actividad "i", entre el tiempo anterior y el tiempo actual

TRA_{ijk} = tasa de reproceso de la actividad "i", entre el tiempo anterior y el tiempo actual

La tasa de ejecución de la actividad se define en términos porcentuales y depende de la norma técnica de la actividad, la cual es la duración estándar para la ejecución de la actividad:

$$TEA = \text{if } (NEA \leq 100) \text{ then } (ENT/NTA)$$

Donde:

NTA = Norma técnica de la actividad, para el caso de estudio son los parámetros dados por la autoridad nacional INVIAS, sobre la ejecución de proyectos de obra vial.

ENT = Ejecución de la norma técnica (dependerá del comportamiento de las variables no controlables: exógenas y endógenas).

TRA = Tasa de reproceso, dada por la necesidad de reprocesar una actividad específica, que puede estar dada por problemas de calidad, condiciones defectuosas del material utilizado o por variables exógenas (ejemplo condiciones climáticas desfavorables).

Las actividades en la gestión de proyectos se ejecutan dependiendo de la naturaleza de su precedencia, pueden ejecutarse de manera secuencial o de manera concurrente.

La representación de las variables no controlables, dependen de una función de probabilidad que afecta la tasa de ejecución de la actividad relacionada, de tal manera que esta puede retrasar, permitir o adelantar la ejecución de la actividad. En otros casos las variables no controlables no detienen la ejecución de la actividad, en su lugar modifican la cantidad de recursos requeridos para su ejecución, aumentando o disminuyendo la norma técnica de ejecución de la actividad (ENT), para estos casos la ENT deja de ser constante y se convierte en una variable dependiente de las variables no controlables.

Así mismo, cada actividad requiere de una cantidad de recurso renovable o no renovable²⁶ para su ejecución, los cuales se representan por medio de variables auxiliares y variables de nivel dependiendo del recurso. De esta manera se hace la representación de una variable que contiene componentes endógenos y exógenos, los cuales pueden alterar las

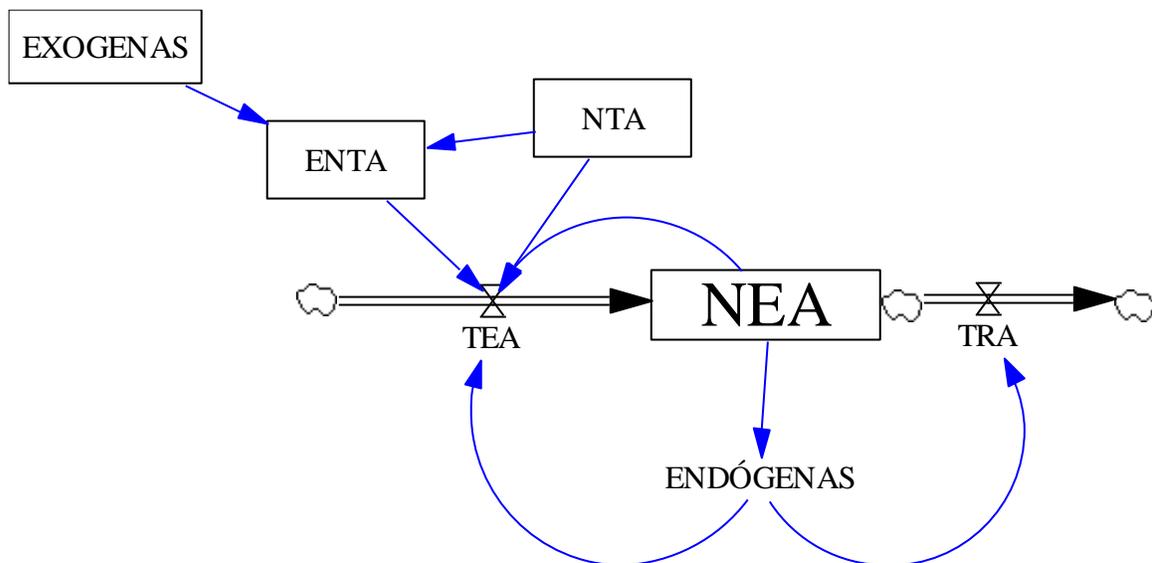
²⁶ Los recursos renovables se renuevan periodo a periodo y solo la cantidad total utilizada en cada instante está limitada (por ejemplo, el recurso humano), los recursos no renovables asociados a una actividad se consumen cuando la actividad se ejecuta y no se puede contar con ellos nuevamente (por ejemplo el presupuesto y los materiales asociado a cada actividad) (PMBOK®, 2013).

condiciones iniciales del proyecto, en menor o gran medida, de manera positiva o negativa, obligando en algunos casos a cambiar de estado el sistema o cambiar el mismo sistema.

1. Determinación de los parámetros de la simulación:

- La simulación tiene como objetivo ver cómo afectan las variaciones durante la ejecución del proyecto, definiendo factores críticos de éxito aquellos que están en relación con las variables exógenas y aquellas endógenas que generan incertidumbre en la ejecución del proyecto.
- Los nodos de la red compleja son las actividades (niveles), los flujos de información son las precedencias (González, Kalenatic y López, 2006).
- Cada actividad genera su propia dinámica (ver Figura 56).

Figura 56. Diagrama de Flujo y Niveles sobre la actividad de un proyecto, modelo dinámica de sistemas.



Fuente: Elaboración propia con base en las contribuciones de González et. al. (2012).

La Figura 56 muestra el diagrama de flujo y niveles sobre la actividad de un proyecto con base en la dinámica de sistemas, esta dinámica es aplicable a cada actividad desde que inicia su ejecución hasta su terminación. El nivel de ejecución de la actividad (NEA), está dado por su tasa de ejecución (TEA) y su tasa de reproceso (TRA), lo que permitirá ir evaluando el avance o retraso de una actividad en un tiempo específico. En esta dinámica influyen: las variables exógenas, las variables endógenas y el referente de la norma técnica.

En la Figura 56 se muestra la representación de una actividad representada por variables de nivel: TEA y TRA, la retroalimentación (+ o - o neutra) no se considera por ser una representación general.

La definición del modelo de dinámica de sistemas se determina a partir de los elementos, interacciones y límites del sistema, que comprenden la identificación de la unidad base de una actividad de un proyecto como lo definen González et. al. (2012).

- La información del caso de estudio específico, como entrada a la simulación es la siguiente:
NTA (norma técnica actividad), esta norma son las condiciones iniciales de planificación por actividad y es norma técnica porque se basa en las normas que ha expedido INVIAS en Colombia para la construcción de vías (ver Tabla 29).

Tabla 29. Ejemplo de la Norma Técnica para el caso de estudio, nodo 1 y 2.

| NODO | DESCRIPCIÓN | predecesora | duración | DSD | HST | UNIDAD | CANTIDAD | PRECIO | TOTAL | % sobre el valor del contrato |
|------|--|-------------|----------|-----|-----|--------|----------|--------------|--------------|-------------------------------|
| 1 | Localización y replanteo | | 2 | 1 | 2 | Km | 1,2 | \$ 1.823.500 | \$ 2.188.200 | 0,05% |
| 2 | Excavación en material común de la explanación y canales | 1 | 7 | 2 | 8 | M3 | 1.955,0 | \$6.485 | \$12.678.175 | 0,30% |

Fuente: Elaboración propia.

Se parte de una planificación inicial la cual puede variar durante la ejecución del proyecto.

- La simulación se hace sobre el conjunto de actividades del caso específico descrito en el tercer experimento.
Para la presente simulación, el tiempo de cada actividad se considera como una variable aleatoria según una distribución de probabilidad Beta, en donde:
Duración Estimada = (Estimación optimista +4 (estimación más probable) + estimación pesimista) / 6.
La estimación de los tiempos optimista, más probable y pesimista se determinaron a través de expertos y luego se realizó el cálculo de las duraciones estimadas. Esta duración corresponde a la duración de proceso de cada nodo (actividad).
La duración de la conexión entre nodos está determinada por una distribución uniforme discreta, tomando valores entre 2 y 11 como unidades de tiempo.

A través de la dinámica de sistemas, se lleva a cabo la caracterización del sistema, en donde se identifica lo siguiente: actividades, ficha técnica del proyecto y variables.

Actividades (NTA – norma técnica de actividades).

Ficha técnica del proyecto (la cual está dada como resultado del tercer experimento), recursos asociados a las actividades: recursos renovables (recursos humanos, equipos) y recursos no renovables (presupuesto).

Los recursos renovables son aquellos que se encuentran disponibles durante la ejecución del proyecto y los recursos no renovables son aquellos que se van agotando durante la ejecución del proyecto.

Identificación de variables, estas variables estarán asociadas a cada actividad y podrán ser de 4 tipos.

- *Variables de control*: tiempo (TEP – tiempo ejecución del proyecto) y costos (CTP – costo total del proyecto).
- *Variables exógenas críticas para el proyecto*:
 - Clima: períodos secos (no lluvia, llovizna, aguaceros), períodos lluviosos (no lluvia, llovizna, aguaceros). Afecta TEP.
 - Medio ambiente y contaminación. Afecta TEP.
 - Índice de precios. Afecta CTP.
 - Cadena de suministros. Afecta TEP.
 - Imprevistos, entorno social y seguridad: Afecta TEP.
 - Diseño. Afecta CTP y el TEP.
 - Otros. Puede afectar CTP o TEP.

El tratamiento de las variables exógenas se realiza teniendo en cuenta las 7 variables relacionadas:

$$\begin{aligned} \text{Ent_Exógenas} &= 1(\text{peso} \cdot \text{valor}) + 2(\text{peso} \cdot \text{valor}) + 3(\text{peso} \cdot \text{valor}) + 4(\text{peso} \cdot \text{valor}) \\ &+ 5(\text{peso} \cdot \text{valor}) + 6(\text{peso} \cdot \text{valor}) + 7(\text{peso} \cdot \text{valor}) \\ \text{Total_exógenas} &= \text{Ent_Exógenas} / (\text{sumatoria de pesos}) \end{aligned}$$

En donde:

Peso= valor aleatorio

Valor= valor aleatorio asignado a cada variable exógena, valor =1 significa que no hay afectación de la variable exógena en el proyecto, valor <1 significa que hay afectación de la variable exógena en el proyecto.

Los valores aleatorios asignados se harán por unidad de tiempo, que para el caso específico seleccionado está dado en semanas.

- *Variables endógenas críticas para el proyecto*:
 - Recursos humanos (disponibilidad). Afecta TEP y CTP.
 - Rendimiento. Afecta TEP y CTP.
 - Reprocesos por mala calidad. Afecta TEP y CTP.
 - Ausentismo. Afecta TEP y CTP.
 - Aprendizaje. Afecta TEP.
 - Incentivos y motivación al personal. Afecta TEP.
 - Experiencia del personal. Afecta TEP.
 - Fatiga del personal. Afecta TEP.
 - Demoras debido a maquinarias y equipos. Afecta TEP y CTP.
 - Financiero (variaciones sobre el presupuesto). Afecta TEP y CTP.
 - Materiales. Afecta CTP.
 - Otros. Puede afectar CTP y/o TEP.

El tratamiento de las variables exógenas se realiza teniendo en cuenta las 12 variables relacionadas:

$$\begin{aligned} \text{Ent_Endógenas} &= 1(\text{peso} \cdot \text{valor}) + 2(\text{peso} \cdot \text{valor}) + 3(\text{peso} \cdot \text{valor}) + 4(\text{peso} \cdot \text{valor}) \\ &+ 5(\text{peso} \cdot \text{valor}) + 6(\text{peso} \cdot \text{valor}) + 7(\text{peso} \cdot \text{valor}) + 8(\text{peso} \cdot \text{valor}) + 9(\text{peso} \cdot \text{valor}) \\ &+ 10(\text{peso} \cdot \text{valor}) + 11(\text{peso} \cdot \text{valor}) + 12(\text{peso} \cdot \text{valor}) \\ \text{Total_endógenas} &= \text{Ent_Endógenas} / (\text{sumatoria de pesos}) \end{aligned}$$

En donde:

Peso= valor aleatorio entre 0 y 1.

Valor= valor aleatorio asignado a cada variable endógena, valor =1 significa que no hay afectación de la variable endógena en el proyecto, valor <1 significa que hay afectación de la variable endógena en el proyecto.

Los valores aleatorios asignados se harán por unidad de tiempo, que para el caso específico seleccionado está dado en semanas.

- *Variables independientes, variables adicionales a las exógenas:* Valor medio hora extra: \$5.200, Valor del costo administrativo: 0,35, Tolerancia permitida en la discrepancia: 5% y Política frecuencia de controles: se determina que es semanal.
- Identificación de la estructura sistémica y construcción del modelo de control:
 - i: identificador asignado a la actividad
 - j: unidad de tiempo anterior
 - k: unidad de tiempo actual
 - total_exógenas: cálculo variable exógena
 - total_endógenas: cálculo variable endógena
 - CTP: variable asociada al costo del proyecto
 - TEP: variable asociada al tiempo del proyecto

2. Con base en los parámetros anteriores se definieron los siguientes pasos generales para llevar a cabo la simulación:

- Se recorre el listado de actividades establecido para el caso de estudio específico.
- A partir de las actividades, se crea la red compleja, en donde cada nodo corresponde a una actividad, con su propia dinámica de sistemas. A través de la identificación de colores se puede establecer la dinámica de cada nodo y la dinámica de las conexiones:
 - Nodo verde, en estado inicial
 - Nodo rojo, en estado de ejecución
 - Nodo azul, en estado culminado
 - Conexión en negro, en estado inicial
 - Conexión en verde, en estado de ejecución
- Se asignan atributos a cada nodo: tiempo, costos, unidad de medición (km), cantidad (km).
- Se toman los atributos asignados como críticos para evaluarlos.
- La unidad de tiempo para monitorear el proyecto es "semanal".
- Se da paso a la simulación de la ejecución del proyecto, incluyendo simulación de variables endógenas y exógenas (valores que fueron asignados por semana).

Tanto las variables endógenas como exógenas pueden generar retrasos durante la ejecución de una actividad.

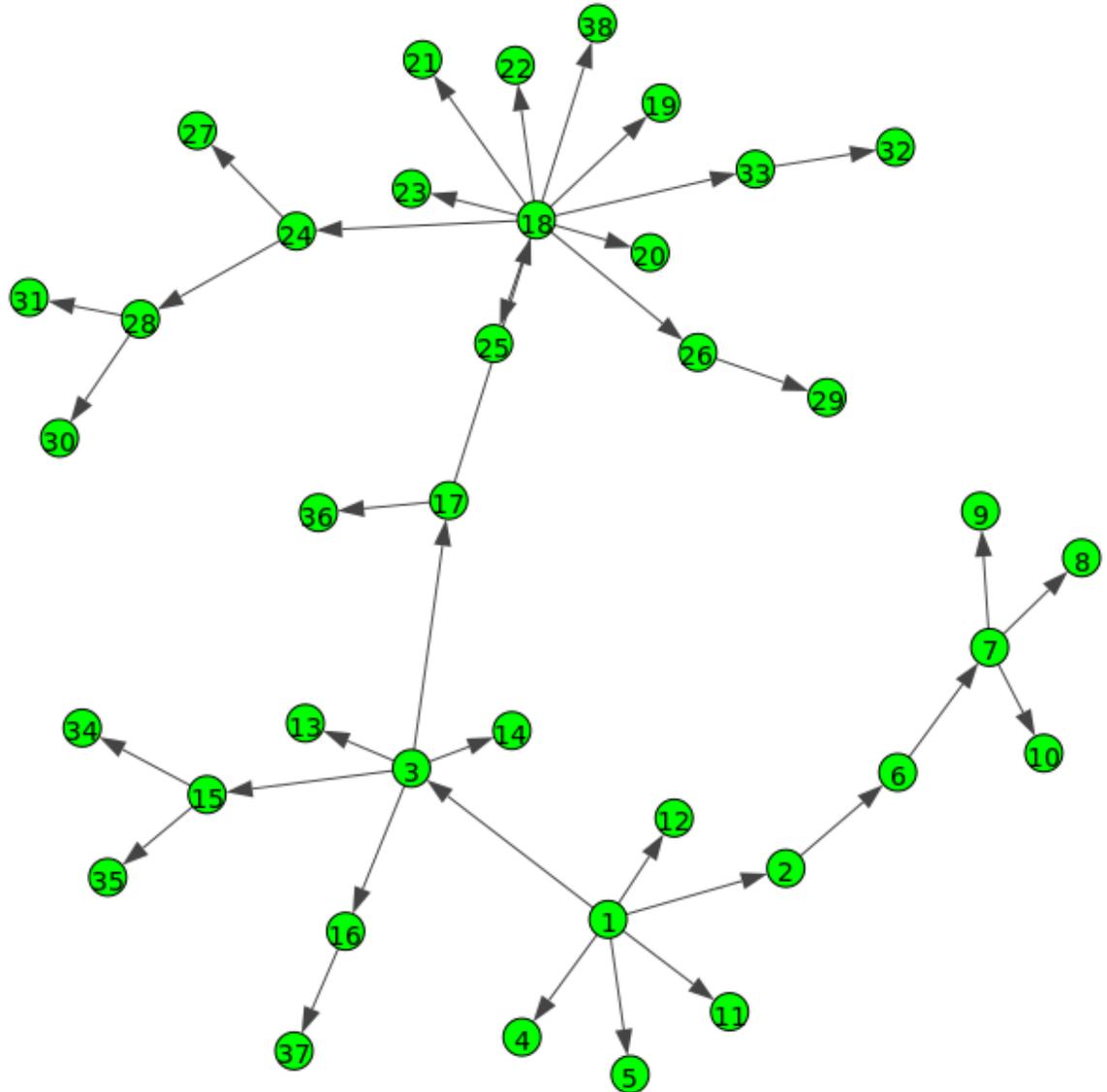
- Se analizan los niveles de incertidumbre.
- Se efectúa análisis de sensibilidad.

6.7.1. Resultados y discusión de la simulación de la red compleja de actividades.

Resultados de la planificación de la red de actividades.

Se parte del proyecto específico seleccionado y se toman las actividades necesarias para ejecutarlo (ver Figura 57), inicialmente el estado de los nodos está en verde, en proyectos de obra, este conjunto de actividades son el resultado de los análisis efectuados en campo y la revisión de los estudios y diseños para el caso específico, del tramo a intervenir.

Figura 57. Red compleja de actividades, fase de ejecución.



Fuente: Elaboración propia.

La ejecución se realiza por semana y de esta manera se hace el cálculo de las diferentes variables:

NTA: norma técnica actividad

NEA_{ik}: nivel de ejecución de la actividad

TEA_{ijk}: tasa de avance por unidad de tiempo en función del NTA

Total_endógenas: valor entre 0 y 1

Total_exógenas: valor entre 0 y 1

Variables de resultado, básicas: Estas variables corresponden al cálculo del valor ganado (esfuerzo invertido en el proyecto) y del costo real ejecutado.

PV= NTA, presupuesto autorizado

EV= NEA*PV, valor ganado

AC= TRA, costo real (se simula un valor entre: NTA, menos del 20% del NTA, más del 20% del NTA)

Variables de resultado, desempeño del trabajo: Estas variables corresponden al cálculo de la variación del cronograma y del costo en términos de presupuesto, porcentaje y tasa.

Variación del cronograma:

SV= EV-PV, variación del cronograma, diferencia entre el valor ganado y valor planificado.

SV%=SV/PV, variación del cronograma expresado en %.

SPI=EV/PV, índice de desempeño del cronograma, medida de eficiencia de uso del tiempo, <1: retraso, > 1: avance superior (se puede analizar contra la ruta crítica).

Variación del costo:

CV=EV-AC, variación del costo, monto del déficit o superávit presupuestado en un momento dado, es una medida de análisis crítico: relación entre desempeño real y costos incurridos.

CV%=CV/EV, variación del costo expresado en %.

CPI=EV/AC, índice de desempeño del costo, medida de eficiencia del costo de los recursos presupuestados, <1: superior al planificado, >1: inferior a lo presupuestado.

Variables pronóstico: tienen en cuenta valores acumulados de las actividades que se han venido ejecutando.

BAC=ΣPV (por actividad)

ETC= (BAC-EV) /CPI, costo esperado para completar el trabajo

EAC= AC+ETC ascendente, costos reales + estimación hasta la conclusión

EAC=AC+(BAC-EV), pronóstico de la EAC suponiendo que el proyecto seguirá con base a lo planificado.

EAC=BAC/CPI, pronóstico de la EAC, se mantiene el comportamiento del índice de desempeño del costo

EAC=AC+[(BAC-EV) / (CPI*SPI)], pronóstico de la EAC, considerando factores SPI y CPI

Variación al final (presupuesto)

VAC=BAC-EAC, muestra al final como se terminará, si por encima del presupuesto o por debajo del presupuesto.

Indicadores al final

TCPI=(BAC-EV) / (EAC-AC)

Porcentajes de comparación

%completado=EV/BAC, % de alcance logrado

%spent-eac=AC/EAC, lo que se ha gastado (%) respecto al pronóstico

%spent-bac=AC/BAC, lo que se ha gastado (%) respecto a lo presupuestado

Presentación de Resultados: La simulación se realizó hasta completar el conjunto de actividades del proyecto.

- El proyecto original (caso de estudio seleccionado) estaba planificado para ser ejecutado en 27 semanas, una vez se avanzó con el proceso de simulación en donde intervinieron variables exógenas y variables endógenas que retrasaron la ejecución del mismo, y la afectación por tasa de reproceso, las semanas totales fueron 107. El desfase entre lo planificado y lo ejecutado fue de 80 semanas equivalente a un 396%.
Este desfase trae como consecuencia desfinanciación del proyecto, retrasos en la entrega de la obra, afectaciones mayores para la comunidad y que la gestión del proyecto tenga un bajo porcentaje de éxito así la obra a la final sea entregada.
El proyecto en la realidad también sufrió retrasos mayores (120 semanas), así como lo que arrojó la simulación, lo cual permite concluir que este tipo de herramientas de simulación serían efectivas para mejorar el desempeño de la gestión de los proyectos.
- Las variables endógenas tomaron valores aleatorios entre 0 y 1, simulando la variabilidad de éstas y la incidencia que podrían tener sobre la ejecución del proyecto.
En promedio durante las 107 semanas la variable de mayor incidencia fue la de los ausentismos.
Como ejemplo, se presenta algunas variables endógenas y los valores obtenidos para las primeras 3 semanas, ver Tabla 30.

Tabla 30. Ejemplo de variables endógenas y valores obtenidos

| Recursos humanos | Rendimiento | Reprocesos | Ausentismo | Aprendizaje | Motivación | Experiencia | Fatiga | presupuesto |
|------------------|-------------|------------|------------|-------------|------------|-------------|--------|-------------|
| 0,4 | 0,2 | 0,3 | 0,8 | 0,4 | 0,3 | 0,5 | 0,5 | 0,4 |
| 0,4 | 0,9 | 1 | 0,1 | 0,6 | 1 | 0,8 | 0,4 | 0,3 |
| 0,6 | 0,4 | 0,5 | 0,3 | 0,6 | 0,8 | 0,8 | 0,4 | 0,4 |

Fuente: Elaboración propia.

Interpretación: Valores inferiores a 1 indican afectación de la ejecución de la actividad como consecuencia de un nivel inferior de disponibilidad de la variable endógena, por ejemplo, contar con menos recurso humano del requerido, el rendimiento es inferior al esperado, se dan reprocesos por calidad, el nivel de ausentismo es alto, el nivel de aprendizaje del recurso humano que ejecuta la actividad no es el óptimo, el nivel motivacional del recurso humano no es óptimo, la experiencia del recurso humano no es óptimo, el nivel de fatiga del recurso humano es alto.

Si durante la ejecución los valores tomaran un valor de 1, lo planificado inicialmente se cumpliría totalmente.

Puede concluirse que a pesar de que las variables endógenas pueden ser controladas estas también pueden afectar de manera drástica el proyecto.

- Las variables exógenas tomaron valores aleatorios entre 0 y 1, simulando la variabilidad de éstas y la incidencia que podrían tener sobre la ejecución del proyecto.
Como ejemplo, se presenta algunas variables exógenas y los valores obtenidos para las primeras 3 semanas: (ver Tabla 31)

Tabla 31. Ejemplo de variables exógenas y valores obtenidos

| Clima | Medio ambiente | Índice de precios | Cadena de suministros | Imprevistos, entorno social, seguridad | diseño |
|-------|----------------|-------------------|-----------------------|--|--------|
| 0,7 | 0,6 | 0,6 | 0,2 | 0,6 | 0,3 |
| 0,3 | 0,2 | 0,6 | 0,8 | 0,3 | 0,8 |
| 0,4 | 0,6 | 0,5 | 0,7 | 0,7 | 0,9 |

Fuente: Elaboración propia.

