



UNIVERSIDAD  
**NACIONAL**  
DE COLOMBIA

# **Definición de buenas prácticas de desarrollo de sistemas de información geográfica utilizando el núcleo de *Semat***

Claudia Elena Durango Vanegas

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Minas, Departamento de Ciencias de la Computación y la Decisión  
Medellín, Colombia  
2019

# **Definición de buenas prácticas de desarrollo de sistemas de información geográfica utilizando el núcleo de *Semat***

Claudia Elena Durango Vanegas

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:  
Doctora en Ingeniería–Sistemas e Informática

Director:

Ph.D. Carlos Mario Zapata Jaramillo

Línea de Investigación:

Ingeniería de Software

Grupo de Investigación:

Lenguajes Computacionales

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Minas, Departamento de Ciencias de la Computación y la Decisión

Medellín, Colombia

2019

# Dedicatoria

*A Walter por su amor, paciencia, compañía y comprensión en los días que abrazaba el árbol y no obtenía respuesta.*

*A mi familia y a Dios.*

## Agradecimientos

Mi mayor agradecimiento al Profesor Carlos Mario Zapata Jaramillo por su paciencia, enseñanzas, acompañamiento y aportes personales y profesionales en estos años, espero sean muchos más ¡Muchas gracias por todo!

A mis grandes amigas, Paola Andrea Noreña Cardona y Diana María Torres Ricaurte. Juntas somos un gran equipo, diferentes áreas de conocimientos que crecen en lo personal, laboral y académico. También, a Marta Cecilia Roldán Henao por ese apoyo en los momentos de alegría y estrés ¡Gracias por ser mis amigas!

A mi amiga y compañera en competencias organizacionales Carla María Zapata Rueda. Juntas evidenciamos los grandes logros que se obtienen entre psicólogos e ingenieros ¡Gracias por tu apoyo y enseñanza!

A mis compañeros y amigos del doctorado, Wilder Perdomo Charry, Grissa Maturana González, Jesús Insuasti Portilla, Juan Ricardo Cogollo Oyola y María Clara Gómez Álvarez por sus contribuciones, apoyo y amistad. También, a mis amigos Juan Camilo Giraldo Mejía y Mauricio José Amariles Camacho ¡Tengo un grupo de amigos intelectuales maravillosos!

A los estudiantes de la Universidad de San Buenaventura que me acompañaron en diferentes actividades de investigación y validación: Sergio Andrés Castrillón Idárraga, Juan Pablo Rios Patiño, Santiago Andrés Vanegas Mejía, César Augusto Hernández Rodríguez, Santiago González Gil, Óscar Eduardo Vergara Flórez y Jeisson Tobón Bohórquez.

Finalmente, le agradezco a la Universidad de San Buenaventura, a la Facultad de Ingeniería y a mis compañeros. Además, quiero resaltar el especial acompañamiento de Diego Alejandro Soto Herrera como el mejor compañero de búsqueda de información científica. También, le agradezco a la Universidad Nacional por el apoyo económico durante el proceso académico.

## Resumen

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son sistemas de información que se utilizan para modelar, analizar y geovisualizar geodatos, buscando mejorar la comprensión en diversas áreas del conocimiento como la gestión del medio ambiente, del territorio, de riesgos y de mercados. Las buenas prácticas son métodos que contienen actividades repetitivas y observables identificadas como una base sólida de factores de éxito con resultados eficaces y eficientes en los procesos productivos de diversos contextos. *Semat (Software Engineering Method and Theory)* es una iniciativa que ayuda a identificar buenas prácticas y los elementos esenciales, comunes y universales a todos los esfuerzos de ingeniería de software. Algunos métodos que se emplean en el desarrollo de sistemas de información geográfica son: Método de Desarrollo del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (MDS-IGAC), Desarrollo e Implementación de un Sistema de Información Geográfica del Campus Físico de la Universidad del Quindío (DISIG-CF), el Método de desarrollo SIG Y-Model Web (*Y-Model Web GIS Development Methodology, YWDM*) y los métodos propuestos por las organizaciones *Environmental Systems Research Institute (ESRI)*, *Urban and Regional Information Systems Association (URISA)* y *State Archives and Records Administration (SARA)*. Existen otros métodos que dependen del área de conocimiento de los geousuarios y de los proyectos SIG. Estos métodos SIG tienen buenas prácticas enfocadas en el *Project Management Body of Knowledge (PMBOK®)* y en los métodos de desarrollo de software tradicionales como *Rational Unified Process (RUP®)*. En consecuencia, se presentan dificultades en la utilización de estos métodos porque están incompletos, tienen problemas con las competencias de los geousuarios y la complejidad de los geodatos. Por lo anterior, en esta Tesis de Doctorado se propone la definición de una representación basada en el núcleo de la Esencia de *Semat* de los métodos de desarrollo de SIG, identificando buenas prácticas para mejorar el ciclo de desarrollo de los proyectos SIG. La representación permitirá identificar un terreno común de las cosas que se deben atender en los proyectos SIG para mejorar la planeación, evaluar el progreso y conformar un lenguaje común entre los geousuarios.