Interpretación: Valores inferiores a 1 indican que esta variable exógena afecta en mayor o menor grado la ejecución de las actividades ejecutadas durante esa semana. Valores cercanos a 0 afectan en mayor grado la ejecución durante esa semana, valores cercanos a 1 afectan en menor grado la ejecución durante esa semana.

En promedio durante las 107 semanas las variables de mayor incidencia fueron: otras variables exógenas y la de imprevistos, entorno social y seguridad.

Por ejemplo, un clima adverso a la ejecución de la obra, afectación al medio ambiente (por ejemplo, retrasos en la obtención de permisos ambientales), cambios en los índices de precios, problemas con la cadena de suministros (en el caso de la obra puede ser consecución de material granular para el pavimento de la vía), imprevistos (como puede ser derrumbes en la vía) y diseño (cambios en el diseño original).

- Puede aparecer otra variables exógenas y endógenas durante la ejecución del proyecto, la cual se simuló dentro del proceso, dándole también un valor aleatorio entre 0 y 1.
- Se calculó la variable ENT con base en la fórmula de pesos ponderados indicada anteriormente, entre los valores obtenidos de los cálculos del conjunto de variables endógenas y del conjunto de variables exógenas.

Los resultados para las primeras 3 semanas fueron los siguientes, ver Tabla 32.

Tabla 32. Resultados de las primeras tres semanas.

| ENT total | Total_endógenas | Total_exógenas |
|-----------|-----------------|----------------|
| 0,43 | 0,4 | 0,46 |
| 0,52 | 0,55 | 0,48 |
| 0,49 | 0,37 | 0,78 |

Fuente: Elaboración propia.

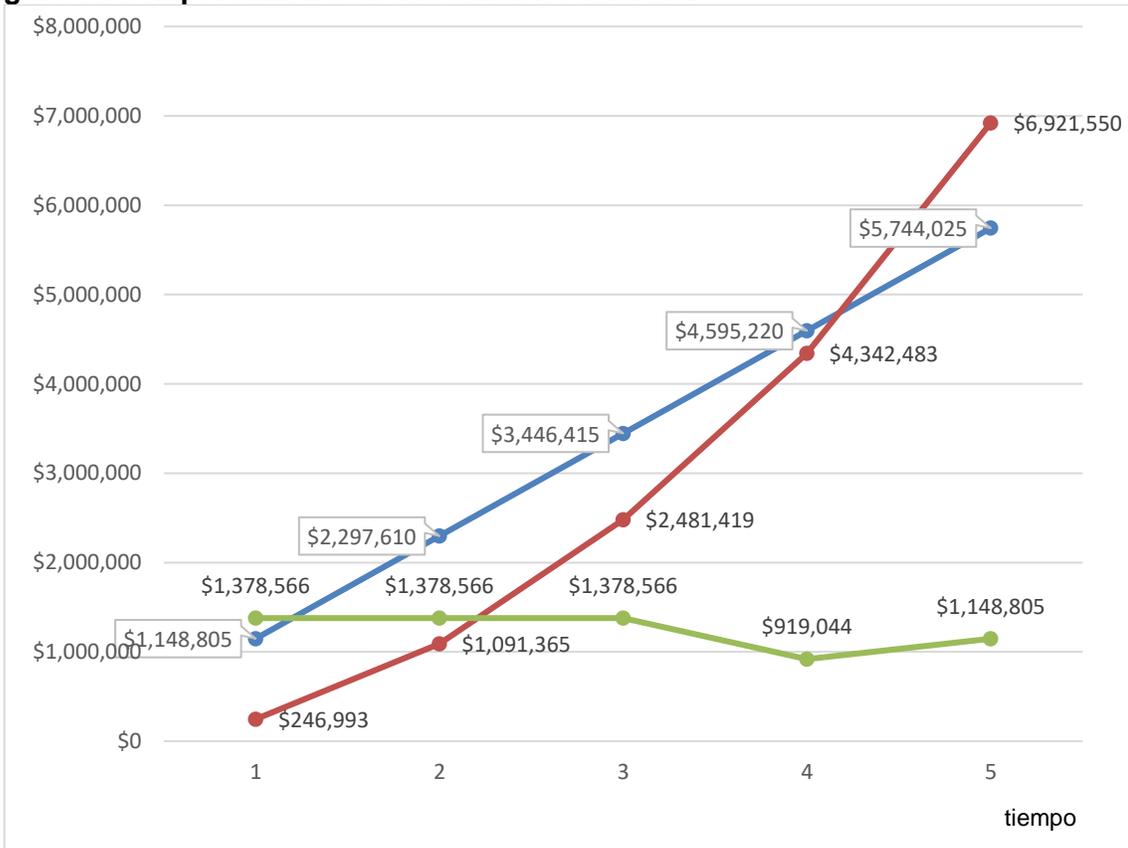
- Análisis variables básicas: PV, EV y AC (ver Figura 58).
 PV (planned value) = NTA, presupuesto autorizado, línea de color azul.
 EV (earned value) = NEA*PV, valor ganado, línea de color roja.
 AC (actual cost) = TRA, costo real (se simula un valor entre: NTA, menos del 20% del NTA, más del 20% del NTA), línea de color verde.

Los valores que arrojó la simulación fueron los siguientes ver Tabla 33.

Tabla 33. Valores resultados de la simulación

| Variable | Semana1 | Semana2 | Semana3 | Semana4 |
|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| PV | \$1.148.805 | \$2.297.610 | \$3.446.415 | \$4.595.220 |
| EV | \$246.993 | \$1.091.365 | \$2.481.419 | \$4.342.483 |
| AC | \$1.378.566 | \$1.378.566 | \$1.378.566 | \$919.044 |

Fuente: Elaboración propia.

Figura 58. Comportamiento de las variables básicas.

Fuente: Elaboración propia.

Según la Figura 58 y con base en las cifras resultado de la simulación, se obtiene que para la primera actividad identificada en la red compleja (localización y replanteo), al finalizar la semana 4 (la duración de dicha actividad está entre la semana 1 y la semana 4), los valores alcanzados son los siguientes: PV=\$5.744.025, AC=\$1.148.805 y EV=\$6.921.550.

En donde:

PV<EV, el valor presupuestado es menor que el valor ganado, se da por un mayor nivel de alcance de la actividad 1.

PV>AC, el valor presupuestado es mayor que el valor realmente ejecutado, se da por un ahorro en los costos de ejecución.

EV>AC, el valor ejecutado es menor que el valor ganado, se gana un valor adicional por aumento del alcance.

Como resultado de esta simulación se muestra la presencia de eficiencias en la variable de presupuesto.

➤ **Análisis de Variables de resultado, desempeño del trabajo:** Variación del cronograma, ver Figura 59 y 60.

Las variables son: SV (schedule variance, por sus siglas en inglés, variación del cronograma), CV (cost variance, por sus siglas en inglés, variación del costo), SPI (schedule performance index, por sus siglas en inglés, índice de desempeño del

cronograma), CPI (cost performance index, por sus siglas en inglés, índice de desempeño del costo).

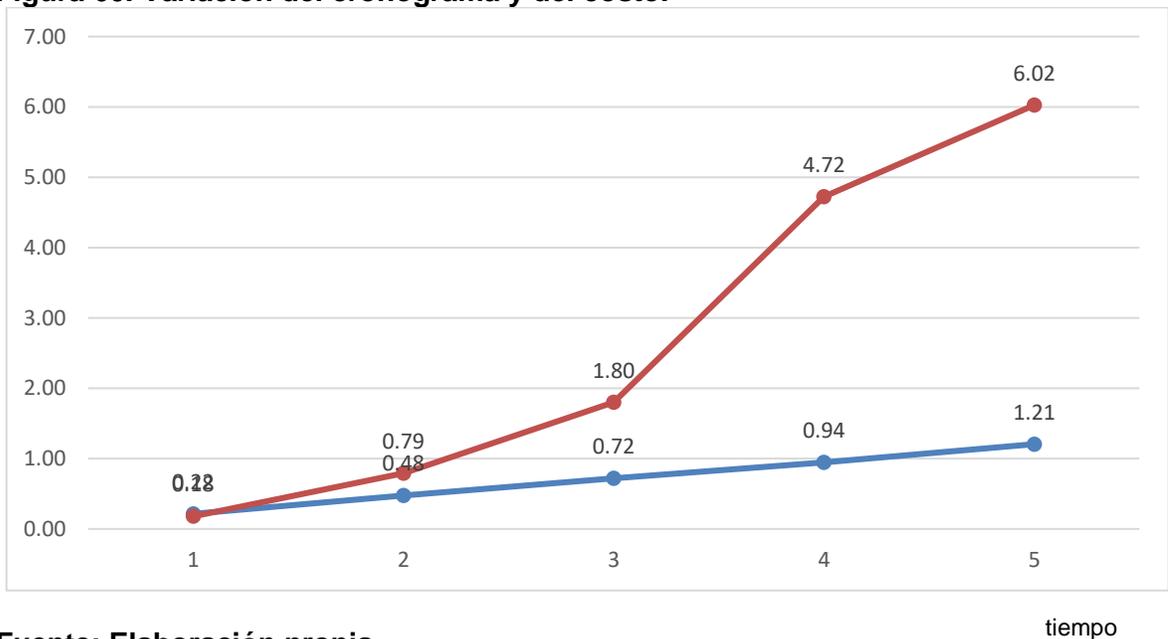
Figura 59. Variación del cronograma y del costo.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 60. Variación del cronograma y del costo.

escala



Fuente: Elaboración propia.

Las figuras 59 y 60 muestran la variación del cronograma (línea azul) y la variación del costo (línea roja) hasta la semana 4. Lo que indica que el costo ha tenido mayor nivel de variabilidad versus el cronograma.

En las dos primeras semanas el $SPI < 1$, lo que indica un retraso en el cronograma de la primera actividad, hay un desempeño del uso del tiempo por debajo de lo esperado, a partir de la tercera semana el desempeño se recupera para avanzar a un nivel superior que la meta presupuestada en la variable tiempo.

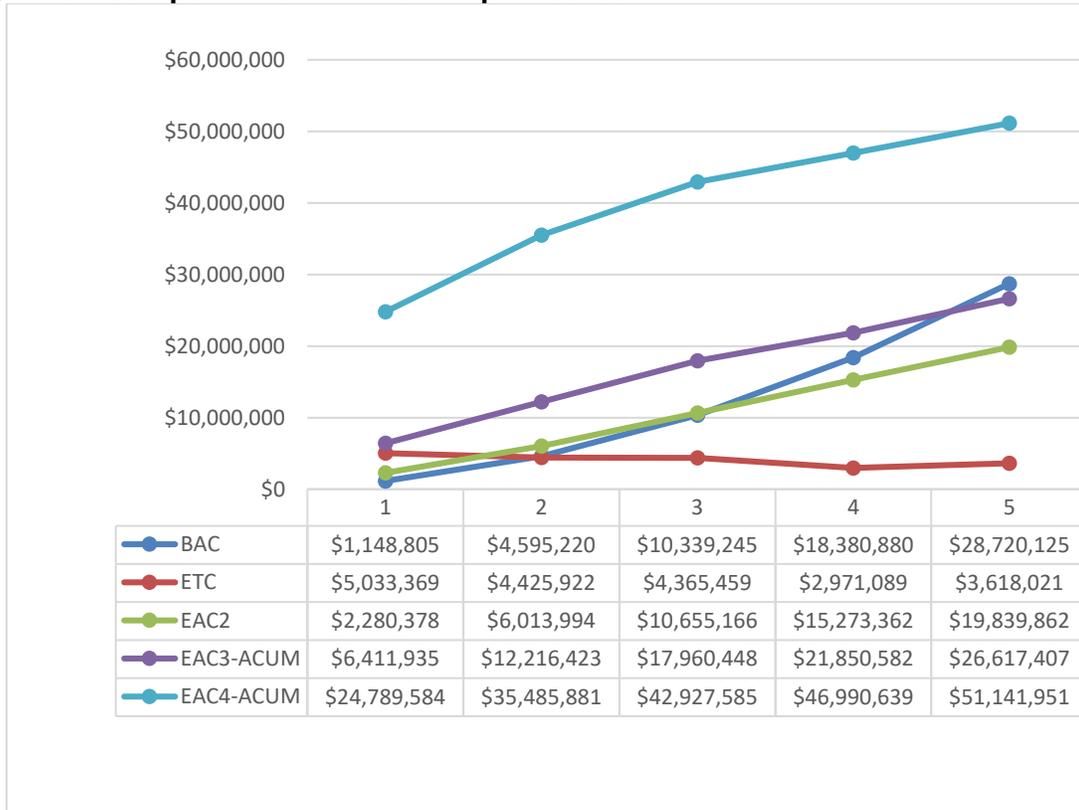
El CPI hasta la semana cuarta mantiene un desempeño del costo < 1 , lo que indica un costo inferior al planificado, lo que podría decirse con base en el resultado de la simulación que hay eficiencias en el costo.

Otra conclusión que se puede obtener es que no necesariamente el comportamiento de lo ejecutado será exactamente igual a lo planificado, puede haber variaciones del comportamiento de las variables del desempeño de ejecución del proyecto.

- **Variables pronóstico:** Tienen en cuenta valores acumulados de las actividades que se han venido ejecutando.

Estas variables son: BAC (budget at completion, por sus siglas en inglés, presupuesto hasta la terminación), ETC (estimate to complete, por sus siglas en inglés, estimación hasta la terminación), EAC (estimate at completion, por sus siglas en inglés, estimación a la terminación). Ver Figura 61.

Figura 61. Comportamiento variables pronóstico.



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 61 se muestran las conclusiones sobre las variables pronóstico, estas son las siguientes: el presupuesto hasta la conclusión es \$28.720.125 (BAC), el estimado al completar es de \$20.413.860 (ETC), y los valores de los estimados a la conclusión son \$19.839.862 (teniendo en cuenta lo real ejecutado), \$26.617.407 (teniendo en cuenta el CPI) y \$51.141.951 (teniendo en cuenta el CPI y el SPI) respectivamente.

En cualquiera de los casos son valores que superan al PV inicial asignado a la primera actividad: \$17.232.075, por las variaciones tanto del costo como del cronograma. En el peor escenario la actividad terminará costando \$51.141.951, con un sobrecosto de \$33.909.876.

Resumen del capítulo

En este capítulo se presentaron cuatro simulaciones, tres de las cuales correspondieron a la fase de planificación y una a la fase de ejecución. La primera de ellas correspondió a la simulación de procesos y subprocesos a través de una red compleja y con base en el PMBOK®, la segunda correspondió a la simulación de procesos, subprocesos, atributos y variables a través de una red compleja y con base en el PMBOK®, la tercera correspondió a la simulación de procesos, subprocesos, atributos y variables a través de una red compleja y sistemas dinámicos, con base en un caso de estudio específico y la cuarta correspondió a la simulación de actividades a través de una red compleja y dinámica de sistemas con base en un caso de estudio específico.

Se analizó el comportamiento de cada simulación y por cada una de ellas se presentaron las diferentes medidas de la red compleja y su dinámica y se presentaron las conclusiones respectivas.

7. Conclusiones y recomendaciones

7.1. Conclusiones

Durante la realización de esta tesis doctoral, además del proceso abordado y los resultados y conclusiones presentados en cada uno de los capítulos, son varias las conclusiones finales a las que se ha llegado y que en este capítulo se presentan.

Los aportes presentados en este documento se consideran un aporte teórico al área desde el análisis y la conceptualización. Esto estuvo motivado por los hallazgos resultado de la revisión de la literatura relacionada en los primeros capítulos, y que dan cuenta de:

- 1) La falta de consenso para establecer un cuerpo de conocimiento sobre “proyectos complejos”.
- 2) La perspectiva clásica se sigue manteniendo independiente de la naturaleza del problema a abordar a través de un proyecto.
- 3) La escasa literatura alrededor de la temática de “proyectos complejos” y su relación con complejidad, ciencias de la complejidad y pensamiento complejo.
- 4) La escasa literatura sobre el desarrollo de la perspectiva de la complejidad y las alternativas de medición del rendimiento de los proyectos complejos.

A partir de estos hallazgos, se planteó desde el pensamiento complejo el modelo EP para el estudio de un “proyecto complejo”, el cual establece la relación en la tríada: problema, organización temporal/sujeto decisor y proyecto/gestión.

La exploración que se realizó tanto de la perspectiva clásica como de la perspectiva de la complejidad (complejidad, ciencias de la complejidad, pensamiento complejo), permitió examinar las diferencias que ya son conocidas, las que no se habían explorado con anterioridad, las sinergias y complementariedades entre una perspectiva y la otra. A partir de la perspectiva de la complejidad se propuso un modelo de modelos, a través del cual se pudo analizar y estudiar el comportamiento de un proyecto complejo, religando y entretejiendo los aportes y conceptos de un modelo al otro, al conectar las diferentes conclusiones.

Es así como se hace necesario avanzar hacia la construcción de una epistemología de la gestión de “proyectos complejos” a partir del modelo de modelos y tomando los principios del método de Edgar Morin:

- De-construcción (capacidad de desaprender, buscando alternativas)
- Co-construcción (conocimiento del conocimiento), problematizando las situaciones desde su propia complejidad
- Re-construcción de las ciencias de la gestión, a través de la generación de nuevo conocimiento, religando el existente.

A través de este modelo de modelos se trabajó la complejidad generalizada y la complejidad restringida, pasando del principio de reducción (conocimiento de las partes) y disyunción (separación), a uno de distinción (conocimiento del todo y de las partes y su relación) y conjunción.

De acuerdo con Morin (1999), “Si los procesos de descomplejización son procesos de mutilación, hay que hacer todo lo que sea necesario para oponerse. Si se trata de procesos que de cierta manera permiten el tratamiento cognitivo, e incluso el tratamiento operacional, hay que utilizarlos”.

Las ciencias de la gestión encuentran una relativa tranquilidad en la reducción de la complejidad, simplificando el “problema” a abordar, excluyendo al sujeto decisor del planteamiento del problema y proponiendo para el proyecto una planificación y una ejecución basada en un determinismo que ha sido inoperante para el caso de proyectos complejos, así como se demostró con la comprobación de las hipótesis planteadas en el capítulo 4 (desarrollo del modelo conceptual).

Para el estudio de los proyectos complejos es necesario plantear un modelo desde la perspectiva de la complejidad, que permita realizar procesos de religación entre la complejidad generalizada y la complejidad restringida, que una diferentes modelos de conocimiento, acercar el modelo mental y la realidad, y así formar el complexus en la gestión de “proyectos complejos” para la toma de mejores decisiones, asertivas y coherentes con el alcance de los diferentes proyectos.

Las herramientas de la perspectiva clásica ya no son suficientes para comprender la dinámica de los proyectos complejos: En la perspectiva clásica de la gestión de los proyectos, la incertidumbre generada por: las variables exógenas son tratada desde el análisis de riesgos, lo que simplifica su incidencia en el proyecto; y las variables endógenas que no son tenidas en cuenta.

Las herramientas de la perspectiva clásica ya no son suficientes para estudiar los proyectos complejos, es así como a través del modelo de modelos que se plantea en la tesis, se aborda la complejidad de los proyectos complejos desde la complejidad generalizada a través de los modelos mental y conceptual, y se aborda la complejidad restringida a través de los modelos teórico-genérico y de simulación.

Como parte de la tesis se establece que a problemas complejos se hace necesario aplicar un pensamiento complejo, que permita co-tejer los resultados de los modelos propuestos de complejidad generalizada con los modelos propuestos de complejidad restringida, sin que ellos se planteen aislados los unos de los otros.

La gestión de proyectos complejos desde la perspectiva de la complejidad: Como resultado del desarrollo del capítulo 5 y 6 se presentan algunas conclusiones de manera breve sobre la gestión de proyectos complejos.

La presencia de la complejidad requiere que los profesionales se centren más en factores exógenos no previsibles (emergencias) y en aplicar un pensamiento crítico/analítico/complejo, lo que requeriría de escuelas que propicien esquemas de pensamiento complejo enfocado a resolver problemas complejos o ¿será que solo es posible concebir una academia parcelada en su conocimiento, especializada, mono disciplinar y trabajando bajo una estructura positivista/determinística y lineal?

El conocimiento se ha parcelado y se ha especializado en el campo de la gestión de proyectos, lo que conlleva a quienes planifican los proyectos para situaciones complejas, no lo hagan desde un conocimiento transdisciplinar. El planificador de proyectos es por naturaleza determinístico y el alea lo concentra en el análisis de riesgos.

A mayor cantidad de información disponible durante la planificación del proyecto complejo, menor nivel aparente de incertidumbre durante su ejecución. Se encuentra que la incertidumbre se camufla en el análisis de riesgos.

En la planificación inicial se desconocen tanto variables exógenas como endógenas y su impacto sobre el proyecto.

Los proyectos complejos deberán contar con modelos que permitan efectuar análisis sobre la incertidumbre aleatoria y la epistémica. Modelos que podrían partir de redes complejas en diferentes niveles, como en la estructura operativa, la organización temporal, el conjunto de actividades durante la ejecución del proyecto y el análisis de riesgos. Los niveles pueden ser dependientes unos de otros y a su vez tener su propia dinámica.

Por otro lado los riesgos podrían tomar una dimensión mayor durante su análisis, desde un visión multidisciplinar, no solamente el daño durante la ejecución del proyecto que pudiera presentarse, sino también los factores sociales, organizacionales, institucionales y políticos que pudieran influir en los factores a partir de los cuales se genera la vulnerabilidad²⁷ asociada al proyecto.

Para conseguir un mejor nivel de desempeño en la gestión de proyectos, el trabajo relevante está en la planificación, la determinación de parámetros iniciales, y en la capacidad de adaptabilidad durante la ejecución ante la presencia de emergencias a través de cambios de estado del sistema o cambios del sistema.

El PMBOK® es determinístico, se encuentra enfocado en gestionar la estructura operativa del proyecto y no en gestionar la ambigüedad e incertidumbre que le genera la estructura de la organización temporal. No obstante ser una guía metodológica robusta, que reúne las mejores prácticas en la gestión de proyectos, sigue manteniendo la utilización de herramientas clásicas y debería emigrar a herramientas de las ciencias de la complejidad e incorporar el pensamiento complejo para gestionar proyectos complejos.

La teoría del triángulo de hierro, que considera como medición del éxito o fracaso de los proyectos las variables de presupuesto, tiempo y alcance, solamente aplica a proyectos simples o complicados, pero no para medir el desempeño de los proyectos complejos. Esta teoría descarta variables exógenas o endógenas relevantes para los resultados de la gestión del proyecto, lo mismo que la incidencia del sujeto decisor sobre el proyecto.

²⁷ La vulnerabilidad es una "situación condicional que depende de que se esté expuesto y de que exista, en realidad, una amenaza de por medio. Si no se está expuesto y si no hay una susceptibilidad ante la acción de un fenómeno de cierta severidad, no se es vulnerable" (Cardona et. al., 2004).

Las teorías clásicas se remiten a llevar a cabo mediciones de los proyectos después de su ejecución es así como las herramientas clásicas evalúan el desempeño del proyecto en su ejecución, las herramientas de las ciencias de la complejidad como las redes complejas permiten hacer mediciones de manera anticipada al partir de un modelo que permite preguntarse “¿qué pasaría sí?”, lo cual generaría una ventaja para la toma de decisiones futuras.

A través de las redes complejas se plantean otras variables de medición como grados, nodos fuertes y débiles, vulnerabilidad de la red y de los nodos, densidad, densidad, asociatividad, criticidad e incertidumbre entre otras.

Finalmente, a través del modelo de modelos (modelo mental, conceptual, teórico-genérico y de simulaciones) y el modelo-EP propuesto para el estudio de un proyecto complejo desarrollado en el capítulo 4 se muestra la complejidad como un componente que desarrolla de manera sistémica la relación entre problema – organización temporal/sujeto decisor - proyecto/gestión.

Como propuesta final se plantea una nueva perspectiva para el tratamiento de proyectos de infraestructura vial con base en los resultados de la tercera y cuarta simulación.

Se propone adoptar una ecuación que exprese de manera no determinística la aleatoriedad e incertidumbre de variables que afectan el desempeño del proyecto. La propuesta para discusión sería la siguiente:

Esquema GENÉRICO: El cual estaría representado por las siguientes ecuaciones:

Proyecto Complejo = f (EP, SRCI, RP).

Donde:

EP: Entradas al proyecto (información).

SRCI.: Sistema racional de condiciones iniciales.

RP: Resultado del proyecto, que puede ser un producto (tangibile o intangible), un servicio o un documento.

Sistema racional de condiciones iniciales = f (SI, PR, OP)

SRCI = (SI + PR) – OP

Donde:

SRCI: Sistema racional de condiciones iniciales, el cual puede mostrar varias alternativas, de las cuales se escogerá aquella que guarde mejor equilibrio entro lo ideal, las desviaciones de variables críticas y el beneficio/costo. Este equilibrio representa los verdaderos factores críticos del proyecto; si se mantiene su equilibrio, el porcentaje de éxito del mismo mejoraría sustancialmente. El sistema racional de condiciones iniciales será abordado desde el pensamiento complejo.