**Palabras clave:** sistemas de información geográfica, SIG, *Semat*, buenas prácticas, método de desarrollo, proyectos SIG.

## Abstract

Geographic information systems (GIS) are information systems that using for modeling, analyzing, and geovisualizing geodata. GISs are intended to improve the understanding of several knowledge areas such as environment management, territory management, risk management, and marketing management. Best practices are methods that contain repetitive and observable activities identified from a solid base of success factors with effective and efficient results in the productive processes of several contexts. Semat (Software Engineering Method and Theory) is an initiative for helping to identify best practices and essential, common, and universal elements to all software engineering endeavors. Some methods used in geographic information systems development are: Development Methodology of the *Instituto Geográfico Agustín Codazzi* (MDS-IGAC), Development and Implementation of a Geographic Information System of the Physical Campus of the *Universidad del Quindío* (DISIG-CF), Y-Model Web GIS Development Methodology (YWDM), and the methods proposed by organizations Environmental Systems Research Institute (ESRI), Urban and Regional Information Systems Association (URISA), and State Archives and Records Administration (SARA). Other GIS methods depend on the knowledge area of the geouser and the GIS project type. Such GIS methods have best practices focused on the Project Management Body of Knowledge (PMBOK®) and well-known software development methods such as Rational Unified Process (RUP®). Consequently, some difficulties arise when using GIS methods because GIS methods are incomplete, and they exhibit problems with geouser competencies, and complexity of geodata. Therefore, in this PhD Thesis, we define a representation based on the Semat Essence kernel about GIS development methods by identifying best practices to improve the development cycle of GIS projects. This representation will allow for identifying a common ground of the things should be attended in GIS projects in order to improve the planning, evaluate the progress, and form a common language among geousers.

**Keywords:** geographic information system, GIS, Semat, best practice, software development method, GIS project.

## Tabla de contenido

1.	Introducción .....	1
2.	Marco Teórico.....	5
2.1	Sistemas de Información Geográfica .....	5
2.2	Buenas prácticas .....	6
2.2.1	<i>Project Management Body of Knowledge (PMBOK®)</i> .....	6
2.2.2	<i>Rational Unified Process (RUP®)</i> .....	8
2.3	<i>Semat (Software Engineering Method and Theory)</i> .....	9
2.4	Esquemas preconceptuales.....	16
2.4.1	Geodato .....	18
2.4.2	Geousuario .....	19
2.4.3	Método SIG.....	21
3.	Planteamiento del problema .....	23
3.1	Problema de investigación.....	23
3.2	Hipótesis.....	24
3.3	Objetivos.....	24
3.3.1	Objetivo general.....	24
3.3.2	Objetivos específicos .....	24
3.4	Metodología de investigación .....	25
3.4.1	Fase de exploración.....	25
3.4.2	Fase de comparación .....	26
3.4.3	Fase de propuesta .....	28
3.4.4	Fase de validación .....	28
4.	Revisión de literatura .....	29
4.1	Factores críticos de fracaso de los proyectos SIG.....	31
4.2	Educción de requisitos para soluciones geoinformáticas.....	32
4.3	Hacia un método para ingeniería de requisitos en SIG .....	35
4.4	Un marco metodológico para el desarrollo de sistemas de información geográfica .....	37
4.5	Método DISIG-CF .....	38
4.6	Método MDS-IGAC .....	43
4.7	Método propuesto por la organización ESRI .....	47
4.8	Método propuesto por la organización URISA.....	54
4.9	Método propuesto por la organización SARA .....	60
4.10	Hacia un nuevo método para el desarrollo de Web GIS .....	67
5.	Solución Propuesta.....	75
5.1	Análisis de Geousuarios basado en Competencias.....	77
5.1.1	Roles de un equipo de desarrollo de proyectos SIG.....	77
5.1.2	Competencias de un equipo de desarrollo de proyectos SIG .....	79
5.1.3	Niveles de competencia de un equipo de desarrollo de proyectos SIG .....	89
5.1.4	Elementos de la práctica análisis de geousuarios basado en competencias.....	91
5.2	Educción Geoespacial de Requisitos.....	96
5.2.1	Elementos de la práctica educación geoespacial de requisitos .....	97
5.3	Análisis Geoespacial de Información .....	101
5.3.1	Elementos de la práctica análisis geoespacial de información .....	102
6.	Validación de las buenas prácticas.....	107
6.1	Casos de estudio comparativo.....	107
6.1.1	Método DISIG-CF .....	107