SI: Sistema IDEAL²⁸. El sistema IDEAL es lo que se ha considerado a lo largo de esta investigación como el sistema lineal, determinístico, positivista, reduccionista y sin considerar su propio contexto. Este sistema no permite mayores desviaciones y espera terminar en condiciones similares a las indicadas como parámetros iniciales.

PR: Protección, % de desviación de las variables críticas, incluyendo los riesgos que se determinen deben aumentar valores de algunas variables del sistema IDEAL, por ejemplo, en cantidades de materiales, obra, presupuesto, inclusión de otras actividades. El sistema de protección es considerado como la dinámica del sistema, esta puede variar dependiendo del tipo de proyecto y el tomador de decisiones. El tomador de decisiones para este caso debería corresponder a un equipo con conocimiento transdisciplinar.

OP: Óptimos del sistema, lo que hay que lograr de manera racional, el no elevamiento de los parámetros de condiciones iniciales, siempre revisando el beneficio/costo, por ejemplo, incrementar el costo del proyecto para protección de los riesgos no en todos los casos conlleva a un equilibrio de beneficio/costo. Supongamos que existe un riesgo de que durante la ejecución del proyecto falle un equipo muy costoso, habría que sopesar el beneficio/costo de contar con uno de repuesto o no durante la ejecución del proyecto.

Con base en esta ecuación se podría determinar un sistema de condiciones iniciales racional para abordar un problema complejo y que sería abordado a través de un proyecto complejo. Esta nueva ecuación propuesta requerirá a su vez una caja de herramientas suficiente desde las ciencias de la complejidad para acompañar este proceso de configuración del sistema complejo.

Se propone que las nuevas guías o prácticas para la gestión de proyectos complejos desarrollen, por un lado la fórmula propuesta **Proyecto Complejo = f (EP, SRCl, RP)**, y de otro lado la construcción de un framework²⁹ con herramientas de las ciencias de la complejidad. Este framework permitiría analizar la incertidumbre que se pueden presentar por cambios de estados del sistema o por un nuevo estado (emergencias), a través de la evaluación de escenarios durante la ejecución del proyecto.

7.2. Recomendaciones

Se proponen nuevas líneas de investigación en la temática:

- El planteamiento de un nuevo paradigma que tenga en cuenta una epistemología de las ciencias de la gestión encaminadas a resolver problemas complejos, pasando de las

²⁸ El sistema IDEAL para el caso de obras de construcción en Colombia, corresponderá a la norma técnica o parámetros que solamente contemplan el ítem de imprevistos, así funciona la planificación de obras en INVIAS y las que son autorizadas por el SGR (sistema general de regalías)

²⁹ Framework: entorno de trabajo o marco de trabajo, conjunto estandarizado de conceptos, prácticas y criterios para enfocar un tipo de problemática particular que sirve como referencia para enfrentar y resolver nuevos problemas de índole similar.

epistemologías del positivismo y el constructivismo a la de la complejidad, y que acepte las epistemologías aleatoria y empírica.

- Estudio de patrones conductuales que inciden en los tomadores de decisiones de proyectos complejos.
- Estudio sobre el entorno y cómo este puede influir en la estructura mental de los tomadores de decisiones en proyectos complejos.
- Profundizar en el desarrollo de herramientas desde las ciencias de la complejidad para modelar y simular el comportamiento de un proyecto complejo, generando con ello análisis de posibles escenarios para la toma de decisiones e indicadores de medición diferentes que evalúen comportamientos futuros.

Finalmente, se recomienda una cátedra en la Universidad Nacional de Colombia, que desde el pensamiento complejo pueda re-pensar problemas complejos y cómo abordarlos desde una perspectiva transdisciplinar a través de un proyecto complejo. Lo anterior debido que a nivel universitario se continúa en medio de una gran paradoja consistente en que la universidad sigue enseñando la apropiación disciplinaria de los saberes desde la organización administrativa de facultades, programas y departamentos, sin ningún vínculo alguno entre ellos, mientras que la realidad que tenemos que pensar hoy se nos ha vuelto transdisciplinar, multireferencial e indisciplinada (Richard, 1998). Lo anterior cuando, como lo indica Diego F. H. (2011), “hay que comprender que el ejercicio profesional no tendrá espacios fijos ni saberes permanentes”.

8. Producción académica

A continuación, se hace una relación de los productos académicos presentados durante el desarrollo de la tesis doctoral, ponencias presentadas en congresos nacionales e internacionales y publicaciones.

Midiendo la complejidad de los proyectos de Infraestructura de Transporte Vial: Análisis a través de una red compleja

Presentación de ponencia en Latin American Conference 2.0 on Complex Networks.

LANET 2019.

Cartagena, Colombia

Año: 2019

La complejidad en la gestión de un proyecto

Presentación en el IV coloquio doctoral, organizado por Posgrados de Ingeniería Industrial Manizales, Colombia

Año: 2017

Estructura Dinámica de las Redes Complejas Temporales como Herramienta de Evaluación para la Gestión de Proyectos

Presentación de ponencia en la primera conferencia Latinoamérica de redes complejas.

LANET 2017

Puebla, México

Año: 2017

Evaluación de la gestión de proyectos a través de redes complejas.

Presentación de ponencia en workshop on engineering applications. WEA

Cartagena, Colombia

Año: 2017

Modeling and simulation of project management through the PMBOK® standard using complex networks. Special Issue on Complexity and Project Management: Challenges, Opportunities, and Future Research

Complexity. Volumen 2017, Article ID 4791635, 12 pages.

<https://doi.org/10.1155/2017/4791635>

Received 27 August 2017; Accepted 12 November 2017; Published 4 December 2017

Gestión de un proyecto complejo: perspectiva desde la complejidad.

Presentación en el III coloquio doctoral, organizado por Posgrados de Ingeniería Industrial Manizales, Colombia

Año: 2016

La gestión de proyectos: perspectiva desde la complejidad.

Presentación ponencia congreso Internacional sobre gestión de proyectos (PROMAC)

Australia

Año: 2016

Pensamiento complejo y cognición organizacional.

Presentación artículo a: Congr s Mondial Pour la Pensee Complexe: Es de anotar que dicho artículo fue seleccionado como uno de los temas emergentes en América Latina (pensamiento complejo y cognición organizacional).

Ponencia con publicación en “La emergencia de los enfoques de la complejidad en América Latina”

París, Francia

Año: 2016

Gestión de un proyecto complejo

Presentación en el II coloquio doctoral, organizado por Posgrados de Ingeniería Industrial. Manizales, Colombia

Año: 2015

La complejidad en la gestión de un proyecto

Presentación en el I coloquio doctoral, organizado por Posgrados de Ingeniería Industrial. Manizales, Colombia

Año: 2014

Desempeño de los proyectos una perspectiva desde la complejidad.

Presentación de ponencia en congreso internacional: VI Congreso Internacional sobre Transdisciplinariedad, Complejidad y Ecoformaci n, organizado por: Universidad Ricardo Palma Lima, Universidad Católica de Brasilia, Universidad de Barcelona, Universidad Simón Bolívar, Fundación de las ciencias de la complejidad, Ministerio Educación Perú, Ministerio del Ambiente Perú, Comisión Nacional Peruano de Cooperación con la UNESCO Lima, Perú

Año: 2014

Desempeño de los proyectos una perspectiva desde la complejidad

Presentación de ponencia en congreso Nacional: I Congreso Peruano de Pensamiento Complejo y Ciencias de la Complejidad: “Vías para la transformación educativa”

Lima, Perú

Año: 2014

Anexo 1: Flujos de información.

Por cada proceso general (inicio, planificación, ejecución, monitoreo y control, cierre), se definen los procesos específicos, identificando: entradas y salidas, estableciendo el flujo de información que hay entre los procesos, con base en el PMBOK®.

1) Procesos de inicio

Área del conocimiento de integración/ proceso de inicio:

Proceso: desarrollar el acta de constitución del proyecto.

Documentos de entrada: enunciado del trabajo del proyecto, caso de negocio, acuerdos
→ repositorio de documentos (1)

Entradas: factores ambientales de la empresa, activos de los procesos de la organización
→ subprocesos (2)

Documento de salida: acta de constitución del proyecto → repositorio de documentos (4)

Área del conocimiento de los interesados del proyecto/ proceso inicio:

Proceso: Identificar a los interesados

Documentos de entrada: acta de constitución del proyecto → repositorio de documentos (4), documentos de las adquisiciones → repositorio de documentos (3)

Entradas: factores ambientales de la empresa, activos de los procesos de la organización
→ subprocesos (2)

Documento de salida: registro de interesados → repositorio de documentos (4)

2) Procesos de planificación

Área del conocimiento de integración/proceso de planificación:

Proceso: desarrollar el plan para la dirección del proyecto

Documentos de entrada: acta de constitución del proyecto → repositorio de documentos (4)

Entradas: factores ambientales de la empresa, activos de los procesos de la organización
→ subprocesos (2)

Documento de salida: plan para la dirección del proyecto → repositorio de documentos del proyecto

Área del conocimiento del alcance del proyecto/proceso de planificación:

Procesos: Planificar la gestión del alcance, recopilar requisitos, definir el alcance, crear la EDT/WBS

Proceso: planificar la gestión del alcance

Documentos de entrada: plan para la dirección del proyecto → repositorio de documentos del proyecto, acta de constitución del proyecto → repositorio de documentos (4)

Entradas: factores ambientales de la empresa, activos de los procesos de la organización
→ subprocesos (2)

Documento de salida: Plan de gestión del alcance, plan de gestión de los requisitos → repositorio de documentos del proyecto

Proceso: recopilar requisitos

Documentos de entrada: Plan gestión del alcance, plan de gestión de los requisitos, plan de gestión de los interesados → repositorio de documentos del proyecto, acta de constitución del proyecto → repositorio de documentos (4) , registro de interesados → repositorio de documentos (1)

Documento de salida: Documentación de requisitos → repositorio de documentos (7), matriz de trazabilidad de requisitos → repositorio de documentos (4)

Proceso: definir el alcance

Documentos de entrada: Plan de gestión del alcance → repositorio de documentos del proyecto, acta de constitución del proyecto → repositorio de documentos 4, documentación de requisitos → repositorio de documentos del proyecto

Entradas: Activos de los procesos de la organización → subprocesos (2)

Documento de salida: Enunciado del alcance del proyecto → repositorio de documentos del proyecto

Salidas a otros procesos: Actualizaciones a los documentos del proyecto

Proceso: crear la EDT/WBS

Documentos de entrada: Plan de gestión del alcance, enunciado del alcance del proyecto, documentación de requisitos → repositorio de documentos del proyecto

Entradas: Factores ambientales de la empresa, activos de los procesos de la organización → subprocesos (2)

Documento de salida: Línea base del alcance → repositorio de documentos del proyecto

Salidas a otros procesos: Actualizaciones a los documentos del proyecto

Área del conocimiento del tiempo del proyecto/proceso de planificación:

Procesos: Planificar la gestión del cronograma, definir las actividades, secuenciar las actividades, estimar los recursos de las actividades, estimar la duración de las actividades, desarrollar el cronograma

Proceso: Planificar la gestión del cronograma

Documentos de entrada: Plan para la dirección del proyecto → repositorio de documentos del proyecto, acta de constitución del proyecto → repositorio de documentos (4)

Entradas: Factores ambientales de la empresa, activos de los procesos de la organización → subprocesos (2)

Documento de salida: Plan de gestión del cronograma → repositorio de documentos del proyecto

Proceso: Definir las actividades

Documentos de entrada: Plan de gestión del cronograma, línea base del alcance → repositorio de documentos del proyecto

Entradas: Factores ambientales de la empresa, activos de los procesos de la organización → subprocesos (2)

Documento de salida: Lista de actividades, atributos de las actividades, lista de hitos → repositorio de documentos del proyecto

Proceso: Secuenciar las actividades

Documentos de entrada: Plan de gestión del cronograma, lista de actividades, atributos de las actividades, lista de hitos, enunciado del alcance del proyecto → repositorio de documentos del proyecto

Entradas: Factores ambientales de la empresa, activos de los procesos de la organización → subprocesos (2)

Documento de salida: Diagramas de red del cronograma del proyecto → repositorio de documentos del proyecto

Salidas a otros procesos: Actualizaciones a los documentos del proyecto

Proceso: Estimar los recursos de las actividades

Documentos de entrada: Plan de gestión del cronograma, lista de actividades, atributos de las actividades, calendarios del cronograma, registro de riesgos, estimaciones de costos de las actividades → repositorio de documentos del proyecto, calendario de recursos → repositorio de documentos (6)

Entradas: Factores ambientales de la empresa, activos de los procesos de la organización → subprocesos (2)

Documento de salida: Recursos requeridos para las actividades, estructura de desglose de recursos → repositorio de documentos del proyecto

Salidas a otros procesos: Actualizaciones a los documentos del proyecto

Proceso: Estimar la duración de las actividades

Documentos de entrada: Plan de gestión del cronograma, lista de actividades, atributos de las actividades, recursos requeridos para las actividades, calendario de recursos, enunciado del alcance del proyecto, registro de riesgos, estructura de desglose de recursos → repositorio de documentos del proyecto, calendario de recursos → repositorio de documentos (6)

Entradas: Factores ambientales de la empresa, activos de los procesos de la organización → subprocesos (2)

Documento de salida: Estimación de la duración de las actividades → repositorio de documentos del proyecto

Salidas a otros procesos: Actualizaciones a los documentos del proyecto

Proceso: Desarrollar el cronograma

Documentos de entrada: Plan de gestión del cronograma, lista de actividades, atributos de las actividades, diagramas de red del cronograma del proyecto, recursos requeridos para las actividades, estimación de la duración de las actividades, enunciado del alcance del proyecto, registro de riesgos, asignaciones de personal al proyecto, estructura de desglose de recursos → repositorio de documentos del proyecto, calendario de recursos → repositorio de documentos (6)

Documento de salida: Línea base del cronograma, cronograma del proyecto, datos del cronograma, calendarios del proyecto → repositorio de documentos del proyecto

Salidas a otros procesos: Actualizaciones al plan para la dirección del proyecto, actualizaciones a los documentos del proyecto

Área del conocimiento de los costos del proyecto/proceso de planificación:

Procesos: Planificar la gestión de los costos, estimar los costos, determinar el presupuesto

Proceso: Planificar la gestión de los costos

Documentos de entrada: Plan para la dirección del proyecto → repositorio de documentos del proyecto, acta de constitución del proyecto → repositorio de documentos (4)

Entradas: Factores ambientales de la empresa, activos de los procesos de la organización → subprocesos (2)

Documento de salida: Plan de gestión de costos → repositorio de documentos del proyecto

Proceso: Estimar los costos

Documentos de entrada: Plan de gestión de los costos, plan de gestión de los recursos humanos, línea base del alcance, cronograma del proyecto, registro de riesgos → repositorio de documentos del proyecto

Entradas: Factores ambientales de la empresa, activos de los procesos de la organización
→ subprocesos (2)

Documento de salida: Estimación de costos de las actividades, base de las estimaciones
→ repositorio de documentos del proyecto

Salidas a otros procesos: Actualizaciones a los documentos del proyecto

Proceso: Determinar el presupuesto

Documentos de entrada: Plan de gestión de los costos, línea base del alcance, estimaciones de costos de las actividades, base de estimaciones, cronograma del proyecto, registro de riesgos → repositorio de documentos del proyecto, acuerdos → repositorio de documentos (1) , calendario de recursos → repositorio de documentos (6)

Entradas: Activos de los procesos de la organización → subprocesos (2)

Documento de salida: Línea base de costos, requisitos de financiamiento del proyecto → repositorio de documentos del proyecto

Salidas a otros procesos: Actualizaciones a los documentos del proyecto

Área del conocimiento de la calidad del proyecto/proceso de planificación:

Proceso: Planificar la gestión de la calidad

Documentos de entrada: Plan para la dirección del proyecto, registro de interesados, registro de riesgos, documentación de requisitos → repositorio de documentos del proyecto

Entradas: Factores ambientales de la empresa, activos de los procesos de la organización
→ subprocesos (2)

Documento de salida: Plan de gestión de la calidad, plan de mejoras del proceso, métricas de calidad, listas de verificación de calidad → repositorio de documentos del proyecto

Salidas a otros procesos: Actualizaciones a los documentos del proyecto

Área del conocimiento de los recursos humanos del proyecto/proceso de planificación:

Proceso: Planificar la gestión de los recursos humanos

Documentos de entrada: Plan para la dirección del proyecto, recursos requeridos para las actividades → repositorio de documentos del proyecto

Entradas: Factores ambientales de la empresa, activos de los procesos de la organización
→ subprocesos (2)

Documento de salida: Plan de gestión de los recursos humanos → repositorio de documentos del proyecto

Área del conocimiento de las comunicaciones del proyecto/proceso de planificación:

Proceso: Planificar la gestión de las comunicaciones

Documentos de entrada: Plan para la dirección del proyecto → repositorio de documentos del proyecto, registro de interesados → repositorio de documentos (1)

Entradas: Factores ambientales de la empresa, activos de los procesos de la organización
→ subprocesos (2)

Documento de salida: Plan de gestión de las comunicaciones → repositorio de documentos del proyecto

Salidas a otros procesos: Actualizaciones a los documentos del proyecto

Área del conocimiento de los riesgos del proyecto/proceso de planificación:

Procesos: Planificar la gestión de los riesgos, identificar los riesgos, realizar el análisis cualitativo de riesgos, realizar el análisis cuantitativo de riesgos, planificar la respuesta a los riesgos

Proceso: Planificar la gestión de los riesgos

Documentos de entrada: Plan de la dirección del proyecto → repositorio de documentos del proyecto, acta de constitución del proyecto → repositorio de documentos (4) , registro de interesados → repositorio de documentos (1)

Entradas: Factores ambientales de la empresa, activos de los procesos de la organización → subprocesos (2)

Documento de salida: Plan de gestión de los riesgos → repositorio de documentos del proyecto

Proceso: Identificar los riesgos

Documentos de entrada: Plan de gestión de los riesgos, plan de gestión de los costos, plan de gestión del cronograma, plan de gestión de la calidad, plan de gestión de los recursos humanos, línea base del alcance, estimación de costos de las actividades, estimación de la duración de las actividades → repositorio de documentos del proyecto, registro de interesados → repositorio de documentos (1), documentos de adquisiciones → repositorio de documentos (3)

Entradas: Documentos del proyecto, documentos de las adquisiciones → repositorio de documentos del proyecto, factores ambientales de la empresa, activos de los procesos de la organización → subprocesos (2)

Documento de salida: Registro de riesgos → repositorio de documentos del proyecto

Proceso: Realizar el análisis cualitativo de riesgos

Documentos de entrada: Plan de gestión de los riesgos, línea base del alcance, registro de riesgos → repositorio de documentos del proyecto

Entradas: Factores ambientales de la empresa, activos de los procesos de la organización → subprocesos (2)

Salidas a otros procesos: Actualizaciones a los documentos del proyecto

Proceso: Realizar el análisis cuantitativo de riesgos

Documentos de entrada: Plan de gestión de los riesgos, plan de gestión de los costos, plan de gestión del cronograma, registro de riesgos → repositorio de documentos del proyecto

Entradas: Factores ambientales de la empresa, activos de los procesos de la organización → subprocesos (2)

Salidas a otros procesos: Actualizaciones a los documentos del proyecto

Proceso: Planificar la respuesta a los riesgos

Documentos de entrada: Plan de gestión de los riesgos, registro de riesgos → repositorio de documentos del proyecto

Entradas: Factores ambientales de la empresa, activos de los procesos de la organización → subprocesos (2)

Salidas a otros procesos: Actualizaciones a los documentos del proyecto, actualizaciones al plan para la dirección del proyecto

Área del conocimiento de las adquisiciones/proceso de planificación:

Proceso: planificar la gestión de las adquisiciones

Documentos de entrada: plan para la dirección del proyecto, documentación de requisitos, registro de riesgos, recursos requeridos para las actividades, cronograma del proyecto, estimación de costos de las actividades → repositorio de documentos del proyecto, registro de interesados → repositorio de documentos (4), documento de requisitos → repositorio de documentos (7)

Entradas: factores ambientales de la empresa, activos de los procesos de la organización → subprocesos (2)

Documento de salida: plan de gestión de las adquisiciones, enunciados del trabajo relativo a adquisiciones, criterios de selección de proveedores → repositorio de documentos del proyecto, decisiones de hacer o comprar, solicitudes de cambio (subprocesos de control del cambio), documentos de las adquisiciones → repositorio de documentos (3)

Salidas a otros procesos: Actualizaciones a los documentos del proyecto

Área del conocimiento de los interesados del proyecto/proceso de planificación:

Proceso: Planificar la gestión de los interesados

Documentos de entrada: Plan para la dirección del proyecto → repositorio de documentos del proyecto, registro de interesados → repositorio de documentos (4)

Entradas: factores ambientales de la empresa, activos de los procesos de la organización → subprocesos (2)

Documento de salida: plan de gestión de los interesados → repositorio de documentos del proyecto

Salidas a otros procesos: Actualizaciones a los documentos del proyecto

3) Procesos de ejecución

Área de conocimiento de integración/proceso de ejecución:

Proceso: Dirigir y gestionar el trabajo del proyecto

Documentos de entrada: plan para la dirección del proyecto → repositorio de documentos del proyecto, solicitudes de cambio aprobadas → subprocesos (10)

Entradas: factores ambientales de la empresa, activos de los procesos de la organización → subprocesos (2)

Documentos de salida: entregables → proceso para firmar (11), datos de desempeño del trabajo → repositorio de documentos del proyecto, solicitudes de cambio (subprocesos control del cambio) → subprocesos (10)

Salidas a otros procesos: actualizaciones al plan para la dirección del proyecto, actualizaciones a los documentos del proyecto

Área de conocimiento de la calidad del proyecto/proceso de ejecución:

Proceso: Realizar el aseguramiento de la calidad

Documentos de entrada: Plan de gestión de la calidad, plan de mejoras de procesos, métricas de calidad → repositorio de documentos del proyecto, medidas de control de calidad → salida (11)

Entradas: Documentos del proyecto → repositorio de documentos del proyecto

Documento de salida: Solicitudes de cambio (subprocesos de control del cambio) → subprocesos (2)

Salidas a otros procesos: Actualizaciones al plan para la dirección del proyecto, actualizaciones a los documentos del proyecto, actualizaciones a los activos de los procesos de la organización

Área de conocimiento de los recursos humanos del proyecto/proceso de ejecución:

Procesos: Adquirir el equipo del proyecto, desarrollar el equipo del proyecto, dirigir el equipo del proyecto

Proceso: Adquirir el equipo del proyecto

Documentos de entrada: Plan de gestión de los recursos humanos → repositorio de documentos del proyecto

Entradas: Factores ambientales de la empresa, activos de los procesos de la organización → subprocesos (2)

Documento de salida: Asignaciones de personal al proyecto → repositorio documentos del proyecto, calendarios de recursos → repositorio documentos (6)

Salidas a otros procesos: Actualizaciones al plan para la dirección del proyecto

Proceso: Desarrollar el equipo del proyecto

Documentos de entrada: Plan de gestión de los recursos humanos, asignaciones de personal al proyecto → repositorio de documentos del proyecto, calendarios de recursos → repositorio de documentos (6)

Documento de salida: Evaluaciones del desempeño del equipo → salida (11)

Salidas a otros procesos: Actualizaciones a los factores ambientales de la empresa

Proceso: Dirigir el equipo del proyecto

Documentos de entrada: Plan de gestión de los recursos humanos, asignaciones de personal al proyecto → repositorio de documentos del proyecto, evaluaciones del desempeño del equipo → salida (11), registro de incidentes → repositorio de documentos (12), informes de desempeño del trabajo → repositorio de documentos del proyecto

Entradas: Activos de los procesos de la organización → subprocesos (2)

Documento de salida: Solicitudes de cambio (subprocesos de control del cambio) → subprocesos (10)

Salidas a otros procesos: Actualizaciones al plan para la dirección del proyecto, actualizaciones a los documentos del proyecto, actualizaciones a los activos de los procesos de la organización, actualizaciones a los factores ambientales de la empresa

Área del conocimiento de las comunicaciones del proyecto/proceso de ejecución:

Proceso: Gestionar las comunicaciones

Documentos de entrada: Plan de gestión de las comunicaciones → repositorio de documentos del proyecto, informes de desempeño del trabajo → repositorio de documentos (10)

Entradas: Factores ambientales de la empresa, activos de los procesos de la organización → subprocesos (2)