6.1.2	Método MDS-IGAC .....	111
6.1.3	Método propuesto por la organización ESRI .....	114
6.1.4	Método propuesto por la organización URISA .....	117
6.1.5	Método propuesto por la organización SARA .....	121
6.1.6	Método YWDM.....	124
6.2	Validación con estudiantes .....	127
6.2.1	Web GIS para generar mapas de ruido de densidad de tráfico en tiempo-real .....	128
6.2.2	Web GIS para administrar los bienes inmuebles que se consideran patrimonio cultural e histórico en Medellín . .....	129
6.2.3	Web GIS para identificar los centros hospitalarios con atención primaria .....	130
6.2.4	Web GIS de servicios académicos a egresados.....	131
6.2.5	Web GIS para búsqueda inteligente de carreras universitarias .....	133
6.3	Validación con expertos.....	136
7.	Conclusiones y trabajo futuro .....	140
7.1	Conclusiones .....	140
7.2	Trabajo futuro .....	142
8.	Referencias.....	143



## Lista de Tablas

Tabla 2-1. Principales elementos del núcleo de la Esencia de <i>Semat</i> (1/2).....	12
Tabla 2-2. Descripción de las competencias del núcleo de la Esencia de <i>Semat</i> (1/2) .....	13
Tabla 2-3. Descripción de los niveles de competencia según el núcleo de la Esencia de <i>Semat</i> .....	15
Tabla 2-4. Descripción de los principales símbolos de los Esquemas Preconceptuales .....	17
Tabla 2-5. Descripción de los elementos principales de un geodato .....	19
Tabla 4-1. Listado de palabras clave .....	30
Tabla 4-2. Listado de fuentes de información .....	30
Tabla 4-3. Listado de investigaciones relevantes .....	31
Tabla 4-4. Dificultades en ingeniería de requisitos para proyectos SIG .....	36
Tabla 4-5. Caracterización de los elementos de la ingeniería de requisitos para aplicaciones SIG .....	36
Tabla 4-6. Resumen de métodos de desarrollo comparados en Ananda <i>et al.</i> (2016) .....	67
Tabla 4-7. Resumen de métodos de representados en el núcleo de la Esencia de <i>Semat</i> .....	74
Tabla 6-1. Resumen de trabajos de grado y tesis de maestría .....	136
Tabla 6-2. Resumen de proyectos de investigación.....	137
Tabla 6-3. Resumen de ponencias .....	137
Tabla 6-4. Resumen de publicaciones de revistas científicas .....	138
Tabla 6-5. Resumen de publicaciones de capítulos de libro .....	138
Tabla 6-6. Resumen de registro de software .....	139

## Lista de Figuras

Figura 2-1. Áreas de conocimiento de la dirección de proyectos de PMBOK® Versión 6 representadas en el núcleo de la Esencia de <i>Semat</i> .....	8
Figura 2-2. Buenas prácticas RUP® representadas en el núcleo de la Esencia de <i>Semat</i> .....	9
Figura 2-3. Áreas de interés del núcleo de la Esencia de <i>Semat</i> .....	10
Figura 2-4. Elementos del núcleo de la Esencia de <i>Semat</i> “cosas con las que siempre se trabaja” .....	11
Figura 2-5. Elementos del núcleo de la Esencia de <i>Semat</i> “cosas que siempre se hacen” .....	11
Figura 2-6. Competencias en el núcleo de la Esencia de <i>Semat</i> .....	14
Figura 2-7. Niveles de competencias en el núcleo de la Esencia de <i>Semat</i> .....	15
Figura 2-8. Tarjetas de los niveles de competencia estándar del núcleo de la Esencia de <i>Semat</i> .....	16
Figura 2-9. Representación del conocimiento basada en esquemas preconceptuales del ciclo de desarrollo de los proyectos SIG .....	18
Figura 2-10. Modelo de competencias en tecnología geoespacial .....	20
Figura 2-11. Modelo del Iceberg .....	21
Figura 3-1. Fases de la metodológica aplicada en la Tesis de Doctorado .....	26
Figura 3-2. Fase exploración representada en el núcleo de la Esencia de <i>Semat</i> .....	27
Figura 3-3. Fase comparación representada en el núcleo de la Esencia de <i>Semat</i> .....	27
Figura 3-4. Fase propuesta representada en el núcleo de la Esencia de <i>Semat</i> .....	28
Figura 3-5. Fase validación representada en el núcleo de la Esencia de <i>Semat</i> .....	28
Figura 4-1. Componentes de un sistema geoinformación.....	33
Figura 4-2. Actividades de la fase educación de requisitos propuestas por Robbi <i>et al.</i> (2014) representadas en el núcleo de la Esencia de <i>Semat</i> .....	34
Figura 4-3. Fases de un proyecto SIG para el proceso de ingeniería de requisitos.....	35
Figura 4-4. Elementos del marco metodológico.....	37
Figura 4-5. Integración de las técnicas de desarrollo de sistemas utilizadas en el marco metodológico SIG.....	38
Figura 4-6. Método DISIG-CF .....	39
Figura 4-7. Roles del equipo de desarrollo del método DISIG-CF .....	39
Figura 4-8. Fases del método DISIG-CF.....	40
Figura 4-9. Fase: Planeación del método DISIG-CF.....	40
Figura 4-10. Fase: Análisis del método DISIG-CF .....	41
Figura 4-11. Fase: Desarrollo y soporte del método DISIG-CF .....	41
Figura 4-12. Fase: Diseño del método DISIG-CF .....	42
Figura 4-13. Buenas prácticas del método DISIG-CF .....	42
Figura 4-14. Fases del método MDS-IGAC .....	43
Figura 4-15. Fase: Análisis del método MDS-IGAC .....	44

Figura 4-16. Fase: Diseño del método MDS-IGAC .....	44
Figura 4-17. Fase: Construcción del método MDS-IGAC .....	45
Figura 4-18. Fase: Lanzamiento del método MDS-IGAC .....	45
Figura 4-19. Fase: Soporte del método MDS-IGAC .....	46
Figura 4-20. Roles del equipo de desarrollo del método MDS-IGAC .....	47
Figura 4-21. Buenas prácticas del método MDS-IGAC .....	47
Figura 4-22. Fases del método propuesto por la organización ESRI .....	48
Figura 4-23. Fase: Análisis del método propuesto por la organización ESRI .....	49
Figura 4-24. Fase: Planeación del método propuesto por la organización ESRI (1/2) .....	50
Figura 4-25. Fase: Planeación del método propuesto por la organización ESRI (2/2) .....	51
Figura 4-26. Fase: Diseño del método propuesto por la organización ESRI .....	52
Figura 4-27. Roles del equipo de desarrollo del método propuesto por la organización ESRI .....	53
Figura 4-28. Buenas prácticas del método propuesto por la organización ESRI .....	54
Figura 4-29. Fases del método propuesto por la organización URISA .....	55
Figura 4-30. Fase: Planeación del método propuesto por la organización URISA .....	56
Figura 4-31. Fase: Análisis del método propuesto por la organización URISA .....	57
Figura 4-32. Fase: Diseño del método propuesto por la organización URISA .....	57
Figura 4-33. Fase: Adquisición y desarrollo del método propuesto por la organización URISA .....	58
Figura 4-34. Fase: Mantenimiento y operación del método propuesto por la organización URISA .....	58
Figura 4-35. Buenas prácticas del método propuesto por la organización URISA .....	59
Figura 4-36. Roles del equipo de desarrollo del método propuesto por la organización URISA .....	60
Figura 4-37. Fases del método propuesto por la organización SARA .....	61
Figura 4-38. Proceso de desarrollo SIG del método propuesto por la organización SARA .....	61
Figura 4-39. Fase: Análisis del método propuesto por la organización SARA .....	62
Figura 4-40. Fase: Diseño del método propuesto por la organización SARA .....	62
Figura 4-41. Fase: Construcción del método propuesto por la organización SARA .....	63
Figura 4-42. Fase: Integración del método propuesto por la organización SARA .....	64
Figura 4-43. Fase: Desarrollo del método propuesto por la organización SARA .....	64
Figura 4-44. Fase: Mantenimiento y uso del método propuesto por la organización SARA .....	65
Figura 4-45. Buenas prácticas del método propuesto por la organización SARA .....	66
Figura 4-46. Roles del equipo de desarrollo del método propuesto por la organización SARA .....	66
Figura 4-47. Fases del método YWDM .....	68
Figura 4-48. Fases del método YWDM .....	69
Figura 4-49. Fase: Definición del problema del método YWDM .....	69
Figura 4-50. Fase: Análisis del método YWDM .....	70
Figura 4-51. Fase: Diseño conceptual y de navegación del método YWDM .....	70
Figura 4-52. Fase: Desarrollo línea del SIG del método YWDM .....	71
Figura 4-53. Fase: Integración y mantenimiento del método YWDM .....	72
Figura 4-54. Buenas prácticas del método YWDM .....	73
Figura 4-55. Roles del equipo de desarrollo del método YWDM .....	73
Figura 5-1. Buenas prácticas de los métodos de desarrollo de proyectos SIG .....	76