Documento de salida: Comunicaciones del proyecto → repositorio de documentos del proyecto

Salidas a otros procesos: Actualizaciones al plan para la dirección del proyecto, actualizaciones a los documentos del proyecto, actualizaciones a los activos de los procesos de la organización

Área de conocimiento de las adquisiciones/proceso de ejecución:

Proceso: Efectúa las adquisiciones

Documentos de entrada: plan de gestión de las adquisiciones, documentos de las adquisiciones, criterios de selección de proveedores, propuestas de los vendedores, enunciados del trabajo relativo a las adquisiciones → repositorio de documentos del proyecto

Entradas: documentos del proyecto, activos de los procesos de la organización → subprocesos (2)

Documentos de salida: vendedores seleccionados, acuerdos → repositorio salida (9), calendarios de recursos → repositorio de documentos del proyecto, solicitudes de cambio (subprocesos de control de cambios),

Salidas a otros procesos: actualizaciones al plan para la dirección del proyecto, actualizaciones a los documentos del proyecto

Área de conocimiento de los interesados del proyecto/proceso de ejecución:

Proceso: Gestionar la participación de los interesados

Documentos de entrada: plan de gestión de los interesados, plan de gestión de las comunicaciones, registro de cambios → repositorio de documentos (6)

Entradas: Activos de los procesos de la organización → subprocesos (2)

Documentos de salida: registro de incidentes → repositorio documentos (12), solicitudes de cambio (subprocesos de control del cambio) → repositorio de documentos (11)

Salidas a otros procesos: actualizaciones al plan para la dirección del proyecto, actualizaciones a los documentos del proyecto, actualizaciones a los activos de los procesos de la organización

4) Procesos de monitoreo y control

Área del conocimiento de integración/procesos de monitoreo y control:

Proceso: Monitorear y controlar el trabajo del proyecto, realizar el control integrado de cambios

Proceso: monitoreo y control del trabajo del proyecto

Documentos de entrada: plan para la dirección del proyecto, pronóstico del cronograma, pronósticos de costos, cambios validados, información del desempeño del trabajo → repositorio de documentos del proyecto

Entradas: factores ambientales de la empresa, activos de los procesos de la organización → subprocesos (2)

Documentos de salida: solicitudes de cambio (subproceso control del cambio) → subprocesos (10), informes de desempeño del trabajo → repositorio de documentos del proyecto

Salidas a otros procesos: actualizaciones al plan para la dirección del proyecto, actualizaciones a los documentos del proyecto

Subproceso realizar el control integrado de cambios

Documentos de entrada: plan para la dirección del proyecto, informes de desempeño del trabajo → repositorio de documentos del proyecto, solicitudes de cambio → subprocesos (10)

Entradas: factores ambientales de la empresa, activos de los procesos de la organización → subprocesos (2)

Documentos de salidas: solicitudes de cambio aprobadas, registro de cambios → repositorio de documentos del proyecto

Salidas a otros procesos: actualizaciones al plan para la dirección del proyecto, actualizaciones a los documentos del proyecto

Área del conocimiento del alcance del proyecto/procesos de monitoreo y control:

Procesos: Validar el alcance, controlar el alcance

Proceso: validar el alcance

Documentos de entrada: Plan para la dirección del proyecto, documentación de requisitos, matriz de trazabilidad de requisitos → repositorio de documentos del proyecto, datos de desempeño del trabajo, entregables verificados → salida (11)

Documento de salida: Entregables aceptados → salida(11), solicitudes de cambio (subprocesos control del cambio) → subprocesos (10), información de desempeño del trabajo → repositorio de documentos del proyecto

Salidas a otros procesos: Actualizaciones a los documentos del proyecto

Proceso: controlar el alcance

Documentos de entrada: Plan para la dirección del proyecto, documentación de requisitos, matriz de trazabilidad → repositorio de documentos del proyecto, datos de desempeño del trabajo → salida (11)

Entradas: Activos de los procesos de la organización → subprocesos (2)

Documento de salida: Información de desempeño del trabajo → repositorio de documentos del proyecto, solicitudes de cambio (subprocesos de control del cambio) → subprocesos (10)

Salidas a otros procesos: Actualizaciones al plan para la dirección del proyecto, actualizaciones a los documentos del proyecto, actualizaciones a los activos de los procesos de la organización

Área del conocimiento del alcance del proyecto/procesos de monitoreo y control:

Proceso: Controlar el cronograma

Documentos de entrada: Plan para la dirección del proyecto, calendarios del proyecto, datos del cronograma, cronograma del proyecto → repositorio de documentos del proyecto, datos de desempeño del trabajo → salida (11)

Entradas: Activos de los procesos de la organización → subprocesos (2)

Documento de salida: Información de desempeño del trabajo, pronósticos del cronograma → repositorio de documentos del proyecto, solicitudes de cambio (subprocesos control del cambio) → subprocesos (10)

Salidas a otros procesos: Actualizaciones al plan para la dirección del proyecto, actualizaciones a los documentos del proyecto, actualizaciones a los activos de los procesos de la organización

Área del conocimiento de los costos del proyecto/procesos de monitoreo y control:

Proceso: Controlar los costos

Documentos de entrada: Plan para la dirección del proyecto, requisitos de financiamiento del proyecto → repositorio de documentos del proyecto, datos de desempeño del trabajo → salida (11)

Entradas: Activos de los procesos de la organización → subprocesos (2)

Documento de salida: Información de desempeño del trabajo, pronósticos de costos → repositorios documentos del proyecto, solicitudes de cambio (subprocesos de control del cambio) → subprocesos (10)

Salidas a otros procesos: Actualizaciones al plan para la dirección del proyecto, actualizaciones a los documentos del proyecto, actualizaciones a los activos de los procesos de la organización

Área del conocimiento de la calidad del proyecto/procesos de monitoreo y control:

Proceso: Controlar la calidad

Documentos de entrada: Plan para la dirección del proyecto, métricas de calidad, listas de verificación de calidad → repositorio de documentos del proyecto, datos de desempeño del

trabajo → salida (11), solicitudes de cambio aprobadas → subproceso (10), entregables → firma (11)

Entradas: Documentos del proyecto, activos de los procesos de la organización → subprocesos (2)

Documento de salida: Medidas de control de calidad, cambios validados, entregables validados, información de desempeño del trabajo → repositorio de documentos del proyecto, solicitudes de cambio (subprocesos de control del cambio) → subprocesos (10)

Salidas a otros procesos: Actualizaciones al plan para la dirección del proyecto, actualizaciones a los documentos del proyecto, actualizaciones a los activos de los procesos de la organización.

Área de conocimiento de las comunicaciones del proyecto/procesos de monitoreo y control:

Proceso: Controlar las comunicaciones

Documentos de entrada: Plan para la dirección del proyecto, comunicaciones del proyecto → repositorio de documentos del proyecto, registro de incidentes → repositorio de documentos (12), datos de desempeño del trabajo → firma (11)

Entradas: Activos de los procesos de la organización → subprocesos (2)

Documento de salida: Información de desempeño del trabajo → repositorio de documentos del trabajo, solicitudes de cambio (subprocesos de control del cambio) → subprocesos (10)

Salidas a otros procesos: Actualizaciones al plan para la dirección del proyecto, actualizaciones a los documentos del proyecto, actualizaciones a los activos de los procesos de la organización.

Área del conocimiento de los riesgos del proyecto/procesos de monitoreo y control:

Proceso: Controlar los riesgos

Documentos de entrada: Plan para la dirección del proyecto, registros de riesgos, datos de desempeño del trabajo, informes de desempeño del trabajo → repositorio de documentos del proyecto.

Documento de salida: Información de desempeño del trabajo → repositorio de documentos del proyecto, solicitudes de cambio (subprocesos de control del cambio) → subprocesos (10)

Salidas a otros procesos: Actualizaciones al plan para la dirección del proyecto, actualizaciones a los documentos del proyecto, actualizaciones a los activos de los procesos de la organización.

Área del conocimiento de las adquisiciones del proyecto/procesos de monitoreo y control:

Proceso: Controlar las adquisiciones

Documentos de entrada: plan para la dirección del proyecto, documentos de las adquisiciones, acuerdos, solicitudes de cambio aprobados, informes de desempeño del trabajo, datos de desempeño del trabajo → repositorio de documentos del proyecto

Documentos de salida: información de desempeño del trabajo → repositorio de documentos del proyecto, solicitudes de cambio (subprocesos de control del cambio) → subprocesos (10)

Salidas a otros procesos: actualizaciones al plan para la dirección del proyecto, actualizaciones a los documentos del proyecto, actualizaciones a los activos de los procesos de la organización.

Área del conocimiento de los interesados del proyecto/procesos de monitoreo y control:

Proceso: Controlar la participación de los interesados

Documentos de entrada: plan para la dirección del proyecto, registro de incidentes, datos de desempeño del trabajo → repositorio de documentos del proyecto

Entradas: documentos del proyecto

Documentos de salida: información de desempeño del trabajo → repositorio de documentos del proyecto, solicitudes de cambio (subprocesos de control del cambio) → subprocesos (10)

Salidas a otros procesos: actualizaciones al plan para la dirección del proyecto, actualizaciones a los documentos del proyecto, actualizaciones a los activos de los procesos de la organización.

5) Procesos de cierre**Área del conocimiento de integración/procesos de cierre:**

Proceso: Cerrar el proyecto o fase

Documentos de entrada: plan para la dirección del proyecto, entregables aceptados → repositorio de documentos del proyecto

Entradas: activos de los procesos de la organización → subprocesos (2)

Salidas a otros procesos: Transferencia del producto, servicio o resultado final → subprocesos (producto), actualizaciones a los activos de los procesos de la organización

Área del conocimiento de las adquisiciones del proyecto/ procesos de cierre:

Proceso: Cerrar el proyecto o fase

Documentos de entrada: plan para la dirección del proyecto, documentos de adquisiciones → repositorio de documentos del proyecto

Documentos de salida: Adquisiciones cerradas → repositorio de documentos del proyecto

Salidas a otros procesos: Actualizaciones a los activos de los procesos de la organización

Anexo 2: Contenido de cada identificador en el modelo de flujos.

El identificador se asigna para facilitar la visualización del diagrama de flujos y procesos, se identifican el contenido de cada repositorio y cada elemento (información/documento/variable) se le asigna una sigla que lo identificará y se define el número de elementos que lo componen (norma ISO 5807/1985).

Identificador (1): Es un repositorio de documentos, el cual contiene:

- Enunciado del trabajo del proyecto (ET= {3}): necesidad del negocio, descripción del alcance del producto, plan estratégico de la organización
- Caso de negocio (CN= {5}): resultados análisis de pre-factibilidad y factibilidad: viabilidad, necesidad de negocio, costo/beneficio, limitantes, riesgos
- Acuerdos (ACD): contratos/memorandos de entendimiento/acuerdos

Identificador (2): Es un subproceso, el cual contiene:

- Factores ambientales (FA): estándares/procesos de la organización/clima político, cultura y estructura de la organización/canales de comunicación, condiciones de mercado/bases de datos comerciales, infraestructura/sistemas de información
- Activos de los procesos de la organización (APO): procesos y procedimientos/plantillas, información histórica, base de conocimiento corporativa/sistemas de información.

Identificador (3): Es un repositorio de documentos, que contiene:

- Documentos de las adquisiciones (DA).

Identificador (4): Es un repositorio de documentos, que contiene:

- Registro de interesados (RI).
- Plan de gestión de interesados (PGI= {3}): niveles de participación, interrelaciones, requisitos de comunicación, información que recibirán.
- Acta de constitución del proyecto (AC= {18}): propósito, objetivos medibles, criterios de éxito asociados, requisitos de alto nivel, supuestos y restricciones, descripción de alto nivel y sus límites, riesgos de alto nivel, resumen cronograma de hitos, resumen presupuesto, lista interesados, requisitos de aprobación, director del proyecto (responsabilidad y nivel autoridad), patrocinador (nombre y nivel autoridad)

Identificador (5): Es un repositorio de documentos, que contiene:

- Plan para la dirección del proyecto (PDP= {14}): línea base de: alcance, cronograma, costos, plan de gestión de: alcance, requisitos, cronograma, costos, calidad, mejoras del proceso, recursos humanos, comunicaciones, riesgos, adquisiciones e interesados.

Identificador (6): Es un repositorio de documentos, que contiene:

- Calendario de recursos (CDR= {2}): identifica los días y turnos de trabajo de los recursos.

Identificador (7): Es un repositorio de documentos, que contiene:

- Documentos de requisitos (DDR= {8}): requisitos del negocio (objetivos, del negocio y del proyecto, reglas de negocio para la organización ejecutora, principios rectores de la organización), requisitos de los interesados (impactos sobre otras áreas de la organización, impactos sobre otras entidades, requisitos de los interesados sobre comunicaciones e informes), requisitos de soluciones (funcionales, no funcionales, tecnología, estándares, apoyo, capacitación, calidad, presentación de informes), requisitos del proyecto (niveles de servicio,

desempeño, seguridad, cumplimiento, criterios de aceptación), requisitos de transición, supuestos, dependencias y restricciones de los requisitos.

- Matriz de trazabilidad de requisitos (MTDR= {11}): necesidades, oportunidades, metas y objetivos del proyecto, alcance del proyecto, entregables, diseño del producto, desarrollo del producto, estrategia y escenarios de prueba, requisitos de alto nivel con respecto a los requisitos detallados.

Identificador (8): Es un repositorio de documentos, que contiene:

- Propuestas de los vendedores (PDV).
- Vendedores seleccionados (VS).

Identificador (9): Es un repositorio de salida, que contiene:

- Vendedores seleccionados (VS).

Identificador (10): Es un repositorio de documentos, que contiene:

- Solicitudes de cambio (SDC= {4}): acción correctiva, acción preventiva, reparación de defectos, actualizaciones.

Identificador (11): Es un repositorio de documentos, un conector que exige una firma, un repositorio de salida, que contiene:

- Entregables aceptados (conector firma): entregables que cumplen con los criterios de aceptación son formalmente firmados y aprobados por el cliente o el patrocinador.
- Mediciones de control de calidad (salida)
- Evaluaciones de desempeño del equipo (salida): se miden en términos de éxito técnico conforme a objetivos previamente acordados para el proyecto.

Identificador (12): Repositorio de documentos, que contiene:

- Registro de incidentes (RDI).

Identificador (13): Repositorio de salida, que contiene:

- Criterios de selección de proveedores (CSP): comprensión de la necesidad, costo total, capacidad técnica, riesgo, enfoque de gestión, enfoque técnico, garantía, capacidad financiera, capacidad de producción, tamaño y tipo de negocio, desempeño pasado, referencias, derechos propiedad intelectual.
- Decisiones de hacer o comprar (DHOC).

Documentos del proyecto (DDP):

- Plan para la dirección del proyecto (PDP): describe el modo en que el proyecto será ejecutado, monitoreado y controlado. Contiene todos los planes y líneas base secundarios de los procesos de planificación: línea base del alcance, línea base del cronograma, línea base de costos. Planes de: gestión del alcance, gestión del cronograma, costos, calidad, plan de mejoras del proceso, gestión recursos humanos, comunicaciones, riesgos, adquisiciones e interesados.
- Enunciado del trabajo del proyecto (ET).
- Plan gestión requisitos: describe como se analizarán, documentarán y gestionarán los requisitos (PGR).
- Plan gestión alcance: es el proceso de crear un plan de gestión del alcance que documente cómo se va a definir, validar y controlar el alcance (PGA).
- Enunciado alcance del proyecto (EAP= {6}): descripción del alcance del producto, criterios de aceptación, entregable, exclusiones del proyecto, restricciones, supuestos.
- Línea base del alcance (LBA= {3}): enunciado del alcance del proyecto, edt/wbs, diccionario de la edt/wbs.

- Plan gestión cronograma (PGCR= {7}): desarrollo del modelo de programación del proyecto, nivel de exactitud, unidades de medida, enlaces con los procedimientos de la organización, mantenimiento del modelo de programación del proyecto, umbrales de control, reglas para la medición de desempeño.
- Lista actividades (LDA)
- Atributos actividades (ADA= {4}): responsables, sitio de ejecución, calendario, tipo de actividad.
- Lista de Hitos (LDH).
- Estimaciones de la duración de las actividades (EDA).
- Diagrama de red del cronograma (DRCR).
- Registro riesgos (RR= {2}): lista de riesgos identificados, lista de respuestas potenciales.
- Estimado de costos de las actividades (ECA): evaluaciones cuantitativas de los costos probables que se requieren para completar el trabajo del proyecto.
- Estructura de desglose de recursos (EDR): representación jerárquica de los recursos por categoría y tipo.
- Recursos requeridos para las actividades (RRA): tipos y cantidades de recursos identificados que necesita cada actividad de un paquete de trabajo.
- Estimación duración actividades (EDA)
- Acuerdos de adquisición (AA): términos y condiciones.
- Línea base de cronograma (LBCR).
- Cronograma del proyecto (CDP= {5}): actividades, fechas, duraciones, hitos y recursos.
- Datos del cronograma (DDC= {3}): requisitos de recursos por período de tiempo, cronogramas alternativos, programación de reservas.
- Calendario del proyecto (CDP): días y turnos de trabajo disponibles para las actividades del cronograma.
- Plan gestión costos (PGCS= {6}): unidades de medida, nivel de precisión, nivel de exactitud, enlaces con los procedimientos de la organización, umbrales de control, reglas para la medición del desempeño.
- Plan gestión recursos humanos (PGRH= {3}): roles y responsabilidades, organigrama del proyecto, plan para la gestión del personal.
- Base de las restricciones (BDR)
- Línea base de costos (determinar el presupuesto), (LBCS= {8}): 1) estimados de la actividad, 2) estimados de los paquetes de trabajo, 3) estimados de la cuenta de control, 4) estimados del proyecto, 5) reservas para contingencias, 6) línea base de costos, 7) reservas de gestión, 8) presupuesto de costos.
- Requisitos financiamiento del proyecto (RFP).
- Plan de mejora del proceso (PMP= {4}): límites del proceso, configuración del proceso, métricas del proceso, objetivos de mejora del desempeño.
- Plan de gestión de calidad (PGCD): describe cómo se implementarán las políticas de calidad de una organización.
- Métricas de calidad (MDCD): describe un atributo del producto o del proyecto, y la manera en que lo medirá el proceso de control de calidad.
- Listado de verificación de calidad (LVCD): sirve para verificar que se hayan llevado a cabo una serie de pasos necesarios.

- Plan gestión comunicaciones (PGCM= {6}): requisitos de comunicación de los interesados, información que debe ser comunicada, frecuencia de distribución, persona responsable de comunicar, personas a que le llegarán los comunicados, recursos asignados.
- Plan gestión riesgos (PGRS= {13}): metodología, roles y responsabilidades, presupuesto, calendario, categorías de riesgos, definiciones de la probabilidad e impacto de los riesgos, matriz de probabilidad e impacto, revisión de las tolerancias de los interesados, formatos de los informes, seguimiento.
- Documentos del proyecto (DDP): se trata del repositorio de documentos del proyecto.
- Plan gestión adquisiciones (PGA= {9}): tipos de contratos, riesgos, documentos de las adquisiciones, restricciones y supuestos, fechas, garantías, vendedores, métricas de adquisiciones.
- Enunciado del trabajo relativo a adquisiciones (ETRA).
- Datos de desempeño del trabajo (DDT): p.e., trabajo completado, indicadores claves de desempeño, medidas de desempeño técnico, fechas de comienzo y finalización de las actividades planificadas, número de solicitudes de cambio, número de defectos, costos reales, duraciones reales.
- Información de desempeño del trabajo (INFODT).
- Asignación del personal del proyecto (EDR).
- Informes de desempeño del trabajo (INFSDT): p.e., estado de entregables, estado de la implementación de las solicitudes de cambio y estimaciones hasta la conclusión pronosticadas.
- Comunicaciones del proyecto (CMP).
- Registro de cambios (aprobados, validados), (RCB).
- Pronóstico del cronograma (PROCR): variación del cronograma e índice de desempeño del cronograma.
- Pronósticos de costos (PROCS): variación del costo e índice de desempeño del costo.
- Adquisiciones cerradas (ACE).
- Base de las estimaciones (BDE).

Anexo 3: Entradas y salidas de la red compleja.

Teniendo claro el flujo de información y procesos, la información/documento/variable que van en cada proceso y la cantidad de elementos que contienen. Cada elemento puede identificarse como: a) información y a su vez binario {0,1} de si existe o no, b) fuzzy, c) cuantitativo, d) cualitativo, e) estocástico.

A continuación, se presentan los procesos con sus respectivas entradas y salidas identificadas.

| |
|--|
| <p><u>PROCESOS DE INICIO: 2 procesos</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Desarrollar el acta de constitución del proyecto 4.1 • Identificar los interesados 13.1 |
| <p>Proceso desarrollar el acta de constitución del proyecto (integración) 4.1</p> <p><u>ENTRADAS:</u></p> <p>ET {3} - enunciado del trabajo (externo), contiene:</p> <ul style="list-style-type: none"> • necesidad del negocio: propósito, objetivos medibles, descripción de alto nivel, lista de interesados • descripción del alcance del producto: descripción, requisitos de aprobación • plan estratégico de la organización <p>CN {5} - caso de negocio (externo), contiene:</p> <ul style="list-style-type: none"> • viabilidad: criterios de éxito asociados, requisitos de alto nivel, supuestos, restricciones, resumen cronograma de hitos • costo/beneficio • límites • riesgos <p>ACD - acuerdos (viene de 12.2)</p> <p>FA - factores ambientales (externo)</p> <p>APO - activos de los procesos (externo)</p> <p><u>SALIDAS:</u></p> <p>AC {18} - acta de constitución del proyecto.</p> <ul style="list-style-type: none"> • propósito • objetivos medibles • criterios de éxito asociados • requisitos de alto nivel • supuestos • restricciones • descripción del alto nivel • límites • riesgos de alto nivel • resumen cronograma de hitos • resumen presupuesto • lista de interesados • requisitos de aprobación • director del proyecto (externo) |

| |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • responsabilidad Director del Proyecto (externo) • nivel autoridad Director del Proyecto (externo) • patrocinador (externo). • nivel de autoridad patrocinador (externo) |
| <p>Proceso identificar a los interesados (integración) 13.1</p> <p><u>ENTRADAS:</u></p> <p>AC {18} – acta de constitución del proyecto (viene 4.1)</p> <p>DA - documentos de las adquisiciones (externo)</p> <p>FA - factores ambientales (externo)</p> <p>APO - activos de los procesos (externo)</p> <p><u>SALIDAS:</u></p> <p>RI - registro de interesados</p> |

| |
|--|
| <p><u>PROCESOS DE PLANIFICACIÓN: 24 procesos</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • desarrollar el plan para la dirección 4.2 • planificar la gestión del alcance 5.1 • recopilar requisitos 5.2 • definir el alcance 5.3 • crear la EDT/WBS 5.4 • planificar la gestión del cronograma 6.1 • definir las actividades 6.2 • secuenciar las actividades 6.3 • estimar los recursos de las actividades 6.4 • estimar la duración de las actividades 6.5 • desarrollar el cronograma 6.6 • planificar la gestión de los costos 7.1 • estimar los costos 7.2 • determinar el presupuesto 7.3 • planificar la gestión de calidad 8.1 • planificar la gestión de los recursos humanos 9.1 • planificar la gestión de las comunicaciones 10.1 • planificar la gestión de los riesgos 11.1 • identificar los riesgos 11.2 • análisis cualitativo de riesgos 11.3 • análisis cuantitativo de riesgos 11.4 • planificar la respuesta a los riesgos 11.5 • planificar la gestión de las adquisiciones 12.1 • planificar la gestión de los interesados 13.2 |
| <p>Proceso desarrollar el plan para la dirección del proyecto (integración) 4.2</p> <p><u>ENTRADAS:</u></p> <p>FA – factores ambientales (externo)</p> <p>APO – activos de los procesos (externo)</p> <p>AC {18} – acta de constitución del proyecto (viene 4.1)</p> <p>Salidas de otros procesos.</p> |

SALIDAS:**PDP {14}: plan para la dirección del proyecto:**

- línea base de alcance
- línea base cronograma
- línea base costos
- plan gestión alcance
- plan gestión requisitos
- plan gestión cronograma
- plan gestión costos
- plan gestión calidad
- plan gestión mejoras del proceso
- plan gestión recursos humanos
- plan gestión comunicaciones
- plan gestión riesgos
- plan gestión adquisiciones
- plan gestión interesados