Figura 5-2. Buenas prácticas propuestas en el desarrollo de proyectos SIG.....	77
Figura 5-3. Principales roles de un equipo de desarrollo de proyectos SIG.....	78
Figura 5-4. Competencias de un equipo de desarrollo de proyectos SIG.....	80
Figura 5-5. Tarjeta de la competencia: Comunicación.....	81
Figura 5-6. Tarjeta de nivel de competencia: Comunicación.....	81
Figura 5-7. Tarjeta de la competencia: Orientación al servicio.....	82
Figura 5-8. Tarjeta de nivel de competencia: Orientación al servicio.....	82
Figura 5-9. Tarjeta de la competencia: Pensamiento espacial.....	83
Figura 5-10. Tarjeta de nivel de competencia: Pensamiento espacial.....	83
Figura 5-11. Tarjeta de la competencia: Pensamiento sistémico.....	84
Figura 5-12. Tarjeta de nivel de competencia: Pensamiento sistémico.....	84
Figura 5-13. Tarjeta de la competencia: Gestión de conocimiento.....	85
Figura 5-14. Tarjeta de nivel de competencia: Gestión de conocimiento.....	85
Figura 5-15. Tarjeta de la competencia: Orientación al logro.....	86
Figura 5-16. Tarjeta de nivel de competencia: Orientación al logro.....	86
Figura 5-17. Tarjeta de la competencia: Gestión de cambio.....	87
Figura 5-18. Tarjeta de nivel de competencia: Gestión de cambio.....	87
Figura 5-19. Tarjeta de la competencia: Trabajo colaborativo.....	88
Figura 5-20. Tarjeta de nivel de competencia: Trabajo colaborativo.....	88
Figura 5-21. Competencias y niveles de competencia del rol: Director SIG.....	89
Figura 5-22. Competencias y niveles de competencia del rol: Especialista SIG.....	89
Figura 5-23. Competencias y niveles de competencia del rol: Desarrollador SIG.....	90
Figura 5-24. Competencias y niveles de competencia del rol: Analista de geodatos.....	90
Figura 5-25. Práctica: Análisis de geousuarios basado en competencias.....	91
Figura 5-26. Tarjeta de definición de actividad: Definir el perfil ajustado.....	92
Figura 5-27. Tarjeta de definición de actividad: Realizar reclutamiento selectivo.....	92
Figura 5-28. Tarjeta de definición de actividad: Clasificar los candidatos.....	93
Figura 5-29. Tarjeta de definición de actividad: Realizar proceso de selección.....	93
Figura 5-30. Tarjeta de definición de actividad: Definir el plan de desarrollo de competencias.....	94
Figura 5-31. Tarjeta de definición de producto de trabajo: Listado de roles requeridos.....	94
Figura 5-32. Tarjeta de definición de producto de trabajo: Listado de candidatos.....	95
Figura 5-33. Tarjeta de definición de producto de trabajo: Informe de resultados del proceso de selección.....	95
Figura 5-34. Tarjeta de definición de producto de trabajo: Plan de desarrollo de competencias.....	96
Figura 5-35. Práctica: Educación Geoespacial de Requisitos.....	97
Figura 5-36. Tarjeta de definición de actividad: Identificar los requisitos estructurales de los geodatos.....	98
Figura 5-37. Tarjeta de definición de actividad: Realizar la estructura de almacenamiento de los geodatos.....	98
Figura 5-38. Tarjeta de definición de actividad: Realizar la estructura de representación de los geodatos.....	99
Figura 5-39. Tarjeta de definición de producto de trabajo: Catálogo de objetos geográficos.....	99
Figura 5-40. Tarjeta de definición de producto de trabajo: Modelo de geolmacenamiento.....	100
Figura 5-41. Tarjeta de definición de producto de trabajo: Catálogo de representación de objetos geográficos.....	100
Figura 5-42. Práctica: Análisis Geoespacial de Información.....	102