Proceso planificar la gestión del alcance (alcance) 5.1**ENTRADAS:****PDP {14} – plan para la dirección del proyecto (viene 4.2)****AC {18} – acta de constitución del proyecto (viene 4.1)****FA – factores ambientales (externo)****APO – activos de los procesos (externo)****SALIDAS:****PGA –plan gestión alcance****PGR – plan gestión requisitos****Proceso recopilar requisitos (alcance) 5.2****ENTRADAS:****AC {18} – acta de constitución del proyecto (viene 4.1)****RI – registro de interesados (viene 13.1)****PGA –plan gestión alcance (viene 5.1)****PGR – plan gestión requisitos (viene 5.1)****PGI {4} – plan gestión de los interesados (viene 13.2):**

- niveles de participación
- interrelaciones
- requisitos de comunicación
- información que recibirán

SALIDAS:**DDR {8} – documentos de requisitos:**

- requisitos de negocio
- requisitos interesados
- requisitos soluciones
- requisitos del proyecto
- requisitos de transición
- supuestos
- dependencias

| |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • restricciones de los requisitos <p>MTDR {11} – matriz de trazabilidad de requisitos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • necesidades • oportunidades • metas • objetivos del proyecto • alcance del proyecto • entregables • diseño del producto • desarrollo del producto • estrategia • escenarios de prueba • requisitos de alto nivel con respecto a los requisitos detallados |
| <p>Proceso definir el alcance (alcance) 5.3</p> <p><u>ENTRADAS:</u></p> <p>PGA – plan de gestión del alcance (viene 5.1) AC {18} – acta de constitución del proyecto (viene 4.1) DDR {8} – documentos de requisitos (viene 5.2) APO – activos de los procesos de la organización (externo)</p> <p><u>SALIDAS:</u></p> <p>EAP {6} – enunciado del alcance del proyecto:</p> <ul style="list-style-type: none"> • descripción del alcance del producto • criterios de aceptación • entregable • exclusiones del proyecto • restricciones • supuestos <p>Actualización DDP – documentos del proyecto:</p> <ul style="list-style-type: none"> • RI – registro de interesados (viene 13.1) • DDR {8} – documentos de requisitos (viene 5.2) • MTDR {11} – matriz de trazabilidad de requisitos (viene 5.2) |
| <p>Proceso crear la EDT/WBS (alcance) 5.4</p> <p><u>ENTRADAS:</u></p> <p>PGA – plan de gestión del alcance (viene 5.1) EAP {6} – enunciado del alcance del proyecto (viene 5.3) DDR {8} – documentos de requisitos (viene 5.2) FA – factores ambientales de la empresa (externo) APO – activos de los procesos de la organización (externo)</p> <p><u>SALIDAS:</u></p> <p>LBA {3} – línea base del alcance:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Enunciado del alcance del proyecto • Edt/wbs • Diccionario de la edt/wbs <p>Actualización DDP – documentos del proyecto:</p> <ul style="list-style-type: none"> • DDR {8} – documentos de requisitos (viene 5.2) |

Proceso planificar la gestión del cronograma (tiempo) 6.1**ENTRADAS:****PDP {14} – plan para la dirección del proyecto (viene 4.2)****AC {18} – acta de constitución del proyecto (viene 4.1)****FA – factores ambientales de la empresa (externo)****APO – activos de los procesos de la organización (externo)****SALIDAS:****PGCR {7} – plan de gestión del cronograma:**

- Desarrollo del modelo de programación del proyecto
- Nivel de exactitud
- Unidades de medida
- Enlaces con los procedimientos de la organización
- Mantenimiento del modelo de programación del proyecto
- Umbrales de control
- Reglas para la medición de desempeño

Proceso definir las actividades (tiempo) 6.2**ENTRADAS:****PGCR {7} – plan de gestión del cronograma (viene 6.1)****LBA {3} – línea base del alcance (viene 5.4)****FA – factores ambientales de la empresa (externo)****APO – activos de los procesos de la organización (externo)****SALIDAS:****LDA – lista de actividades****ADA {4} – atributos de las actividades:**

- Responsables
- Sitio de ejecución
- Calendario
- Tipo de actividad

LDH – lista de hitos**Proceso secuenciar las actividades (tiempo) 6.3****ENTRADAS:****PGCR {7} – plan de gestión del cronograma (viene 6.1)****LDA – lista de actividades (viene 6.2)****ADA {4} – atributos de las actividades (viene 6.2)****LDH – lista de hitos (viene 6.2)****EAP {6} – enunciado del alcance del proyecto (viene 5.3)****FA – factores ambientales de la empresa (externo)****APO – activos de los procesos de la organización (externo)****SALIDAS:****DRCR – diagramas de red del cronograma del proyecto****Actualización DDP – documentos del proyecto:**

- LDA – lista de actividades (viene 6.2)
- ADA {4} – atributos de las actividades (viene 6.2)
- LDH – lista de hitos (viene 6.2)
- RR {2} – registro de riesgos (viene 11.2)

Proceso estimar los recursos de las actividades (tiempo) 6.4**ENTRADAS:**

PGCR {7} – plan de gestión del cronograma (viene 6.1)
 LDA – lista de actividades (viene 6.2)
 ADA {4} – atributos de las actividades (viene 6.2)
 RR {2} – registro de riesgos (viene 11.2)
 ECA – estimado de costos de las actividades (viene 7.2)
 CDR {2} – calendario de recursos (viene 9.2)
 FA – factores ambientales de la empresa (externo)
 APO – activos de los procesos de la organización (externo)

SALIDAS:

RRA – recursos requeridos para las actividades: tipos y cantidades de recursos identificados que necesita cada actividad de un paquete de trabajo.
 EDR- estructura de desglose de recursos: representación jerárquica de los recursos por categoría y tipo {0,1}
 Actualización DDP – documentos del proyecto:

- LDA – lista de actividades (viene 6.2)
- ADA – atributos de las actividades (viene 6.2)
- CDR – calendario de recursos (externo)

Proceso estimar la duración de las actividades (tiempo) 6.5**ENTRADAS:**

PGCR {7} – plan de gestión del cronograma (viene 6.1)
 LDA – lista de actividades (viene 6.2)
 ADA {4} – atributos de las actividades (viene 6.2)
 RRA – recursos requeridos para las actividades
 CDR {2} – calendario de recursos (viene 9.2)
 EAP {6} – enunciado del alcance del proyecto (viene 5.3)
 RI – registro de riesgos (13.1)
 EDR – estructura de desglose de recursos (viene 6.4)
 FA – factores ambientales de la empresa (externo)
 APO – activos de los procesos de la organización (externo)

SALIDAS:

EDA- estimación de la duración de las actividades
 Actualización DDP – documentos del proyecto:

- ADA {4} – atributos de las actividades (viene 6.2)
- BDE – base de las estimaciones (viene 7.2)

Proceso desarrollar el cronograma (tiempo) 6.6**ENTRADAS:**

PGCR {7} – plan de gestión del cronograma (viene 6.1)
 LDA – lista de actividades (viene 6.2)
 ADA {4} – atributos de las actividades (viene 6.2)
 DRCR – diagrama de red del cronograma del proyecto (viene 6.3)
 RRA – recursos requeridos para las actividades (viene 6.4)
 EDA – estimación de la duración de las actividades (viene 6.5)
 CDR {2} – calendario de recursos (viene 9.2)
 EAP {6} – enunciado del alcance del proyecto (viene 5.3)
 RI – registro de riesgos (viene 13.1)

EDR – estructura de desglose de recursos (viene 6.4)
 FA – factores ambientales de la empresa (externo)
 APO – activos de los procesos de la organización (externo)

SALIDAS:

LBCR – línea base del cronograma
 CDP {5} – cronograma del proyecto:

- Actividades
- Fechas
- Duraciones
- Hitos
- Recursos

DDC {3} – datos del cronograma:

- Requisitos de recursos por período de tiempo
- Cronogramas alternativos
- Programación de reservas

Actualización DDP – documentos de proyectos:

- PDP {14} – plan para la dirección del proyecto (viene 4.2)
- RRA – recursos requeridos para las actividades (viene 6.4)
- RR {2} – registro de riesgos (viene 11.2)
- ADA {4} – atributos de las actividades (viene 6.2)

Proceso planificar la gestión de los costos (costos) 7.1

ENTRADAS:

PDP {14} – plan para la dirección del proyecto (viene 4.2)
 AC {18} – acta de constitución del proyecto (viene 4.1)
 FA – factores ambientales de la empresa (externo)
 APO – activos de los procesos de la organización (externo)

SALIDAS:

PGCS {6} – plan de gestión de costos:

- Unidades de medida
- Nivel de precisión
- Nivel de exactitud
- Enlaces con los procedimientos de la organización
- Umbrales de control
- Reglas para la medición del desempeño

Proceso estimar costos (costos) 7.2

ENTRADAS:

PGCS {6} – plan de gestión de costos (viene 7.1)
 PGRH {3} – plan de gestión de recursos humanos (viene 9.1)
 LBA {3} – línea base del alcance (viene 5.4)
 CDP {5} – cronograma del proyecto (viene 6.6)
 RR {2} – registro de riesgos (viene 11.2)
 FA – factores ambientales de la empresa (externo)
 APO – activos de los procesos de la organización (externo)

SALIDAS:

| |
|---|
| <p>ECA – estimación de costos de las actividades BDE – base de las estimaciones Actualización DDP – documentos del proyecto:</p> <ul style="list-style-type: none"> • RR {2} - registro de riesgos (viene 11.2) |
| <p>Proceso determinar el presupuesto (costos) 7.3 <u>ENTRADAS:</u> PGCS {6} – plan de gestión de costos (viene 7.1) LBA {3} – línea base del alcance (viene 5.4) ECA – estimación de costos de las actividades (viene 7.2) BDE – base de las estimaciones (viene 7.2) CDP {5} – cronograma del proyecto (viene 6.6) RR {2} – registro de riesgos (viene 11.2) APO – activos de los procesos de la organización (externo)</p> <p><u>SALIDAS:</u> LBCS {8} – línea base de costos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Estimados de actividad • Estimados de los paquetes de trabajo • Estimados de la cuenta de control • Estimados del proyecto • Reservas para contingencias • Línea base de costos • Reservas de gestión • Presupuesto de costos <p>RFP – requisitos de financiamiento del proyecto Actualización DDP – documentos del proyecto:</p> <ul style="list-style-type: none"> • RR {2} – registro de riesgos (viene 11.2) • ECA – estimación de costos de las actividades (viene 7.2) • CDP {5} – cronograma del proyecto (viene 6.6) |
| <p>Proceso planificar la gestión de calidad (calidad) 8.1 <u>ENTRADAS:</u> PDP {14} – plan para la dirección del proyecto (viene 4.2) RI – registro de interesados (viene 13.1) RR {2} – registro de riesgos (viene 11.2) DDR {8} – documentación de requisitos (viene 5.2) FA – factores ambientales de la empresa (externo) APO – activos de los procesos de la organización (externo)</p> <p><u>SALIDAS:</u> PGCD – plan de gestión de la calidad PMP {4} – plan de mejoras del proceso:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Límites del proceso • Configuración del proceso • Métricas del proceso • Objetivos de mejora del desempeño <p>MDCD – métricas de calidad LVCD – listado de verificación de calidad Actualización DDP- documentos del proyecto:</p> |

| |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • RI – registro de interesados (viene 13.1) • EDR – estructura de desglose de recursos (viene 6.4) • CDP {5} – cronograma del proyecto (viene 6.6) |
| <p>Proceso planificar la gestión de los recursos humanos (recursos humanos) 9.1</p> <p><u>ENTRADAS:</u></p> <p>PDP {14} – plan para la dirección del proyecto (viene 4.2) RRA – recursos requeridos para las actividades (viene 6.4) FA – factores ambientales de la empresa (externo) APO – activos de los procesos de la organización (externo)</p> <p><u>SALIDAS:</u></p> <p>PGRH {3} – plan de gestión de los recursos humanos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Roles y responsabilidades • Organigrama del proyecto • Plan para la gestión del personal |
| <p>Proceso planificar la gestión de las comunicaciones (comunicaciones) 10.1</p> <p><u>ENTRADAS:</u></p> <p>PDP {14} – plan para la dirección del proyecto (viene 4.2) RI – registro de interesados (viene 13.1) FA – factores ambientales de la empresa (externo) APO – activos de los procesos de la organización (externo)</p> <p><u>SALIDAS:</u></p> <p>PGCM {6} – plan de gestión de las comunicaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Requisitos de comunicación de los interesados • Información que debe ser comunicada • Frecuencia de distribución • Persona responsable de comunicar • Personas a que le llegarán los comunicados • Recursos asignados <p>Actualización DDP – documentos del proyecto:</p> <ul style="list-style-type: none"> • CDP {5} – cronograma del proyecto (viene 6.6) • RI – registro de interesados (viene 13.1) |
| <p>Proceso planificar la gestión de los riesgos (riesgos) 11.1</p> <p><u>ENTRADAS:</u></p> <p>PDP {14} – plan para la dirección del proyecto (viene 4.2) AC {18} – acta de constitución del proyecto (viene 4.1) RI – registro de interesados (viene 13.1) FA – factores ambientales de la empresa (externo) APO – activos de los procesos de la organización (externo)</p> <p><u>SALIDAS:</u></p> <p>PGRS {13} – plan de gestión de riesgos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Metodología • Roles • responsabilidades • Presupuesto |

| |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Calendario • Categorías de riesgos • Definiciones de la probabilidad • impacto de los riesgos • Matriz de probabilidad • Impacto de la probabilidad • Revisión de las tolerancias de los interesados • Formatos de los informes • Seguimiento |
| <p>Proceso identificar los riesgos (riesgos) 11.2</p> <p><u>ENTRADAS:</u></p> <p>PGRS {13} – plan de gestión de riesgos (viene 11.1) PGCS {6} – plan de gestión de costos (viene 7.1) PGCR {7} – plan de gestión del cronograma (viene 6.1) PGCD – plan de gestión de la calidad (viene 8.1) PGRH {3} – plan de gestión de recursos humanos (viene 9.1) LBA {3}- línea base del alcance (viene 5.4) ECA – estimación de costos de las actividades (viene 7.2) EDA- estimación de la duración de las actividades (viene 6.5) RI – registro de interesados (viene 13.1) DA – documentos de adquisiciones (viene 12.1) FA – factores ambientales de la empresa (externo) APO – activos de los procesos de la organización (externo)</p> <p><u>SALIDAS:</u></p> <p>RR {2} – registro de riesgos</p> |
| <p>Proceso realizar análisis cualitativo los riesgos (riesgos) 11.3</p> <p><u>ENTRADAS:</u></p> <p>PGRS {13} – plan de gestión de riesgos (viene 11.1) LBA {3}- línea base del alcance (viene 5.4) RR {2} – registro de riesgos (viene 11.2) FA – factores ambientales de la empresa (externo) APO – activos de los procesos de la organización (externo)</p> <p><u>SALIDAS:</u></p> <p>Actualización DDP – documentos del proyecto:</p> <ul style="list-style-type: none"> • RR {2} – registro de riesgos (viene 11.2) • AC {18} – acta de constitución del proyecto (viene 4.1) |
| <p>Proceso realizar análisis cuantitativo los riesgos (riesgos) 11.4</p> <p><u>ENTRADAS:</u></p> <p>PGRS {13} – plan de gestión de riesgos (viene 11.1) PGCS {6} – plan de gestión de costos (viene 7.1) PGCR {7} – plan de gestión del cronograma (viene 6.1) RR {2} – registro de riesgos (viene 11.2) FA – factores ambientales de la empresa (externo) APO – activos de los procesos de la organización (externo)</p> <p><u>SALIDAS:</u></p> |

| |
|--|
| <p>Actualización DDP – documentos del proyecto:</p> <ul style="list-style-type: none"> • RR {2} – registro de riesgos (viene 11.2) |
| <p>Proceso planificar la respuesta a los riesgos (riesgos) 11.5</p> <p><u>ENTRADAS:</u></p> <p>PGRS {13} – plan de gestión de riesgos (viene 11.1) RR {2} – registro de riesgos (viene 11.2)</p> <p><u>SALIDAS:</u></p> <p>Actualización DDP – documentos del proyecto:</p> <ul style="list-style-type: none"> • RR {2} – registro de riesgos (viene 11.2) • PDP {14} – plan para la dirección del proyecto (viene 4.2) |
| <p>Proceso planificar la gestión de las adquisiciones (adquisiciones) 12.1</p> <p><u>ENTRADAS:</u></p> <p>PDP {14} – plan para la dirección del proyecto (viene 4.2) DDR {8} – documentación de requisitos (viene 5.2) RR {2} – registro de riesgos (viene 11.2) RRA – recursos requeridos para las actividades (viene 6.4) CDP {5} – cronograma del proyecto (viene 6.6) ECA- estimación de costos de las actividades (viene 7.2) RI – registro de interesados (viene 13.1) FA – factores ambientales de la empresa (externo) APO – activos de los procesos de la organización (externo)</p> <p><u>SALIDAS:</u></p> <p>PGA {9} – plan de gestión de las adquisiciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tipos de contratos • Riesgos • Documentos de las adquisiciones • Restricciones • Supuestos • Fechas • Garantías • Vendedores • Métricas de adquisiciones <p>ETRA – enunciados del trabajo relativo a adquisiciones CSP – criterios de selección de proveedores DHOC – decisiones de hacer o comprar SDC {4}- solicitudes de cambio:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Acción correctiva • Acción preventiva • Reparación de defectos • Actualizaciones <p>DA – documentos de las adquisiciones</p> <p>Actualización DDP – documentos del proyecto:</p> <ul style="list-style-type: none"> • DDR {8} – documentación de requisitos (viene 5.2) • MTRD {11} – matriz de trazabilidad de requisitos (viene 5.2) • RR {2} – registro de riesgos (viene 11.2) |

Proceso planificar la gestión de los interesados (interesados) 13.2**ENTRADAS:****PDP {14} – plan para la dirección del proyecto (viene 4.2)****RI – registro de interesados (viene 13.1)****FA – factores ambientales de la empresa (externo)****APO – activos de los procesos de la organización (externo)****SALIDAS:****PGI {3} – plan de gestión de los interesados:**

- Niveles de participación
- Interrelaciones
- Requisitos de comunicación
- Información que recibirán

Actualización DDP – documentos del proyecto:

- CDP {5} – cronograma del proyecto (viene 6.6)
- RI – registro de interesados (viene 13.1)

PROCESOS DE EJECUCIÓN: 8 procesos

- Dirigir y gestionar el trabajo del proyecto 4.3
- Realizar el aseguramiento de la calidad 8.2
- Adquirir el equipo del proyecto 9.2
- Desarrollar el equipo del proyecto 9.3
- Dirigir el equipo del proyecto 9.4
- Gestionar las comunicaciones 10.2
- Efectuar las adquisiciones 12.2
- Gestionar la participación de los interesados 13.3

Proceso dirigir y gestionar el trabajo del proyecto (integración) 4.3**ENTRADAS:****PDP {14} – plan para la dirección del proyecto (viene 4.2)****SDC {4} – solicitudes de cambio aprobadas (viene 13.3)****FA – factores ambientales de la empresa (externo)****APO – activos de los procesos de la organización (externo)****SALIDAS:****EA – entregables****DDT – datos de desempeño del trabajo****SDC {4} – solicitudes de cambio:**

- Acción correctiva
- Acción preventiva
- Reparación de defectos
- actualizaciones

Actualizar DDP – documentos del proyecto:

- PDP {14} – plan para la dirección del proyecto (viene 4.2)
- DDR {8} – documentos de requisitos (viene 5.2)
- RI – registro de interesados (viene 13.1)
- RDI – registro de incidentes (viene 13.3)
- RR {2} – registro de riesgos (viene 11.2)

| |
|--|
| <p>Proceso realizar el aseguramiento de la calidad (calidad) 8.2</p> <p><u>ENTRADAS:</u> PGCD – plan de gestión de la calidad (viene 8.1) PMP {4} – plan de mejoras de procesos (viene 8.1) MDCCD – métricas de calidad (viene 8.1) MCCD – medidas de control de calidad (viene 8.3) DDP – documentos del proyecto (viene DDP)</p> <p><u>SALIDAS:</u> SDC {4} – solicitudes de cambio Actualizar DDP – documentos del proyecto: <ul style="list-style-type: none"> • PDP {14} – plan para la dirección del proyecto (viene 4.2) • INFSDT – informes de desempeño del trabajo (viene 4.5) • APO – activos de los procesos de la empresa (externo) • PGRH – plan de gestión de recursos humanos (viene 9.1) </p> |
| <p>Proceso adquirir el equipo del proyecto (recursos humanos) 9.2</p> <p><u>ENTRADAS:</u> PGRH {3} – plan de gestión de recursos humanos (viene 9.1) FA – factores ambientales de la empresa (externo) APO – activos de los procesos de la organización (externo)</p> <p><u>SALIDAS:</u> EDR- asignaciones de personal del proyecto CDR – calendario de recursos Actualización DDP – documentos del proyecto: <ul style="list-style-type: none"> • PDP {14} – plan para la dirección del proyecto (viene 4.2) </p> |
| <p>Proceso desarrollar el equipo del proyecto (recursos humanos) 9.3</p> <p><u>ENTRADAS:</u> PGRH {3} – plan de gestión de recursos humanos (viene 9.1) EDR- asignaciones de personal del proyecto (viene 9.2) CDR – calendario de recursos (viene 9.2)</p> <p><u>SALIDAS:</u> EDE – evaluaciones del desempeño del equipo Actualización DDP – documentos del proyecto: <ul style="list-style-type: none"> • FA – factores ambientales de la organización (externo) </p> |
| <p>Proceso dirigir el equipo del proyecto (recursos humanos) 9.4</p> <p><u>ENTRADAS:</u> PGRH {3} – plan de gestión de los recursos humanos (viene 9.1) EDR – asignaciones de personal al proyecto (viene 9.2) EDE – evaluaciones del desempeño del equipo (viene 9.3) RDI – registro de incidentes (viene 13.3) INFSDT – informes de desempeño del trabajo (viene 4.5) APO – activos de la organización (externo)</p> <p><u>SALIDAS:</u> SDC {4} – solicitudes de cambio Actualización DDP – documentos del proyecto:</p> |

| |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • PDP {14} – plan para la dirección del proyecto (viene 4.2) • APO – activos de los procesos de la organización (externo) • FA – factores ambientales de la empresa (externo) • DDP – documentos del proyecto (viene DDP) • RDI – registro de incidentes (viene 13.3) • PGRH {3} – plan de gestión de recursos humanos (viene 9.1) |
| <p>Proceso gestionar las comunicaciones (comunicaciones) 10.2</p> <p><u>ENTRADAS:</u></p> <p>PGCM {6} – plan de gestión de las comunicaciones (viene 10.1)</p> <p>INFSDT – informes de desempeño del trabajo (viene 4.5)</p> <p>FA – factores ambientales de la organización (externo)</p> <p>APO – activos de los procesos de la empresa (externo)</p> <p><u>SALIDAS:</u></p> <p>CMP – comunicaciones del proyecto</p> <p>Actualización DDP – documentos del proyecto:</p> <ul style="list-style-type: none"> • PDP {14} – plan para la dirección del proyecto (viene 4.2) • APO – activos de los procesos de la organización (externo) • RDI – registro de incidentes (viene 13.3) • CDP {5}- cronograma del proyecto (viene 6.6) • RFP – requisitos financiamiento del proyecto (externo) |
| <p>Proceso efectúa las adquisiciones (adquisiciones) 12.2</p> <p><u>ENTRADAS:</u></p> <p>PGA {9} – plan de gestión de las adquisiciones (viene 12.1)</p> <p>DA – documentos de las adquisiciones (viene 12.1)</p> <p>CSP (criterios de selección de proveedores (viene 12.1)</p> <p>PDV – propuestas de los vendedores (externo)</p> <p>ETRA (enunciados del trabajo relativo a las adquisiciones (viene 12.1)</p> <p>DDP – documentos del proyecto (viene DDP)</p> <p>APO – activos de los procesos de la organización (externo)</p> <p><u>SALIDAS:</u></p> <p>VS – vendedores seleccionados</p> <p>ACD – acuerdos</p> <p>CDR – calendario de recursos</p> <p>SDC {4} – solicitudes de cambio</p> <p>Actualización DDP – documentos del proyecto:</p> <ul style="list-style-type: none"> • PDP {14} – plan para la dirección del proyecto (viene 4.2) • DDR {8} – documentos de requisitos (5.2) • MTDR {11} – matriz de trazabilidad de requisitos (viene 5.2) • RR {2}- registro de riesgos (viene 11.2) • RI – registro de interesados (viene 13.1) |
| <p>Proceso gestionar la participación de los interesados (interesados) 13.3</p> <p><u>ENTRADAS:</u></p> <p>PGI {3} – plan de gestión de los interesados (viene 13.2)</p> <p>PGCM {6} – plan de gestión de las comunicaciones (viene 10.1)</p> <p>RCB – registro de cambios (viene 4.5)</p> <p>APO – activos de los procesos de la organización (externo)</p> |

SALIDAS:

RDI – registro de incidentes

SDC {4} – solicitudes de cambio

Actualización DDP – documentos del proyecto:

- PDP {14} – plan para la dirección del proyecto (viene 4.2)
- APO – activos de los procesos de la organización (externo)
- RI – registro de interesados (viene 13.1)

PROCESOS MONITOREO Y CONTROL: 9 procesos**Proceso monitorear y controlar el trabajo del proyecto (integración) 4.4****ENTRADAS:**

PDP {14} – plan para la dirección del proyecto (viene 4.2)

PROCR – pronóstico del cronograma (viene 6.7)

PROCS – pronóstico de costos (viene 7.4)

SDC {4} – cambios validados

INFODT – información de desempeño del trabajo (viene 6.7)

FA – factores ambientales de la empresa (externo)

APO- activos de los procesos de la organización (externo)

SALIDAS:

SDC {4} – solicitudes de cambio

RCB – registro de cambios

INFSDT – informes de desempeño del trabajo

Actualización DDP: documentos del proyecto:

- PDP {14} – plan para la dirección del proyecto (viene 4.2)
- PROCR – pronóstico del cronograma (viene 6.7)
- PROCS – pronóstico de costos (viene 7.4)
- INFSDT – informes de desempeño del trabajo
- RDI – registro de incidentes (viene 13.3)

Proceso realizar el control integrado de cambios (integración) 4.5**ENTRADAS:**

PDP {14} – plan para la dirección del proyecto (viene 4.2)

INFSDT – informes de desempeño del trabajo (viene DDP)

SDC {4} – cambios validados (viene DDP)

FA – factores ambientales de la empresa (externo)

APO- activos de los procesos de la organización (externo)

SALIDAS:

SDC {4} – solicitudes de cambio

RCB – registro de cambios

Actualización DDP: documentos del proyecto:

- PDP {14} – plan para la dirección del proyecto (viene 4.2)

Proceso validar el alcance (alcance) 5.5**ENTRADAS:**

PDP {14}- plan para la dirección del proyecto (viene 4.2)

DDR {8} – documentación de requisitos (viene 5.2)

| |
|---|
| <p>MTDR {11} – matriz de trazabilidad de requisitos (viene 5.2) DDT – datos de desempeño del trabajo (viene 4.3)</p> <p><u>SALIDAS:</u> EA – entregables aceptables SDC {4} – solicitudes de cambio INFODT – información de desempeño del trabajo Actualización DDP – documentos del proyecto:</p> <ul style="list-style-type: none"> • DDR {8} – documentos de requisitos (viene 5.2) • MTDR {11} – matriz de trazabilidad de requisitos (viene 5.2) • EAP {6}- enunciado del alcance del proyecto (viene 5.3) |
| <p>Proceso validar el alcance (alcance) 5.5</p> <p><u>ENTRADAS:</u> PDP {14}- plan para la dirección del proyecto (viene 4.2) DDR {8} – documentación de requisitos (viene 5.2) MTDR {11} – matriz de trazabilidad de requisitos (viene 5.2) DDT – datos de desempeño del trabajo (viene 4.3) APO – activos de los procesos de la organización (externo)</p> <p><u>SALIDAS:</u> SDC {4} – solicitudes de cambio INFODT – información de desempeño del trabajo Actualización DDP – documentos del proyecto:</p> <ul style="list-style-type: none"> • PDP {14} – plan para la dirección del proyecto (viene 4.2) • DDR {8} – documentación de requisitos (viene 5.2) • MTDR {11} – matriz de trazabilidad de requisitos (viene 5.2) • APO – activos de los procesos de la organización (externo) |
| <p>Proceso controlar el cronograma (alcance) 6.7</p> <p><u>ENTRADAS:</u> PDP {14} – plan para la dirección del proyecto (viene 4.2) DDC {3} – datos del cronograma (viene 6.6) CDP {5} – cronograma del proyecto (viene 6.6) DDT – datos de desempeño del trabajo (viene 4.3) APO – activos de los procesos de la organización (externo)</p> <p><u>SALIDAS:</u> INFODT – información de desempeño del trabajo PROCR – pronósticos del cronograma SDC {4} – solicitudes de cambio Actualización DDP – documentos de los proyectos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • PDP {14} – plan para la dirección del proyecto (viene 4.2) • DDC {3} –datos del cronograma (viene 6.6) • CDP {5} – cronograma del proyecto (viene 6.6) • APO – activos de los procesos de la organización (externo) • RR {2} – registro de riesgos (viene 11.2) |
| <p>Proceso controlar los costos (costos) 7.4</p> <p><u>ENTRADAS:</u> PDP {14} – plan para la dirección del proyecto (viene 4.2)</p> |

RFP – requisitos de financiamiento (externo)
 DDT- datos de desempeño del trabajo (viene 4.3)
 APO – activos de los procesos de la organización (externo)

SALIDAS:

INFODT – información de desempeño del trabajo
 PROCS – pronósticos del cronograma
 DDP – documentos del proyecto
 ECA – estimado de costos de las actividades
 BDE – base de estimaciones
 SDC {4} – solicitudes de cambio
 Actualización DDP – documentos de los proyectos:

- PDP {14} – plan para la dirección del proyecto (viene 4.2)
- APO – activos de los procesos de la organización (externo)

Proceso controlar la calidad (calidad) 8.3

ENTRADAS:

PDP {14} – plan para la dirección del proyecto (viene 4.2)
 MDCD – métricas de calidad (externo)
 LVCD – listas de verificación de calidad (externo)
 DDT – datos de desempeño del trabajo (viene 4.3)
 SDC {4} – solicitudes de cambio (viene DDP)
 DDP – documentos del proyecto (viene DDP)
 APO – activos de los procesos de la organización (externo)
 EA – entregables (viene DDP)

SALIDAS:

MCCD – medidas de control de calidad
 RCB – cambios validados
 EA – entregables validados
 INFODT – información de desempeño del trabajo
 SCD {4} – solicitudes de cambio
 Actualización DDP – documentos del proyecto:

- PDP {14} – plan para la dirección del proyecto (viene 4.2)
- APO – activos de los procesos de la organización (externo)
- ACD – acuerdos (externo)
- INFSODT – informes de desempeño del trabajo (viene DDP)
- DDP – documentos del proyecto (viene DDP)

Proceso controlar las comunicaciones (comunicaciones) 10.3

ENTRADAS:

PDP {14} – plan para la dirección del proyecto (viene 4.2)
 CMP – comunicaciones del proyecto (viene 10.2)
 RDI – registro de incidentes (viene 13.3)
 DDT – datos de desempeño del trabajo (viene 4.3)
 APO – activos de los procesos de la organización (externo)

SALIDAS:

INFODT – información de desempeño del trabajo
 SDC {4} – solicitudes de cambio

| |
|--|
| <p>Actualización DDP – documentos del proyecto:</p> <ul style="list-style-type: none"> • PDP {14} – plan para la dirección del proyecto (viene 4.2) • APO – activos de los procesos de la organización (externo) • PROCR – pronósticos del cronograma (viene 6.7) • PROCS – pronósticos de costos (viene 7.4) • INFSDT – informes de desempeño del trabajo (viene DDP) • RDI – registro de incidentes (viene 13.3) |
| <p>Proceso controlar los riesgos (riesgos) 11.6</p> <p><u>ENTRADAS:</u></p> <p>PDP {14} – plan para la dirección del proyecto (viene 4.2) RR {2} – registro de riesgos (viene 11.2) DDT – datos de desempeño del trabajo (viene 4.3) INFSDT – informes de desempeño del trabajo (viene DDP)</p> <p><u>SALIDAS:</u></p> <p>INFODT – información de desempeño del trabajo (viene DDP) SDC {4} – solicitud de cambios (viene DDP)</p> <p>Actualización DDP – documentos del proyecto:</p> <ul style="list-style-type: none"> • PDP {14} – plan para la dirección del proyecto (viene 4.2) • APO – activos de los procesos de la organización (externo) • RR {2} – registro de riesgos (viene 11.2) |
| <p>Proceso controlar las adquisiciones (adquisiciones) 12.3</p> <p><u>ENTRADAS:</u></p> <p>PDP {14} – plan para la dirección del proyecto (viene 4.2) DA – documentos de las adquisiciones (viene 12.1) ACD – acuerdos (externo) SDC {4} – solicitud de cambios (viene DDP) INFSDT – informes de desempeño del trabajo (viene DDP) DDT – datos de desempeño del trabajo (viene 4.3)</p> <p><u>SALIDAS:</u></p> <p>INFODT – información de desempeño del trabajo SDC {4} – solicitudes de cambio</p> <p>Actualización DDP – documentos del proyecto:</p> <ul style="list-style-type: none"> • PDP {14} – plan para la dirección del proyecto (viene 4.2) • APO – activos de los procesos de la organización (externo) • DA- documentos de las adquisiciones (viene 12.1) |
| <p>Proceso controlar la participación de los interesados (interesados) 13.4</p> <p><u>ENTRADAS:</u></p> <p>PPD {14} – plan para la dirección del proyecto (viene 4.2) RDI – registro de incidentes DDT – datos de desempeño de trabajo DDP – documentos del proyecto (viene DDP)</p> <p><u>SALIDAS:</u></p> <p>INFODT – información de desempeño del trabajo SDC {4} – solicitudes de cambio</p> <p>Actualización DDP – documentos del proyecto:</p> |

- PDP {14} – plan para la dirección del proyecto (viene 4.2)
- APO – activos de los procesos de la organización (externo)
- RI – registro de interesados (viene 13.1)
- RDI – registro de incidentes (viene 13.3)

PROCESOS DE CIERRE: 2 procesos

Proceso cerrar el proyecto o fase (integración) 4.6

ENTRADAS:

PDP {14} – plan para la dirección del proyecto (viene 4.2)

EA – entregables aceptados (viene DDP)

APO – activos de los procesos de la organización (externo)

SALIDAS:

TRESUL – transferencia del producto

RESUL – servicio o resultado final

Actualización DDP – documentos del proyecto:

- **APO – activos de los procesos de la organización (externo)**

Proceso cerrar el proyecto o fase (adquisiciones) 12.4

ENTRADAS:

PDP {14} – plan para la dirección del proyecto (viene 4.2)

DA – documentos de adquisiciones (viene 12.1)

SALIDAS:

ACE – adquisiciones cerradas

Actualización DDP – documentos del proyecto:

- **APO – activos de los procesos de la organización (externo)**

Anexo 4: Diseño de la encuesta.

| | |
|--|--|
| Descripción de la encuesta: Esta encuesta hace parte del proyecto de investigación “Gestión de proyectos complejos: perspectiva desde la complejidad” del doctorado Ingeniería – Industria y Organizaciones de la Universidad Nacional de Colombia – sede Manizales. Los objetivos específicos de la encuesta pretenden conocer su percepción sobre: a) Las situaciones que pueden gestionarse a través de un proyecto. b) La Gestión de Proyectos. | |
| Nombres y Apellidos: | Nivel de Formación: |
| Nombre de la Organización: | Cargo: |
| Años en la Organización: | |
| Número de proyectos en los que ha participado: | Ha participado como: equipo ejecutor, coordinador, directivo, gerente del proyecto, planificador. |
| SITUACIÓN QUE PODRÁ GESTIONARSE A TRAVÉS DE UN PROYECTO | |
| ¿Qué tipo de situaciones se pueden manejar/decidir/entender a través de un proyecto? | |
| En su organización: ¿Quién identifica este tipo de situaciones?, y ¿quién las define? | |
| ¿Cuál es el método/metodología/herramientas que aplica para gestionar un proyecto? | |
| ¿Se presentan situaciones complejas? y ¿Por qué diría que son complejas? | |
| GESTIÓN DE PROYECTOS | |
| ¿Qué tipo de proyectos ha gestionado/liderado/dirigido/coordinado? | |
| ¿La gestión de una situación compleja tiene un tratamiento diferente? y ¿Por qué es diferente? | |
| ¿Qué obstáculos/problemas principales se le han presentado durante la ejecución de los proyectos? | |
| ¿Qué hace cuando se presentan estos obstáculos? | |
| ¿Qué es una gestión exitosa de un proyecto? y ¿Cuáles son los factores /condiciones /variables de éxito de un proyecto? | |
| ¿Desde la formación, cómo se ha preparado para gestionar proyectos? | |
| ¿La formación que ha recibido es suficiente para gestionar situaciones simples y complejas? | |
| ¿Las decisiones en un proyecto la toma de manera individual o en equipo? | |
| ¿Qué características debe tener el equipo ejecutor de un proyecto? | |

Si tiene algún comentario sobre los temas consultados, por favor escríbalo a continuación.

Anexo 5: Resultados de la aplicación de los instrumentos en la investigación empírica.

Prueba piloto:

Respuestas sobre las variables definidas:

1. Situaciones que se pueden manejar/decidir/entender a través de un proyecto:
 - Cualquiera que permita resolver un problema, una necesidad o aprovechar una oportunidad.
 - Situaciones en las que un equipo desee solucionar un problema de cualquier tipo, con fases o etapas programadas y objetivos claros a ser desarrollados durante un tiempo definido.
 - Cualquier situación comercial, de mercadeo, administrativa, técnica y operativa.
 - Escases de tiempo, de recursos, gestión de riesgos.
 - Comprensión de problemas.
 - Diseño de soluciones
 - Gestión de recursos
 - Implementación de herramientas/productos/servicios
 - Situaciones administrativas, jurídicas, de riesgos, de calidad, de control, de conflicto, de retardo, de incremento de costos.
2. Persona/unidad que identifica este tipo de situaciones:
 - Coordinador del área
 - Los diseñadores
 - Directivos y profesionales que se desempeñan en proyectos
 - Alta gerencia
 - El gerente del proyecto, el equipo de trabajo o el interventor interno.
3. Método/metodología/herramientas que aplica para gestionar un proyecto: PMBOK®, marco lógico, design thinking, herramientas de co-creación, diseño centrado en el usuario, innovación abierta, innovación social, scrum, canvas, micro-comités, MGA.
4. ¿Se presentan situaciones complejas?, el 100% respondió que sí, ¿Por qué son complejas?
 - Por los actores.
 - Por variables impredecibles, la evolución del proyecto depende de la acogida que tiene el usuario/cliente hacia la solución propuesta.
 - Porque tienen muchas variables simultáneas, con muchos enfoques diferentes.
 - Por los tiempos, la administración de recursos y la gestión del riesgo.
 - Flujo de recursos económicos, modificaciones sustanciales en requerimientos, en forma no prevista, salida del talento humano en momentos cruciales del proyecto, consecución de talento humano muy específicos, cambios de personal en unidades de usuarios, problemas tecnológicos.
 - Cuando los puntos de vista de los beneficiarios no concuerdan con el ejecutor, cuando el interventor no facilita el avance del proyecto.
 - Cuando los interesados no tienen claridad sobre los requerimientos del proyecto.
5. ¿La gestión de una situación compleja tiene un tratamiento diferente? y ¿por qué es diferente? El 100% de los participantes responden que sí a la primera pregunta. A la segunda pregunta responden lo siguiente:
 - Se requiere otro tipo de planificación
 - Hay que tener en cuenta diferentes variables que pueden o no estar presentes dependiendo de cada proyecto, y que, a su vez, se deben gestionar de maneras específicas según el fin que se desea y el público al cual va dirigido el resultado.

- Hay que identificar, analizar y decidir sobre múltiples asuntos simultáneos.
 - Por el nivel de riesgo, las relaciones dentro del equipo de proyecto, es más tenso.
 - Porque puede afectar el tiempo o los costos del proyecto. En organizaciones públicas se generan riesgos de tipo disciplinario o fiscal para los responsables de los proyectos.
6. ¿Qué obstáculos/problemas principales se le han presentado durante la ejecución de los proyectos?
- Definición de objetivos.
 - Entendimiento del usuario, conocer sus necesidades, mantener siempre presente el objetivo inicial durante la ejecución del proyecto, la documentación del proceso (gestión de proyectos concurrentes), hablar el mismo lenguaje.
 - Financiamiento y equipos de trabajo.
 - Falta de tiempo, ejecución presupuestal especialmente con entidades públicas.
 - Renuncia de personal clave en el proyecto.
 - Dificultades con flujos de fondo.
 - No disponibilidad oportuna de recursos tecnológicos.
 - Levantamiento incompleto o cambios drásticos de requerimientos.
7. ¿Qué hace cuando se presentan estos obstáculos?
- Analizar, ver alternativas, hacer pruebas.
 - Determinar la mejor ruta para resolverlos, consultar con expertos, consultar con el cliente.
 - Socializar con la dirección, interesados y actores clave.
 - Gestionar modos alternativos de realizar las tareas.
 - Gestionar alianzas temporales para acceso a recursos tecnológicos.
 - Gestionar personal a través de redes académicas.
8. ¿Qué es una gestión exitosa de un proyecto?, ¿Cuáles son los factores/condiciones/variables de éxito de un proyecto?
- Alcanzar los objetivos definidos.
 - Se llega al objetivo planteado desde el principio, se soluciona la necesidad identificada, el resultado es acogido positivamente por el público objetivo.
 - Se cumple con: tiempo, costos, recursos, aliados/participantes/actores, presupuesto, alcance.
 - Se cumplen con los objetivos del cliente/usuario, en los tiempos establecidos y con aprovechamiento óptimo de los recursos.
9. El 100% de los participantes se ha preparado para gestionar proyectos a través de educación formal, pero reconocen que no ha sido suficiente para gestionarlos en la práctica.
10. El 100% de los encuestados responden que las decisiones siempre las toman en equipo, no de manera individual.
11. Características del equipo ejecutor del proyecto:
- Cohesionado, competitivo, entrenado, capacitado
 - Balance entre personalidades de los individuos y sus habilidades/potencial para resolver problemas
 - Creativas/soñadoras, ingenieros/calculadores, creadores/realizadores, personas sociales.
 - Multienfoque/multidimensional
 - Comunicación efectiva, compromiso, organización
 - Motivación
 - Capacitado

- Auto organizado

Anexo 6: Resultados de la aplicación de los instrumentos en la investigación empírica.

Aplicación de la encuesta y la entrevista semi-estructurada:

Respuestas sobre las variables definidas:

1. Situaciones que se pueden manejar/decidir/entender a través de un proyecto:
 - Satisfacción de necesidades.
 - Impactos sociales y ambientales.
 - Factores socioeconómicos
 - Factores jurídicos
 - Reconocimientos de entorno
 - Establecimiento de nuevas políticas
2. Persona/unidad que identifica este tipo de situaciones:
 - Directivos o gerentes de las empresas o del proyecto
 - El cliente que está contratando la organización para desarrollar el proyecto.
 - El equipo de trabajo.
3. Método/metodología/herramientas que aplica para gestionar un proyecto: PMBOK®, CANVAS, MGA, Microsoft Project, diagrama Gantt, ruta crítica, lluvia de ideas, WBS, flujo de caja, paretto, marco lógico, análisis estadístico, análisis de mercado, herramientas ofimáticas.
4. ¿Se presentan situaciones complejas?, el 100% respondió que sí, ¿Por qué son complejas?
Los siguientes temas pueden sufrir inconvenientes o problemas que se catalogan como complejos ya que pueden afectar o alterar el normal desarrollo del proyecto.
 - Por el entorno de desarrollo.
 - Por la planeación del proyecto
 - Por los procesos
 - Por el manejo de Recursos: tiempo, dinero y recursos humanos
 - Por el mercado
 - Como resultado del análisis de los riesgos
 - Por el impacto
 - Tema legal
5. ¿La gestión de una situación compleja tiene un tratamiento diferente? y ¿Por qué es diferente? El 90% de los participantes responden sí a la primera pregunta y el 10% responden que una situación compleja debe ser tratada de la misma manera que una situación simple, encontrando una solución. A la segunda pregunta responden porque debe tenerse en cuenta lo siguiente:
 - Planes de contingencia
 - Plan para responder a los riesgos
 - Plan B
 - Metodologías adicionales que puedan cubrir este tipo de situaciones de forma inmediata.

6. ¿Qué obstáculos/problemas principales se le han presentado durante la ejecución de los proyectos?
 - Errores de planificación (respuesta más común)
 - Desinterés o retiro del personal
 - Incumplimiento de cronogramas
 - Escases de recursos
 - Problemas sociales, ambientales, climáticos
 - Viabilidad del proyecto
 - Mala estimación de riesgos
 - Cambio de requerimientos
 - Problemas legales
 - Política
 - Población asociada al proyecto

7. ¿Qué hace cuando se presentan estos obstáculos?
 - Maximizar recursos
 - Hablar con directivos
 - Análisis de situaciones
 - Búsqueda de alternativas
 - Mitigación de riesgos

8. ¿Qué es una gestión exitosa de un proyecto? ¿Cuáles son los factores/condiciones/variables de éxito de un proyecto?
 - Cumplimiento de objetivos
 - Cumplimiento del cronograma
 - No exceder los recursos
 - Calidad deseada en el producto final
 - Éxito post desarrollo del proyecto
 - Buena ejecución del proyecto
 - Cumplimiento de indicadores

9. El 100% de los participantes se ha preparado para gestionar proyectos a través de educación formal, pero reconocen que no ha sido suficiente para gestionarlos en la práctica, a pesar de que de manera constante se están actualizando en temas relacionados, se debe conseguir experiencia participando de manera constante en proyectos.

10. El 77% de los encuestados responden que las decisiones siempre las toman en equipo, el 22% entre el equipo y de manera individual y el 1% de manera individual.

11. Características del equipo ejecutor del proyecto:
 - Capacidad de análisis
 - Liderazgo
 - Adaptación
 - Excelente comunicación
 - Recursivo
 - Interdisciplinar/multidisciplinar
 - Alta experiencia
 - Buenas relaciones

- Proactividad
- Buena sinergia
- Propositivo
- Competencias blandas
- Competencias específicas del área del proyecto

Bibliografía

- Alderman, N., Ivory, C.,** (2010). Service-led projects: understanding the meta-project context. *CONstr. Manag. Econ.* 28, 1131-1143.
- Aloini, D., Dulmin, R., Mininno, V.,** (2007). *Risk management in ERP project introduction: review of the literature.* *Information Management* 44 (6), 547–567.
- Andersen, E.S.,** (2008). *Rethinking Project Management an organizational perspective.* FT Prentice Hall, Essex, England.
- Anderson, P.,** (1999), 'Complexity Theory and Organization Science', *Organization Science* 10:3, 216-323.
- Arellano D., Danti J., Pérez M.F.,** (2016). *Proyectos y Sistemas Complejos.* PMI-INCOSE.
- Aritua, B., Smith, N.J., Bower, D.,** (2009). Construction client multi-projects a complex adaptive systems perspective. *Int. J. Proj. Manag.* 27, 72-79.
- Ashby, W. R.,** (1962). Principles of self-organization, En Hinez von Foerster and GW Zopf Jr., *Principles of Self-Organization: Transactions of the University of Illinois Symposium,* Pergamon Press, New York.
- Atlan, H.,** (1990). *Entre el cristal y el humo.* Madrid: Editorial Debate.
- Atkinson, P., Hammersley,** (1995). *Ethnography and Participant Observation.* En: *Handbook of Qualitative Research.*
- Atkinson, R., Crawford, L., Ward, S.,** (2006). Fundamental uncertainties in projects and the scope of project management. *International Journal Project Management.* 24 (8), 687–698.
- Austin, S., Newton, A., Steele, J., Waskett, P.,** (2002). Modelling and managing project complexity. *International Journal Project Management.* 20 (3), 191–198.
- Avena, E.,** (2005). The experience of responsibility-based management in decision making: a grounded theory study. Dissertation. University of Phoenix, November.
- Baccarini, D.,** (1996). The concept of project complexity –a review. *International Journal of Project Management,* 14, pp 201-204.
- Baccarini, D.,** (1999). The Logical Framework Method for Defining Project Success. *Project Management Journal,* 30(4), 25-32.
- Badawy, M.,** (1997) *Temas de gestión e innovación para científicos e ingenieros,* Clásicos COTEC, Fundación para la innovación tecnológica, Madrid, España.
- Baker, C.,** (1997). Membership, categorization and interview accounts. In: D. Silverman (Ed.). *Qualitative Research: Theory, method and practice.* London: Sage publications.
- Bakir, A. & Bakir, V.,** (2006). Unpacking complexity, pinning down the “elusiveness” of strategy. A grounded theory study in leisure and cultural organisations *Qualitative Research in Organizations and Management: An International Journal,* 1(3).
- Bakker, R.M.,** (2010). Taking stock of temporary organizational forms: a systematic review and research agenda. *Int. J. Manag. Rev.* 12, 466-486.
- Barabási, A. L., Jeong, H., Ravasz, E., Néda, Z., Schuberts, A., and Vicsek, T.,** (2002). Evolution of the social network of scientific collaborations, *Physica A* 311, 590-614.
- Barbier, J.M.,** (1996). *Savoirs théoriques et saviors d'áction.* París: PUF, 305 p.
- Barclay, C., y Osei-Bryson, K. M.,** (2010). Project performance development framework: An approach for developing performance criteria y measures for information systems (IS) projects. *International Journal of Production Economics,* 124(1), 272-292.
- Barlett, C. y Ghoshal, S.,** (2003) “What is a global manager?”, *Harvard Bussiness Review,* septiembre- octubre.
- Barnes, D.M.,** (1996). An analysis of the Grounded theory method and the concept of culture. *Qualitative Health Research* 6(3): 429-441.

- Bar-Yam**, (2004). Making Things Work solving complex Problems in A Complex World. NECSI-Knowledge Press.
- Belout, A., Gauvreau, C.**, (2004). Factors influencing project success: the impact of human resource management. *International Journal Project Management*. 22 (1), 1–11.
- Benbya, H., McKelvey, B.**, (2006). Toward a complexity theory of information systems development. *Inf. Technol. People* 19 (1), 12–34.
- Bernal, A.C.**, (2010). Metodología de la investigación. Administración, economía, humanidades y ciencias sociales. Tercera Edición. Pearson.
- Bertalanffy V.**, (1968). General System Theory: Foundations Development, Applications. New York: George Braziller.
- Berg. M.**, (2001). Implementing information systems in health care organizations: myths and challenges. *Int. J. Med. Inform.* 64, 143-156.
- Bertelsen, S.**, (2003). Construction as a complex system. Presented at the 11th annual conference in the International Group for Lean Construction, Blacksburg VA, August 2003.
- Bertalanffy, L. V.**, (1962). General Systems Theory: A Critical review, General Systems VII.
- Bertalanffy, L.V.**, (1968). General Systems Theory. New York, G. Brasiller.
- Bianconi, G. and Barabási, A. L.**, (2001). Competition and multiscaling in evolving networks, *Europhys. Lett.* 54, 436-442.
- Bianconi, G. and Capocci, A.**, (2003). Number of loops of size h in growing scale-free networks, *Phys. Rev. Lett.* 90, 078701.
- Boccaletti, S., Latora, V., Moreno, Y., Chavez, M., and Hwang, D. U.**, (200&). Complex networks: Structure and dynamics, *Phys, Rep.* 424, 175-308.
- Bolseguí, M. and Fuguet S.A.**, (2006). Construcción de un modelo conceptual a través de la investigación cualitativa. *Sapiens. Revista Universitaria de Investigación*, vol. 7, núm. 1. Universidad Pedagógica Experimental Libertador. Caracas, Venezuela.
- Boje, D.M., Gephart J r., R.P., Thatchenkery, T.J.**, (1996). Postmodern Management and Organization Theory. Thousand Oaks: Sage Publications.
- Booch, G., Rumbaugh, J. y Jacobson, I.**, (2006). El lenguaje de modelado, Pearson, Madrid.
- Borgatti, S.P.**, (2005). Centrality and network flow, *Soc. Networks* 27, 55-71.
- Bowman, R.A.**, (1995). *Efficient estimation of arc criticalities in stochastic activity networks*. *Management Science*. 41 (1), 58–67.
- Bradley, G.**, (2010). Benefit realisation management, 2nd ed. Gower, Farnham.
- Brady, T., Davies, A.**, (2010). From hero to hubris—reconsidering the project management of Heathrow’s Terminal 5. *International Journal Project Management*. 28 (2), 151–157.
- Bredillet, C.**, (2007). Exploring research in project management: nine schools of project management research (part 1). *Proj. Manag. J.* 38, 3-4.
- Breese, R.**, (2012). Benefits realisation management panacea or false dawn? *Int. J. Proj. Manag.* 30, 341-351.
- Brocke, J.V., Simons, A., Niehaves, B., Reimer, K., Plattfaut, R. Cleven, A.**, (2009). Reconstructing the giant: on the importance of rigour in documenting the literatura search process. ECIS 2009 Proceedings. Paper 161.
- Browning, T.R., Eppinger, S.D.**, (2002). Modeling impacts of process architecture on cost and schedule risk in product development. *IEEE Trans. Eng. Manag.* 49 (4), 428–442.
- Bryman, A.**, (2008). Social research methods, Third edition. Oxford University Press, Oxford.
- Burcar, I. and M. Radujkoviü**, (2009). Risk model for construction projects risk register system. in Construction facing worldwide chalenges - Joint 2008 CIB W065/W055

Commissions Symposium Proceedings. Dubrovnik: Faculty of Civil Engineering, University of Zagreb.

Burrell, G., Morgan, G., (1979). Sociological paradigms and organisational analysis. Elements of the Sociology of Corporate Life Heinemann Educational, London.

Burt, J.M., (1977). Planning and dynamic control of projects under uncertainty. *Management Science*. 24 (3), 249–258.

Bubshait, KA & Selen WJ., (1992). Project characteristics that influence the implementation of project management techniques: a survey. *Project Management Journal* XXIII, No. 2, pp. 43-47.

Burcar, Dunoviü I., Radujkoviü M., Skreba A.K., (2014). 27th IPMA World Congress Towards a new model of complexity - the case of large infrastructure projects. Croatia.

Briskorn, D., (2010). A survey of variants and extensions of the resource-constrained project scheduling problem. *Eur. J. Oper. Res.* 207 (1), 1–14.

Brodbeck, M., (1959) "Models, Meanings and Theories", en Symposium on Sociological Theory, ed. L. Gross, 373-403, New York Harper & Row.

Capra, F., (2002). Las conexiones ocultas. Implicaciones sociales, medioambientales y económicas y biológicas de una nueva vision del mundo. Barcelona: Editorial Anagrama.

Cardona, O. D., (2001). Estimación holística del riesgo sísmico utilizando sistemas dinamicos complejos. Universitat Politècnica de Catalunya. Escola Tècnica superior d'enginyers de camins, canals i ports. Barcelona.

Cardona, O.D. et. al., (2004). Metodología para la evaluación del desempeño de la gestión del riesgo.

Castellani, B., & Rajaram, R., (2012). Case-based modeling and the SACS Toolkit: a mathematical outline. *Computational and Mathematical Organization Theory*, 18(2), 153-174.

Castellani, B. R. Rajaram, G. Buckwalter, M. Ball and F. Hafferty, (2014) *Place and Health as Complex Systems: A Case-Based Study and Empirical Test*. In *SpringerBriefs in Public Health Series*. New York: Springer. In press.

Castellani, B., Schimpf, C., & Hafferty, F., (2013). Medical Sociology and Case-Based Complexity Science: A User's Guide. In *Handbook of Systems and Complexity in Health* (pp. 521-535). Springer New York.

Castellani, B., & Hafferty, F. W., (2009). *Sociology and complexity science: a new field of inquiry*. Springer.

Castellani, B., (1999). Michel Foucault and symbolic interactionism: The making of a new theory of interaction. *STUDIES IN SYMBOLIC INTERACTION, VOL 22, 1999, 22, 247-272*.

Chanas, S., Zieliński, P., (2001). *Critical path analysis in the network with fuzzy activity times*. *Fuzzy Sets Syst.* 122 (2), 195–204.

Chapman, C., Ward, S., (2000). Estimation and evaluation of uncertainty: a minimalist first pass approach. *International Journal Project Management*. 18 (6), 369–383.

Chen, W.S., Hirschheim, R., (2004). A paradigmatic and methodological examination of information systems research from 1991 to 2001. *Inf. Syst. J.* 14, 197–235.

Chen, S.P., (2007). *Analysis of critical paths in a project network with fuzzy activity times*. *Eur. J. Oper. Res.* 183 (1), 442–459.

Chervel, M. y Le Gall, M., (1991). Manual de evaluación económica de proyectos El método de los efectos. Bogotá: Aguilar.

Cho, J.G., Yum, B.J., (1997). An uncertainty importance measure of activities in PERT networks. *International Journal Prod. Res.* 35 (10), 2737–2758.

Cho, S.H., Eppinger, S.D., (2005). *A simulation-based process model for managing complex design projects*. *IEEE Trans. Eng. Manag.* 52 (3), 316–328.

- Cicmil, S., Williams, T., Thomas, J., Hodgson, D.,** (2006). Rethinking project management: researching the actuality of projects. *International Journal Project Management*. 24 (8), 675–686.
- Clarke, N.,** (2010). Projects are emotional: how project managers' emotional awareness can influence decisions and behaviours in projects. *Int. J. Manag. Proj. Bus.* 3, 604–624.
- Comte, A.,** (1830). *Cours de Philosophie Positive*, Bachelier, Imprimeur Libraire pour les sciences, París.
- Corbin, J. & Strauss, A.,** (1990). Grounded theory research: Procedures, canons and evaluative criteria. *Qualitative Sociology*, 13, 3-21.
- Cook, T.M., Jennings, R.H.,** (1979). Estimating a project's completion time distribution using intelligent simulation methods. *J. Oper. Res. Soc.* 30 (12), 1103–1108.
- Cooke-Davies, T., Cicmil, S., Crawford, L., Richardson, K.,** (2007). Mapping the strange landscape of complexity theory, and its relationship to project management. *Project Management*. J. 38 (2), 50–61.
- Cooke-Davies, T.,** (2002). The “real” success factors on projects. *International Journal of Project Management*, 20(3), 185-190.
- Cooper R and Burrell G.,** (1988). Mode - risme, Postmodernisme En Organisationsanalyse, in *Mens En Onderneming*, 1988, 5: 283-306.
- Crawford, L., Morris, P., Thomas, J., Winter, M.,** (2006). Practitioner development: from trained technicians to reflective practitioners. *Int. J. Proj. Manag.* 24, 722–733.
- Cueva, J.,** (2009). *La complejidad y la gerencia. Lineamientos para gestionar la complejidad en la empresa.*
- Curry, E.L.,** (2003). The use of Grounded theory as a knowledge development tool. *Journal of Theory Construction & Testing*, Fall; 7, 2.
- Danilovic, M., Browning, T.R.,** (2007). Managing complex product development projects with design structure matrices and domain mapping matrices. *International Journal Project Management*. 25 (3), 300–314.
- de Wit, A.,** (1988). Measurement of project success. *International Journal of Project Management*, 6(3), 164-170.
- Dille, T., Söderlund, J.,** (2011). Managing inter-institutional projects: the significance of isochronism, timing norms and temporal misfits. *Int. J. Proj. Manag.* 29, 480–490.
- Dombkins, DH.,** (2008). The Integration of Project Management and Systems Thinking. A chapter published in the annual publication of International Project Management Association, XXIX, pp. 16-21.
- Dorogovtsev, S.N. and Mendes, J.F.F.,** (2002). Evolution of networks, *Adv. Phys.* 51, 1079-1187.
- Dubring, A.,** (2004). *Essentials of management*, Cap. 1, Cincinnati, Ohio: South- Western Publishing Co.
- Dunovic, B.I. & Radujkovic, M. & Skreb, K. A.,** (2014). Towards a new model of complexity – the case of large infrastructure projects. 27th IPMA World Congress. University of Zagreb, Faculty of Civil Engineering, Kaciceva 26, Zagreb, Croatia.
- Dyner, I. et. al.,** (2016). Enfoque metodológico para el estudio y representación de comportamientos complejos en mercados de electricidad. *Ing. cienc.*, vol. 12, no. 24, pp.195–220, julio-diciembre.
- Eden, C., Williams, T., Ackermann, F., Howick, S.,** (2000). The role of feedback dynamics in disruption and delay on the nature of disruption and delay (D&D) in major projects. *J. Oper. Res. Soc.* 51 (3), 291–300.
- Elmaghraby, S.E., Fathi, Y., Taner, M.R.,** (1999). On the sensitivity of project variability to activity mean duration. *Int. J. Prod. Econ.* 62 (3), 219–232.

- Engholm, P.**, (2001). May. The Controversy Between Modernist and Postmodernist Views of Management Science: Is a Synergy Possible? Internet, Monash University.
- Erdős, P. and Rényi, A.**, (1961). On the strength of connectedness of a random graph. *Acta Mathematica Scientia Hungaria* 12, 261-267.
- Estáy-Niculcar, C.**, (2007). Rigor y relevancia, perspectivas filosóficas y gestión de proyectos de Investigación- Acción en Sistemas de Información. Departamento de humanidades Universitat internacional de catalunya. Barcelona – España. Tesis Doctoral.
- Foerster, Heinz Von**, (1996). Las semillas de la cibernética. 2º ed, Colección terapia familiar. Gedisa. Barcelona.
- Forrester, H.V.**, (1968). *Principies of Systems*. Cambridge: Wriqth Allen.
- Freeman, L.C.**, (2004). *The Development of Social Network Analysis*, Empirical Press, Vancouver.
- García R.**, (2000). Capítulo 4: Los procesos cognpsctivos, En Rolando García, El conocimiento en construcción. De las formulaciones de Jean Piaget a la teoría de los sistemas complejos. Gedisa, Barcelona, Pag. 95-113.
- García R.**, (2006). *Sistemas Complejos*. Editorial GEDISA.
- Geraldi, J. G.**, (2008) 'The balance between order and chaos in multi-project firms: A conceptual model', *International Journal of Project Management*, 26(4), 348-356.
- Geraldi, J., Adlbrecht, G.**, (2007). On faith, fact, and interaction in projects. *Project Management. J.* 38 (1), 32–43.
- Geraldi, J., & Adlbrecht, G.**, (2006). Unravelling Complexities in Engineering Projects. Cited in a chapter Patterns of Complexity: The Thermometer of Complexity in *the annual publication of International Project Management Association, XXI* by Geraldi, pp. 4-9.
- Gidado, K.**, (1993). Numerical Index of Complexity in Building Construction with Particular Consideration to its Effect on Proudction Time. Ph. D. Thesis, University of Brighthon.
- Gido, J. Clements, J. P.**, (2006). *Administración Exitosa de Proyectos*. International Thomson Editores.
- Girmscheid, & Brockmann**, (2008). *The inherent Complexity of Large Scale Engineering Projects*. A chapter published in the annual publication of International Project Management Association, XXIX, pp. 22-26.
- Glaser, B. & Strauss, A.**, (1967). *The discovery of grounded theory*. Chicago: Aldine Press.
- Glaser, B.G.**, (1978). *Theoretical sensitivity*. Mill Valley, CA: Sociology Press.
- Glaser, B.G.**, (1992). *Basics of grounded theory analysis*. Mill Valley, CA: Sociology Press.
- Glaser, B.G.**, (2004), Remodeling Grounded theory. *Forum Qualitative Social Research*, 5(2), May.
- Gómez, E.**, (1999). El proyecto y su dirección y gestión, Universidad Politécnica de Valencia, pp 27-43.
- González, L. J. & Kalenatic, D. & Moreno, K. V.**, Metodología Integral y Dinámica aplicada a la programación de proyectos. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, núm. 62, enero-marzo, 2012, pp. 21-32.
- Grize, J.-B.**, (2012). Logique naturelle et representations sociales. En Denise Jodelet (Ed.), *Les représentations sociales* (pp. 170-186). Paris: Puf.
- Grubbs, F.E.**, (1962). *Letter to the Editor-Attempts to Validate Certain PERT Statistics or "Picking on PERT"*. *Oper. Res.* 10 (6), 912–915.
- Guba, E. G., & Lincoln, Y. S.**, (1989). *Fourth generation evaluation*. Newbury Park, CA: Sage.

- Hällgren, M., Söderholm, A.,** (2011). Projects-as-practice — new approach, new insights. In: Morris, P.W.G., Pinto, J.K., Söderlund, J. (Eds.), *The Oxford handbook of project management*. Oxford University Press, Oxford, pp. 500–518.
- Hammersley, M.,** (1989). *The dilemma of qualitative method*. London: Routledge
- Hart, C.,** (1998). *Doing a literature review: releasing the social science research imagination*. Sage Publications Inc., London.
- Hass K. B.,** (2009). Managing complex projects a new model. Management concepts.
- Helbrough, B.,** (1995). Computer assisted collaboration – the fourth dimension of project management?. *International Journal of Project Management*.
- Helbrough, B.,** (1995). Computer assisted collaboration-the fourth dimension of project management? *International Journal of Project Management*, 13, 329-333.
- Hernandez D. H.,** (2011). "150 años construyendo nación con ingenio propio" . En: Colombia Ingenieria e Investigacion *ISSN: 0120-5609 ed: Instituto de Estudios Políticos y Relaciones Internacionales de la Universidad Nacional de Colombia v.31 fasc. p.51 – 55.*
- Herroelen, W., Leus, R.,** (2004). Robust and reactive project scheduling: a review and classification of procedures. *Int. J. Prod. Res.* 42 (8), 1599–1620.
- Herroelen, W., Leus, R.,** (2005). Project scheduling under uncertainty: survey and research potentials. *Eur. J. Oper. Res.* 165 (2), 289–306.
- Herroelen, W., De Reyck, B., Demeulemeester, E.,** (1998). Resource-constrained project scheduling: a survey of recent developments. *Comput. Oper. Res.* 25 (4), 279–302.
- Herzog, V.L.,** (2001). International student paper award winner: Trust building on corporate collaborative project teams. *Project Management Journal*, 32(1), 28–35.
- Hindle, K.,** (2002). A grounded theory for teaching entrepreneurship using simulation games. *Simulations & Gaming*, 33(2), June, 236-241.
- Hirschman, E. C. & Thompson, C. J.,** (1997). Why media matter: Toward a richer understanding of consumers' relationships with advertising and mass media. *Journal of Advertising*, 26(1), 43-60.
- Hodgson, D., Cicmil, S.,** (2006). *Making projects critical*. Palgrave Macmillan, Houndmills, Basingstoke, Hampshire.
- Holland, J.,** (1995). *Hidden order: How adaptation builds complexity*. Perseus Books, Cambridge.
- Holland, J.,** (1998). *Emergence. From chaos to order*. Reading, MA: Addison-Wesley.
- Holland, R.,** (1999). Reflexivity, *Human Relations*, 52(4): 463-484.
- Horton, T y Peter, C.,** (2005). What fate for middle managers?, *Management Review*, enero.
- Howick, S., Eden, C.,** (2001). The impact of disruption and delay when compressing large projects: going for incentives? *J. Oper. Res. Soc.* 26-34.
- Huemann, M., Keegan, A., Turner, J.R.,** (2007). Human resource management in the project-oriented company: a review. *International Journal Project Management*. 25 (3), 315–323.
- Ika, L.A.,** (2009). Project success as a topic in project management journals. *Project Management Journal*. 40 (4), 6–19.
- ICCPM,** (2012). *Complex Project Manager Competency Standards*.Version 4.1. International Centre for Complex Project Management.
- Jacobsson, M., Söderholm, A.,** (2011). Breaking out of the straitjacket of project research: in search of contribution. *International Journal Management Project Business*. 4 (3), 378–388.

- Jensen, C., Johansson, S., Löfström, M.,** (2006). Project relationships—a model for analyzing interactional uncertainty. *International Journal Project Management*. 24 (1), 4–12.
- Joannides, V. & Berland, N.,** (2008). Grounded theory: quels usages dans les recherches en contrôle de gestion?/Grounded theory: what uses in management accounting research? *Comptabilité contrôle audit*. 22. Paris: Dec.
- Johnson-Laird, P. N.,** (1983). *Mental Models: Towards a Cognitive Science of Language, Inference, and Consciousness*. Cambridge: Harvard University Press.
- Johnson-Laird, P. N.,** (1987). Modelos mentales en ciencia cognitiva. En Donald Norman A. (Ed.), *Perspectivas de las ciencias cognitivas* (pp. 179-231). Barcelona: Paidós.
- Jones, D.; Manzelli, H. & Pecheny, M.,** (2004). Grounded theory. Una aplicación de la teoría fundamentada a la salud. En Kornblit, A.L. (Ed.). *Análisis de datos en metodologías cualitativas*. Buenos Aires: Biblos
- Jugdev, K., Thomas, J., Delisle, C.L.,** (2001). Rethinking project management: old truths and new insights. *Proj. Manag.* 7, 36–43.
- Jugdev, K., Müller, R.,** (2005). A retrospective look at our evolving understanding of project success. *Project Management Journal*. 36 (4), 19–31.
- Jurison,, J.,** (1999). Software project management: The manager's view. *Communications of the Association for Informations Systems*, 2(17), 1-57.
- Kähkönen, K.,** (2008). Level of complexity in projects and its compacts on managerial solutions. Editorial published in the anual publication of International Project Management Association, XXIX, p.3.
- Kendra, K., & Tapling, L.,** (2004). Project Success: A Cultural Framework. *Project Management Journal*, 35 (1): 30-45.
- Knight, F.,** (1921). *Risk, Uncertainty and Profit*, Houghton Mifflin, Boston. Disponible en sitio web econlib.org.
- Kloppenborg, T.J., Opfer, W.A.,** (2002). The current state of project management research: trends, interpretations, and predictions. *Project Management Journal*. 33 (2), 5–18.
- Kolisch, R.,** (1996). Serial and parallel resource-constrained project scheduling methods revisited: theory and computation. *Eur. J. Oper. Res.* 90 (2), 320–333.
- Kolisch, R., Padman, R.,** (2001). *An integrated survey of deterministic project scheduling*. *Omega* 29 (3), 249–272.
- Kolltveit, B.J., Karlsen, J.T., Grønhaug, K.,** (2007). Perspectives on project management. *Int. J. Proj. Manag.* 25, 3–9
- Komives, S.R., Mainelle, F.C., Longerbeam, S.D., Osteen, L. & Owen, J.,** (2006). A leadership identity development model: Applications from a Grounded theory. *Journal of College Student Development*, Jul/Aug, 47, 4.
- Koppenjan, J., Veeneman, W., van der Voort, H., ten Heuvelhof, E., Leijten, M.,** (2011). Competing management approaches in large engineering projects: the Dutch RandstadRail project. *Int. J. Proj. Manag.* 29, 740–750.
- Koskela, L., Howell, G.,** (2002). The underlying theory of project management is obsolete. *PMI Research Conference 2002*. PMI, pp. 293–302.
- Kreiner, K.,** (1995). In search of relevance: project management in drifting environments. *Scand. J. Manag.* 11, 335–346.
- Kreiner, K.,** (2012). Comments on challenging the rational project environment: the legacy and impact of Christensen and Kreiner's *Projektleddning i en ofulständig värld*. *Int. J. Manag. Proj. Bus.* 5, 714–717.

- Lacomba, E.**, (2000), los sistemas dinámicos, que son y para qué sirven, *misceláneas matemáticas* 32, 2000.
- Larson, E., & Gray, C.**, (2011). *Project management, the managerial process*. (5th ed.). McGraw-Hill. Pg.4.
- Le Moigne, J.L.**, (1990). *La modélisation des systems complexes*, 1990. Éd. Dunod. Réédité en 1995.
- Le Moigne, J. L.**, (1997). “La ‘Incoherencia epistemológica’ de las ciencias de la gestión”. En: Cuadernos de Economía. N° 26. Universidad Nacional. Pp. 163-185. Traducción de Ricardo Romero y Alberto Supelano.
- Lenfle, S.**, (2011). The strategy of parallel approaches in projects with unforeseeable uncertainty: the Manhattan case in retrospect. *International Journal Project Management*. 29 (4), 359–373.
- Lenfle, S., Loch, C.**, (2010). Lost roots: how project management came to emphasize control over flexibility and novelty. *Calif. Manag. Rev.* 53, 32–55.
- Leonard, D. & Mcadam, R.**, (2002). The strategic dynamics of total quality management. A grounded theory research study. *The Quality Management Journal*. 9(1).
- Leskovec J. and Horvitz, E.**, Planetary-scale views on a large instantmessaging network. In Proc. of the 17th international conference on the World Wide Web, WWW '08, pages 915{924. ACM, 2008.
- Leybourne, S.A.**, (2007). The changing bias of project management research: a consideration of the literatures and an application of extant theory. *Proj. Manag. J.* 38, 61–73.
- Leybourne, S.**, (2010). Project management and high-value superyacht projects: an improvisational and temporal perspective. *Proj. Manag. J.* 41, 17–27.
- Lichtenberg, S.**, (1983). Alternatives to conventional project management. *Int. J. Proj. Manag.* 1, 101–102.
- Lim, C.S., & Mohamed, M.Z.**, (1999). Criteria of project success: An explanatory re-examination. *International Journal of Project Management*, 21, 411-418.
- Littau, P., Jujagiri, N.J., Adlbrecht, G.**, (2010). 25 years of stakeholder theory in project management literature (1984–2009). *Project Management Journal*. 41 (4), 17–29.
- Louw, T., Rwelamila, P.D.**, (2012). Project management training curricula at South African public universities: is the balanced demand of the profession sufficiently accommodated? *Proj. Manag. J.* 43, 70–80.
- Lundin, R.A., Söderholm, A.**, (1995). A theory of the temporary organization. *Scand. J. Manag.* 11, 437–455.
- Lu, Y., Luo, L., Wang, H., Le, Y., Shi, Q.**, (2015). Measurement model of project complexity for large-scale projects from task and organization perspective. *International Journal Project Management*. 33 (3), 610–622.
- MacCrimmon, K.R., Ryavec, C.A.**, (1964). An analytical study of the PERT assumptions. *Oper. Res.* 12 (1), 16–37.
- Maijala H. et al.**, (2004). The use of grounded theory to study interaction. *Nurse Researcher*, 11(2), 41-55.
- Maldonado, C. E.**, (2009). “Complejidad de los sistemas sociales: un reto para las ciencias sociales”. *Cinta de Moebio* 36:146-157.
- Maldonado, C. E.**, (2007), *Complejidad: ciencia, pensamiento y aplicación*. Universidad Externado de Colombia. Nuenos Aires, Argentina.
- Maldonado, C.E., Gómez C. y Alfonso N.**, (2010). *Modelamiento y simulación de sistemas complejos*. Bogotá: Universidad del Rosario.
- Mandelbrot, B.**, (1987). *Los objetos fractales*. 2006, 6° edi. Tusquets, Barcelona. España.