Figura 5-43. Tarjeta de definición de actividad: Definir el modelo de análisis espaciales .....	103
Figura 5-44. Tarjeta de definición de actividad: Definir el modelo de análisis de redes espaciales .....	103
Figura 5-45. Tarjeta de definición de actividad: Definir el modelo de análisis de superficies .....	104
Figura 5-46. Tarjeta de definición de actividad: Definir el modelo de procesos estadísticos espaciales y geoestadísticos .....	104
Figura 5-47. Tarjeta de definición de producto de trabajo: Modelo de análisis espaciales .....	105
Figura 5-48. Tarjeta de definición de producto de trabajo: Modelo de análisis de redes espaciales .....	105
Figura 5-49. Tarjeta de definición de producto de trabajo: Modelo de análisis de superficies .....	106
Figura 5-50. Tarjeta de definición de producto de trabajo: Modelo de procesos estadísticos espaciales y geoestadísticos .....	106
Figura 6-1. Propuesta fase: Análisis del método DISIG-CF .....	108
Figura 6-2. Propuesta fase: Diseño del método DISIG-CF .....	109
Figura 6-3. Propuesta: Fases del método DISIG-CF .....	110
Figura 6-4. Propuesta: Buenas prácticas del método DISIG-CF .....	110
Figura 6-5. Propuesta fase: Análisis del método MDS-IGAC .....	112
Figura 6-6. Propuesta fase: Diseño del método MDS-IGAC .....	112
Figura 6-7. Propuesta: Fases del método MDS-IGAC .....	113
Figura 6-8. Propuesta: Buenas prácticas del método MDS-IGAC .....	113
Figura 6-9. Propuesta fase: Análisis del método propuesto por la organización ESRI .....	114
Figura 6-10. Propuesta fase: Planeación del método propuesto por la organización ESRI .....	115
Figura 6-11. Propuesta fase: Diseño del método propuesto por la organización ESRI .....	116
Figura 6-12. Propuesta: Fases del método propuesto por la organización ESRI .....	116
Figura 6-13. Propuesta: Buenas prácticas del método propuesto por la organización ESRI .....	117
Figura 6-14. Propuesta fase: Planeación del método propuesto por la organización URISA .....	118
Figura 6-15. Propuesta: Fases del método propuesto por la organización URISA .....	118
Figura 6-16. Propuesta fase: Diseño del método propuesto por la organización URISA .....	119
Figura 6-17. Propuesta fase: Adquisición y desarrollo del método propuesto por la organización URISA .....	120
Figura 6-18. Propuesta: Buenas prácticas del método propuesto por la organización URISA .....	120
Figura 6-19. Propuesta fase: Análisis del método propuesto por la organización SARA .....	122
Figura 6-20. Propuesta fase: Diseño del método propuesto por la organización SARA .....	122
Figura 6-21. Propuesta fase: Construcción del método propuesto por la organización SARA .....	123
Figura 6-22. Propuesta: Fases del método propuesto por la organización SARA .....	123
Figura 6-23. Propuesta: Buenas prácticas del método propuesto por la organización SARA .....	124
Figura 6-24. Propuesta fase: Definición del problema del método YWDM .....	125
Figura 6-25. Propuesta fase: Diseño del método YWDM .....	126
Figura 6-26. Propuesta: Fases del método YWDM .....	126
Figura 6-27. Propuesta: Buenas prácticas del método YWDM .....	127
Figura 6-28. Buenas prácticas: Web GIS mapas de ruido de densidad de tráfico en tiempo-real .....	128
Figura 6-29. Buenas prácticas: Web GIS Patrimonio cultural e histórico .....	129
Figura 6-30. Fases del método SEMMA .....	130
Figura 6-31. Buenas prácticas del método SEMMA .....	131

Figura 6-32. Buenas prácticas: Web GIS Atención hospitalaria.....	131
Figura 6-33. Fases del método KIMBALL .....	132
Figura 6-34. Buenas prácticas del método KIMBALL.....	133
Figura 6-35. Buenas prácticas: Web GIS servicios académicos a egresados .....	133
Figura 6-36. Fases del método KDD.....	134
Figura 6-37. Buenas prácticas del método KDD .....	135
Figura 6-38. Buenas prácticas: Web GIS para búsqueda inteligente de carreras universitarias.....	135

# 1. Introducción

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son sistemas de información que soportan la toma de decisiones en diversas áreas del conocimiento como la gestión del medio ambiente, del territorio, de riesgos y del mercado, entre otros. Los sistemas de información geográfica tienen características similares a los sistemas de información tradicional, pero difieren en los datos que se almacenan en ellos, por contener información de localización o georreferenciada, llamada geodato. Los geodatos permiten representar la realidad mediante modelos geoinformáticos, con sistemas de coordenadas, atributos espaciales y no espaciales y operaciones espaciales (Liu *et al.*, 2017). Además, los SIG incluyen actividades de planeación, adquisición, almacenamiento, análisis, mantenimiento, actualización y geovisualización del geodato para representar diferentes fenómenos geográficos (Miller, 2017).