- Martin, D.**, (2007). Management learning exercise and trainer's note for building grounded theory in tourism behavior. *Journal of Business Research*, 60(7), New York, July
- Maturana, H.R. y Varela, F.J.**, (1972). De máquinas y seres vivos. Santiago de Chile: Universitaria.
- Maylor, H., Vidgen, R., Carver, S.**, (2008). Managerial complexity in projectbased operations: a grounded model and its implications for practice. *Project Management Journal*. 39 (S1), S15–S26.
- Maylor, H.**, (2006). Special Issue on rethinking project management (EPSRC network 2004–2006). *Int. J. Proj. Manag.* 24, 635–637.
- Maylor, H., Brady, T., Cooke-Davies, T., Hodgson, D.**, (2006). From projectification to programmification. *Int. J. Proj. Manag.* 24, 663–674.
- McLeod, L., Doolin, B., MacDonell, S.G.**, (2012). A perspective-based understanding of project success. *Proj. Manag. J.* 43, 68–86.
- Meyer, R.E., Hammerschmid, G.**, (2006). Changing institutional logics and executive identities. *Am. Behav. Sci.* 49, 1000–1014.
- Meyer, J.W., Rowan, B.**, (1977). Institutionalized organizations: formal structure as myth and ceremony. *Am. J. Sociol.* 83, 340–363.
- Milgram, S.**, (1967). The small world problema, *Psychol. Today* 2, 60-67.
- Mill, S. J.**, (1967). The collected Works of John Stuart Mill, Volume IV – Essays on Economics and Society Part I, University of Toronto.
- Morin, E.**, (1977, 1980, 1986, 1991 y 2003). La méthode: I. La nature de la Nature. II. La vie de la vie. III. La connaissance de la connaissance. IV. Les idées, leur habitat, leur vie, leurs moeurs, leur organization. V. L'humanité de l'humanité. París: Du Seuil. 5 vols. (El método. I. La naturaleza de la naturaleza II. La vida de la vida. III el conocimiento del conocimiento. IV. Las ideas, su habitat, su vida, sus costumbres, su organización. La humanidad. Madrid: Cátedra, 1988 a 1993, 5 vols).
- Morin, E. y Brigitte K.A.**, (1993), Tierra-Patria. 1999, 2° ed. Nueva Visión, Nuenos Aires.
- Morin, E.**, (2000). Los Siete Saberes Necesarios De La Educación Del Futuro. UNESCO. Ediciones Faces/UCV. CIPOST. Caracas.
- Morín, E.**, (2003). Introducción al pensamiento complejo. Barcelona, Gedisa.
- Morin, E.**, (2005). Introducción al pensamiento complejo (Introduction a la pensée complexe), editorial Gedisa, Barcelona.
- Morgan, G.**, (1997). Images of organization. SAGE publications, Thousand Oaks. Morris, P., 1994. The management of projects. Thomas Telford, London.
- Morris, P.W.**, (2010). Research and the future of project management. *International Journal Management Project Business*. 3 (1), 139–146.
- Morris, P.W.G., Pinto, J.R. & Söderlund, J.**, (2012). *The Oxford Handbook of Project Management*.
- Morris, P.**, (2013). Reconstructing project management. Wiley Blackwell, Chichester, West Sussex, UK.
- Morris, P.W.G., Crawford, L., Hodgson, D., Shepherd, M.M., Thomas, J.**, (2006). Exploring the role of formal bodies of knowledge in defining a profession — the case of project management. *Int. J. Proj. Manag.* 24, 710–721.
- Morris, P.W.G., Pinto, J.K., Söderlund, J.**, (2011). Introduction: towards the third wave of project management. In: Morris, P.W.G., Pinto, J.K., Söderlund, J. (Eds.), *The Oxford handbook of project management*. Oxford University Press, Oxford, pp. 1–11.
- Moscovici, S.**, (1979). *El psicoanálisis, su imagen y su público*. Buenos Aires: Huemul.
- Mueller, R., Gerdali, J. G. and Turner, J. R.**, (2007) 'Linking Project Complexity and Leadership Competences of Project Managers', in IRNOP Conference 2007, Brighton.

- Müller, R., Jugdev, K.,** (2012). Critical success factors in projects: Pinto, Slevin, and Prescott—the elucidation of project success. *International Journal Management Project Business*. 5 (4), 757–775.
- Müller, R., Pemsel, S., Shao, J.,** (2014). Organizational enablers for governance and governmentality of projects: a literature review. *International Journal of Project Management*.
- Newmann, J. V.,** (1968). *The General and Logical Theory of Automata*. Aldine, Chicago.
- Newman, M.E.J.,** (2010). *Networks. An Introduction*. University of Michigan and Santa Fe Institute.
- Newman, M.E.J.,** (2006). Finding community structure in networks using the eigenvectors of matrices. *Phys. Rev. E* 74, 036104.
- Neumann, J. V.,** (1980). *El ordenador y el cerebro*. Universidad complutense de Madrid.
- Nicolescu, B.,** (2006). Transdisciplinariedad pasado, presente y futuro. Primer parte. En: *Revista Visión docente con-ciencia* (31): 15-31.
- Nicolis, G. y Prigogine, I.,** (1987). *La estructura de los complejos: en el camino hacia una nueva comprensión de las ciencias*.
- Osorio, G. S.N.,** (2012). El pensamiento complejo y la transdisciplinariedad: fenómenos emergentes de una nueva racionalidad. *Revista de la Facultad de Ciencias Económicas de la Universidad Militar Nueva Granada*. rev.fac.cienc.econ, XX (1).
- Padalkar, M., Gopinath, S.,** (2015). Delays in projects: a game-theoretic study. In: Warkentin, M. (Ed.), *Trends and Research in the Decision Sciences: Best Papers from the 2014 Annual Conference*. Pearson Education, Upper Saddle River, NJ, pp. 191–212.
- Padalkar, M. Gopinath, S.,** (2016). Are complexity and uncertainty distinct concepts in project management? A taxonomical examination from literatura. *International Journal Project Management*.
- Packendorff, J.,** (1995). Inquiring into the temporary organization: new directions for project management research. *Scand. J. Manag.* 11, 319–333.
- Patton, M.Q.,** (2002). *Qualitative research & evaluation methods*, 3 ed. Sage Publications Inc., Thousand Oaks.
- Parker, D., & Stacey, R.,** (1996). *Chaos, Management and Economics* (IEA Hobart). *Ciborra Organization Studies*; 17: pp. 150-153.
- Pauleen, D. J., Corbitt, B. & Yoong, P.,** (2007). Discovering and articulating what is not yet known Using action learning and grounded theory as a knowledge management strategy. *The Learning Organization*, 14(3), 222- 240.
- Peirce, C. S.,** (1903). *The essential Pierce: Selected philosophical writings*, vol. 2. Bloomington: Indiana University Press.
- Perminova, O., Gustafsson, M., Wikström, K.,** (2008). Defining uncertainty in projects—a new perspective. *International Journal Project Management* 26 (1), 73–79.
- Peter, A., Maguire, S. and McKelvey B.,** (2011). *The SAGE Handbook of Complexity and Management*. SAGE.
- Phillips, B.J.,** (1997). Thinking into it: consumer interpretation of complex advertising images, *The Journal of Advertising*, 16(2), 77-87.
- Piaget, J.,** (1978). *La equilibración de las estructuras cognitivas. Problema central del desarrollo*. 1° ed. Siglo XXI, México.
- Pich, M.T., Loch, C.H., Meyer, A.D.,** (2002). On uncertainty, ambiguity, and complexity in project management. *Management Science*. 48 (8), 1008–1023.
- Pillai, A. S., Joshi, A., & Rao, K. S.,** (2002). Performance measurement of R&D projects in a multi-project, concurrent engineering environment. *International Journal of Project Management*, 20(2), 165-177.

- PMI**, (2013). *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide)*. 5th edition. Project Management Institute, Newtown Square, Pennsylvania.
- Prabhakar, G. P.**, (2008). What is Project Success: A Literature Review. *International Journal of Business and Management*, 3(9), 3-9.
- Prigogine I.**, (1986). *La nouvelle Alliance*. Paris: Gallimard. 1ª ed. 1979. (La nueva alianza. Metamorfosis de la ciencia. Madrid: Alianza, 1990).
- Prigogine I. y Stengers I.**, (1984). *Order out of Chaos: Man's New Dialogue with Nature*. New York: Bantam.
- Prigogine I. y Stengers I.**, (1987). *La nueva alianza. Metamorfosis de la ciencia*, Madrid: Alianza.
- Qureshi S.M., & Kang C.W.**, (2014). Analysing the organizational factors of project complexity using structural equation modelling. *International Journal of Project Management*.
- Radzicki, M.J., y Taylor R.A.**, 2008. Origin of system dynamics: Jay W. Forrester and the history of system dynamics. US Department of Energy's introduction to system dynamics
- Ramasesh, R.V., Browning, T.R.**, (2014). A conceptual framework for tackling knowable unknown unknowns in project management. *J. Oper. Manag.* 32 (4), 190–204.
- Remington, K. and Pollack, J.**, (2007) *Tools for Complex Projects*, Hampshire: Gower Publishing Ltd.
- Remington, K., Zolin, R. and Turner, R.**, (2009) A model of project complexity: distinguish dimensions of complexity from severity, translated by Berlin.
- Remington K., Pollack J.**, (2010). *Tools for Complex Project*.
- Ribera, J. L.**, (2000). *Project Management*. MBA Course IESE, Universidad de Navarra (Spring 2000). <http://web.iese.edu/ribera/>. Leído el 01/11/2014.
- Rodrigues, A y Boers, J.**, (1996). "The role of system dynamics in Project management", *International Journal of Project Management* Vol. 14, No. 4, pp. 213-220.
- Rodrigues, A., Williams, T.M.**, (1998). System dynamics in projectmanagement: assessing the impacts of client behaviour on project performance. *J. Oper. Res. Soc.* 2-15
- Rodríguez, G.L. & Aguirre, J.L.**, (2011). Teoría de la complejidad y Ciencias Sociales. Nuevas estrategias Epistemológicas y Metodológicas. *Nómadas*, revista crítica de ciencias sociales y jurídicas.
- Rodríguez Zoya, L. y Rodríguez Zoya, P.**, (2013). Modelo de espacios controversiales y estudios de la complejidad en América Latina: Metodología de análisis, propuesta de formalización y aplicación al campo de la complejidad Documentos de Jóvenes Investigadores N°37, Recuperado de <http://webiigg.sociales.uba.ar/iigg/textos/documentos/dji37.pdf>.
- Roggero, P. y Sibertin-Blanc, C.**, (2008). "Quand des sociologues rencontrent des informaticiens: essai de formalisation des systemes d'action concrets". *Nouvelles Perspectives en Sciences Sociales* 3 (2): 41-81.
- Roggero, P.**, (2006). *De la complexité en sociologie: évolutions théoriques, développements méthodologiques et épreuves empiriques d'un project sociologique*. Mémoire d'habilitation á diriger des recherches en sociologie, Université de Toulouse 1, Toulouse.
- Rorty, R.**, (1979). *Philosophy and the mirror of nature*. Princeton University Press.
- Rozenes, S., Vitner, G., Spraggett, S.**, (2006). *Project control: literature review*. Project Management Institute.
- Ruiz-Martin C., Poza J. D.**, (2015). Project configuration by means of network theory. *International Journal of Project Management*, 33 (2015) 1755-1767.

- Sadeh, I.A.**, (1965). Fuzzy sets. University of California, Berkeley, California.
- Sahlin-Andersson, K., A.Söderholm, A.**, (2002). Beyond project management – new perspectives on the temporary-permanent dilemma. Copenhage Business School Press, Copenhagen.
- Sampieri, H. R.**, et. al. (2010). Metodología de la investigación. 6th Edición. McGrawHill.
- Sapag, C.N., y Sapag, C.R.**, (1989). Preparación y evaluación de proyectos. 2da. Edición. Bogotá: Editorial Mc Graw Hill Latinoamericana, S.A. pp.1-36.
- Sayama H.**, (2015). *Introduction to the Modeling and Analysis of Complex Systems*.
- Saynisch, M.**, (2010a). Beyond frontiers of traditional project management: an approach to evolutionary, self-organizational principles and the complexity theory—results of the research program. *Proj. Manag. J.* 41, 21–37.
- Saynisch, M.**, (2010b). Mastering complexity and changes in projects, economy, and society via Project Management Second Order (PM-2). *Proj. Manag. J.* 41, 4–20.
- Senge, P.**, (1990). *The Fifth Discipline: The art and Practice of the Learning Organisation*, Century, London.
- Scott, W.R., Davis, G.F.**, (2007). *Organizations and organizing: rational, natural, and open system perspectives*. Pearson Prentice Hall, Upper Sadle River.
- Sense, A.J.**, (2009). The social learning character of projects and project teams. *Int. J. Knowl. Manag. Stud.* 3, 195–208.
- Sewchurran, K.**, (2008). Toward an approach to create self-organizing and reflexive information systems project practitioners. *Int. J. Manag. Proj. Bus.* 1, 316–333.
- Shannon, R. E.**, (1988). *Simulación de sistemas: diseño, desarrollo e implementación*. Trillas, México.
- Schonberger, R.J.**, (1981). Why projects are “always” late: a rationale based on manual simulation of a PERT/CPM network. *Interfaces* 11 (5), 66–70.
- Screiber, R.S. & Stern, P.N. (Eds.)**, (2001). *Using grounded theory in nursing*. Springer Publishing Company.
- Shenhar, A. J., & Dvir, D.**, (2007). Project management research, The challenge and opportunity. *Project Management Journal*, 38 (2): pp. 93-99.
- Shenhar, A., Dvir, D.**, (2007). *Reinventing project management: the diamond approach to successful growth and innovation*. Harvard Business Press, Boston.
- Shenhar, A.J.**, (2001). One size does not fit all projects: exploring classical contingency domains. *Management. Science.* 47 (3), 394–414.
- Shenhar, A.J., Dvir, D.**, (1996). *Toward a typological theory of project management*. *Res. Policy* 25 (4), 607–632.
- Shenhar, A. J., & Dvir, D.**, (2007). *Reinventing Project Management*. Harvard Business School Press.
- Sheffield, J., Sankaran, S., Haslett, T.**, (2012). Systems thinking: taming complexity in project management. *Horizon* 20, 126–136.
- Simon, H. A.**, (1989). *Naturaleza y límites de la razón humana*. Fondo de Cultura Económica. México.
- Singh, H., & Singh, A.**, (2002). Principles of Complexity and Chaos Theory in Project Execution: A New Approach to Management. *Cost Engineering*, 44(12), pp. 23-33.
- Small, J., D.Walker, D.**, (2010). The emergent realities of project praxis in socially complex project environments. *Int. J. Manag. Proj. Bus.* 3, 147–156.
- Smith, C.**, (2011). Understanding project manager identities: a framework for research. *Int. J. Manag. Proj. Bus.* 4, 680–696.

- Smyth, H.J., Morris, P.W.**, (2007). An epistemological evaluation of research into projects and their management: methodological issues. *International Journal Project Management*. 25 (4), 423–436.
- S.Ohara, S., T.Asada, T.**, (2009). Japanese project management: KPM— innovation, development and improvement. Monden Institute of Management, Japanese management and international studies, v. 3. World Scientific, New Jersey, p. 477.
- Söderlund, J.**, (2004). Building theories of project management: past research, questions for the future. *International Journal Project Management*. 22 (3), 183–191.
- Söderlund, J.**, (2011). Pluralism in project management: navigating the crossroads of specialization and fragmentation. *Int. J. Manag. Rev.* 13, 153–176.
- Sommer, S.C., Loch, C.H.**, (2004). Selectionism and learning in projects with complexity and unforeseeable uncertainty. *Management Science*. 50 (10), 1334–1347.
- Sterman, J.D.**, (2002). System Dynamics: Systems thinking and modeling for a complex world. MIT Sloan School of Management. Cambridge MA 02421.
- Stoner J.**, (2005). Administración, Editorial PHH, Prentice Hall, En español, México.
- Strauss, A., and Corbin, J.**, (1998). Basics of qualitative research: Techniques and procedures for developing grounded theory (2nd ed.). Thousand Oaks, CA: Sage.
- Strube, L.**, (1992). Patient focused care: The path to empowered self-management. A grounded theory approach. Dissertation. Columbia University. February.
- Suddaby, R.**, (2006). From the editors: What grounded theory is not. *The Academy of Management Journal*, 49(4), 633-642.
- Sulkowski, L.**, (2010). Two paradigms in Management Epistemology. *Journal of Intercultural Management* Vol. 2, Nro. 1.
- Sutton, R.L.**, (1987). The process of organizational death. Disbanding and reconnecting. *Administrative Science Quarterly*, 32, 542-569.
- Svejvig P., & Andersen P.**, (2014). Rethinking project management: A structured literature review with a critical look at the brave new world. *International Journal of Project Management*.
- Svejvig, P.**, (2012). Rethinking project management in Denmark. In: Pries-Heje, J. (Ed.), *Project Management Multiplicity: Current Trends*. Samfundslitteratur, Frederiksberg C, pp. 39–58.
- Tang, K. J.**, (2011). Temporal network metrics and their application to real world networks. Robinson College University of Cambridge.
- Tatikonda, M.V., Rosenthal, S.R.**, (2000). Technology novelty, project complexity, and product development project execution success: a deeper look at task uncertainty in product innovation. *IEEE Trans. Eng. Manag.* 47 (1), 74–87.
- Taylor, S., y Bogdan, R.**, (1986). Introducción a los métodos cualitativos de investigación. Buenos Aires: Paidós.
- Taylor, S., y Bogdan, R.**, (1992). Introducción a los métodos cualitativos de investigación. Barcelona: Paidós.
- Tesch, D., Kloppenborg, T.J., Stemmer, J.K.**, (2003). Project management learning: what the literature has to say. *Project Management Journal*. 34 (4), 33–39.
- a** (2008). Modélisation et simulation a base d'agents, Dunod, Paris.
- Turner, J.R., Müller, R.**, (2003). On the nature of the project as a temporary organization. *International Journal Project Management*. 21 (1), 1–8.
- Turner, J.R., Müller, R.**, (2005). The project manager's leadership style as a success factor on projects: a literature review. *Project Management Journal*. 36 (1), 49–61.
- Thom, R.**, (1972). *Stabilité structurelle morphogenèse*. Reading. Mass: Benjamin.

- Thom, R.**, (1976). "Structural Stability, Catastrophe Theory, and Applied Mathematics: The John von Neumann Lecture, 1976". *SIAM Review* 19 (2): 189-201.
- Thomas, J., Mengel, T.**, (2008). Preparing project managers to deal with complexity — advanced project management education. *Int. J. Proj. Manag.* 26, 304–315.
- Tranfield, D., Denyer, D., Smart, P.**, (2003). Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review. *Br. J. Manag.* 14, 207–222.
- Turner, R., Huemann, M., Anbari, F., Bredillet, C.**, (2010). *Perspectives on projects*. Routledge, London and New York.
- Van de Ven, A.H., Hargrave, T.J.**, (2004). Social, technical, and institutional change. In: Poole, M.S., Van de Ven, A.H. (Eds.), *Handbook of Organizational Change and Innovation*. Oxford University Press, New York, pp. 259–303.
- Van de Vonder, S., Demeulemeester, E., Herroelen, W., Leus, R.**, (2005). The use of buffers in project management: the trade-off between stability and makespan. *Int. J. Prod. Econ.* 97 (2), 227–240.
- Vidal, L.A., Marle, F.**, (2008). *Understanding project complexity: implications on project management*. *Kybernetes* 37 (8), 1094–1110.
- Vom Brocke, J., Simons, A., Niehaves, B., Riemer, K., Plattfaut, R., Cleven, A.**, (2009). Reconstructing the giant: on the importance of rigour in documenting the literature search process. *ECIS 2009 Proceedings*. Paper 161, pp. 1–13.
- Von Neumann, J.**, (2004). *Theory of self-reproducing automata*. En: Illinois University, 1996-Theory games and economic behavior. Princeton University Press.
- Wasserman, S. and Faust, K.**, (1994). *Social Network Analysis*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Ward, S., Chapman, C.**, (2003). Transforming project risk management into project uncertainty management. *International Journal Project Management*. 21 (2), 97–105.
- Ward, J., Daniel, E.**, (2012). *Benefits management: how to increase the business value of your IT projects*. Wiley, West Sussex, United Kingdom.
- Watts, D.J., and Strogatz, S.H.**, (1998). Collective dynamics of "small-world" networks, *Nature* 393, 440-442.
- Weaver, W.**, (1949). *The Mathematical Theory of Communication*, University of Illinois.
- Webster, J., R.T.Watson, R.T.**, (2002). Analyzing the past to prepare for the future: writing a literature review *MIS Q.* 26, 13–23.
- Welge, M.K., Swedberg, R.**, (1990). *Economics and Sociology: Redefining their Boundaries: Conversations with Economists and Sociologists*. Princeton: Princeton University Press.
- Wells, K.**, (1995). The strategy of Grounded theory: Possibilities and problems. *Social Work Research* 19(1), 33-37.
- Whitty, S.J., Maylor, H.**, (2009). And then came complex project management (revised). *International Journal Project Management*. 27 (3), 304–310.
- Wi, H., y Jung, M.**, (2010). Modeling and analysis of project performance factors in an extended project oriented virtual organization (*EProVO*). *Expert Systems with Applications*, 37(2), 1143-1151.
- Wiener, N.**, (1985). *Cibernética. O el control y la comunicación en animals y máquinas*. 1° ed. Tusquets, Barcelona. España.
- Williams, T., Eden, C., Ackerman, F., Tait, A.**, (1995). Vicious circles of parallelism. *Interantional Journal of Project Management*. 13 (3), 151–155.
- Williams, T., Samset, K.**, (2010). Issues in front-end decision making on projects. *Project Management Journal*. 41 (2), 38–49.

- Williams, T.M.**, (1992). Criticality in stochastic networks. *J. Oper. Res. Soc.* 353-357.
- Williams, T.M.**, (1999). The need for new paradigms for complex projects. *International Journal Project Management* 17 (5), 269–273.
- Williams, T.M.**, (1999-2002). The need for new paradigms for complex projects. *International Journal of Project Management*, 17, No. 5, pp. 269-273.
- Williams, T.**, (2002) *Modelling Complex Projects*, West Sussex: John Wiley & Sons.
- Willins, R.**, (2004). What's happenig to America's middle manager?, *Management Review*, enero, 2004.
- Winter, M., Szczepanek, T.**, (2009). *Images of projects*. Gower, Farnham.
- Winter, M., C.Smith, C., T.Cooke-Davies, T., S.Cicmil, S.**, (2006b). The importance of 'process' in rethinking project management: the story of a UK government-funded research network *Int. J. Proj. Manag.* 24, 650–662.
- Winter, M., Smith, C., Morris, P., Cicmil, S.**, (2006c). Directions for future research in project management: the main findings of a UK government- funded research network. *Int. J. Proj. Manag.* 24, 638–649.
- van Dijk, T. A.**, (1999). *Ideología. Una aproximación multidisciplinaria*. Sevilla: Gedisa.
- van Marrewijk, A., Clegg, S. R., Pitsis, T. S. and Veenswijk, M.**, (2008) 'Managing public–private megaprojects: Paradoxes, complexity, and project design', *International Journal of Project Management*, 26(6), 591-600.
- Xia, W., Lee, G.**, (2004). *Grasping the complexity of IS development projects*. *Commun. ACM* 47 (5), 68–74.
- Xia, W., Lee, G.**, (2005). Complexity of information systems development projects: conceptualization and measurement development. *Journal Management Information Systems* 22 (1), 45–83.