Las buenas prácticas son métodos aceptados que contienen actividades repetitivas, ordenadas y sistematizadas para producir resultados superiores a los logrados por otros medios y se consideran un estándar de realizar las cosas. Además, se reconocen como una base sólida de elementos reutilizables considerados factores de éxito que incrementan la producción, la calidad, el rendimiento y la seguridad, reduciendo tiempo y costos. Por lo anterior, las buenas prácticas se consideran resultados eficaces y eficientes en diversos procesos productivos, mejorando la estandarización y la consistencia (Smith y Williams, 2003; Wilson *et al.*, 2014). Otros autores definen las buenas prácticas como propiedades intelectuales de las empresas que permiten alcanzar altos niveles de rendimiento en sus procesos (Zarour *et al.*, 2015). En el campo de las ciencias computacionales, las buenas prácticas de software se usan comúnmente en equipos desarrolladores de software, buscando estandarizar el ciclo de desarrollo del software. Por ejemplo, el método de desarrollo de software de *Rational Unified Process* (RUP®) contiene seis buenas prácticas del proceso de desarrollo de software (Ahmed y Capretz, 2008).

*Semat* (Teoría y Método de la Ingeniería de Software) es una iniciativa que permite representar prácticas comunes de métodos existentes, identificando un núcleo de principios y buenas

---

prácticas de la ingeniería de software para guiar los proyectos de principio a fin, que se adaptan a las circunstancias especiales de cada proyecto. En *Semat* se generaliza la ingeniería de software identificando acciones y elementos comunes y universales y permitiendo describir métodos en un lenguaje sencillo y universal. Además, se pretende evaluar, comparar y medir las prácticas comunes de los métodos existentes. *Semat* permite describir el progreso y la salud de los esfuerzos de ingeniería de software en términos de estados, alfas, actividades y espacios de actividad, entre otros, donde el adecuado manejo y el éxito se relacionan con el conocimiento del estado de cada alfa (Jacobson *et al.*, 2013a, 2013b, 2014).

Los proyectos SIG requieren métodos de desarrollo específicos diferentes a los métodos de desarrollo de sistemas de información tradicionales, debido a los elementos diferenciadores entre estos sistemas de información, tales como: la planificación del geodato y los roles de los geousuarios en el equipo de trabajo. En la literatura se identifican diversos métodos de desarrollo de proyectos SIG que, aparentemente, incluyen buenas prácticas y se asocian con entidades públicas o privadas y diversas áreas del conocimiento. Algunos de estos métodos son: Metodología de Desarrollo del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (MDS-IGAC; IGAC, 2018), Desarrollo e Implementación de un Sistema de Información Geográfica del Campus Físico de la Universidad del Quindío (DISIG-CF; Quiceno *et al.*, 2011; Vila-Ortega *et al.*, 2011, Vila *et al.*, 2011), el Método de desarrollo SIG Y-Model Web (*Y-Model Web GIS Development Methodology, YWDM*) y los métodos propuestos por las organizaciones *Environmental Systems Research Institute* (ESRI; Macdonald, 2001; Tomlinson, 2007; Zeiler, 1999), *Urban and Regional Information Systems Association* (URISA; Somers, 1998, 2001, 2009) y *State Archives and Records Administration* (SARA; Becker *et al.*, 1995b, 1995a, 1995c), de igual manera, existen otros métodos que dependen del área de conocimiento de los geousuarios y de los proyectos SIG.

Estos métodos contienen fases, actividades y productos de trabajo consideradas buenas prácticas enfocadas en la gestión de proyectos como *Project Management Body of Knowledge* (PMBOK®; Santiago-Martínez y Morales-Trujillo, 2016; Simonette *et al.*, 2016, 2017) y en los métodos de desarrollo de software tradicional como *Rational Unified Process* (RUP®; Ahmed y Capretz, 2008; González *et al.*, 2013). En los métodos de desarrollo de proyectos SIG se observan las siguientes dificultades:



- 
- Los métodos SIG son incompletos, por no incluir prácticas propias (Medina, 2007a, 2007b; Durango y Zapata, 2015).
  - Los geousuarios presentan problemas por desconocimiento de las competencias y porque falta considerar las competencias según el rol de la práctica en el método SIG (Escobar *et al.*, 2008; DiBiase *et al.*, 2010; Bednarz y Lee, 2011; URISA, 2014; Durango y Zapata, 2015).
  - Los geodatos son complejos debido a la poca atención a requisitos de los geodatos, las dificultades en la adquisición del geodato, las dificultades en la documentación sobre el proceso de análisis en el modelo geoinformático y la poca importancia a la geovisualización de los geodatos (Medina, 2007a, 2007b; Al-waraqi y Zahary, 2012; Zarour *et al.*, 2015; Robbi *et al.*, 2017).

Por lo anterior, en esta Tesis de Doctorado se propone la identificación de las buenas prácticas de los métodos SIG para mejorar el ciclo de desarrollo de los proyectos SIG utilizando el núcleo de la Esencia de *Semat*. Para lograrlo, se caracterizan los métodos de desarrollo de SIG más distintivos y se representan en el núcleo de la Esencia de *Semat*, identificando los elementos de las buenas prácticas en el proceso de desarrollo de proyectos SIG. Posteriormente, se identifican las debilidades en el proceso y se proponen nuevas prácticas para mejorar el proceso de desarrollo de los proyectos SIG. Finalmente, se validan las nuevas prácticas definidas mediante casos de estudio comparativos. Estas buenas prácticas identificadas se podrían combinar, comparar, adaptar y contrastar en los métodos de desarrollo de proyectos SIG existentes, buscando mejorar la planeación y el ciclo de desarrollo. Además, la representación de las buenas prácticas en el núcleo de la Esencia de *Semat* permitirá la identificación de un terreno común de las cosas que deben atender los geousuarios en el ciclo de desarrollo de los proyectos SIG, ayudando a conformar un lenguaje común entre los geousuarios, mejorando la planeación y evaluando el progreso en relación con las características especiales de los proyectos SIG relacionadas con la educación y análisis de los geodatos y las competencias de los geousuarios involucrados en el proceso.

Esta Tesis de Doctorado se estructura de la siguiente manera: en el Capítulo 2 se presenta el marco teórico sobre los sistemas de información geográfica, las buenas prácticas y el núcleo de la Esencia *Semat*; en el Capítulo 3 se presenta el planteamiento del problema; en el Capítulo 4 se presentan diferentes métodos de desarrollo de proyectos SIG representados en el núcleo de la Esencia de *Semat*; en el Capítulo 5 se proponen las buenas prácticas de desarrollo de sistemas

de información geográfica utilizando el núcleo de la Esencia de *Semat*, en el Capítulo 6 se presenta la validación de las buenas prácticas propuestas utilizando casos de estudio comparativos, validación con estudiantes y con expertos. Finalmente, en el Capítulo 7 se discuten las conclusiones y el trabajo futuro.

## 2. Marco Teórico

En este Capítulo se describen los conceptos fundamentales del trabajo investigativo, tales como los sistemas de información geográfica, las buenas prácticas y los elementos de representación del núcleo de la Esencia de *Semat*. Además, se realiza una descripción de los elementos geográficos requeridos en el ciclo de desarrollo de proyectos SIG.

### 2.1 Sistemas de Información Geográfica

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son sistemas de información especiales conformados por un conjunto de herramientas que se utilizan para representar geográficamente elementos ubicados sobre la Tierra. Los SIG son sistemas de información con hardware y software especializado en adquirir, almacenar, analizar, mantener y geovisualizar grandes cantidades de geodatos (datos espaciales y temáticos). También, son gestionados por geousuarios con competencias especiales para manipular el hardware, software y generar la documentación necesaria para facilitar el uso y mantenimiento. Los SIG se consideran sistemas especiales porque se usan para realizar seguimiento sobre cómo, cuándo, por qué y dónde pasan eventos y actividades, ayudando a resolver problemas geográficos. Así, son considerados una combinación de diferentes ciencias, tales como sensores remotos, fotogrametría, matemáticas, geografía, cartografía, estadística, ciencias computacionales y geodesia, entre otras (Janipella *et al.*, 2017). Para lograrlo, los SIG se apoyan en los siguientes componentes:

- El geodato permite representar la forma de la Tierra, contiene información espacial y no espacial asociada con la georreferencia (sistemas de coordenadas). Las principales formas de almacenamiento de un geodato son capas temáticas o bases de datos espaciales.
- El geousuario es la persona que aplica los métodos SIG para la toma de decisiones, utilizando procesos de ubicación, consultas espaciales y análisis espaciales, entre otros.

- 
- El método SIG es un conjunto de prácticas ordenadas y sistemáticas para desarrollar un SIG.

Por lo anterior, los SIG se utilizan para apoyar y soportar toma de decisiones en problemas geográficos para la gestión del medio ambiente, del territorio, de riesgos y de mercados (Liu *et al.*, 2017; Miller, 2017).

## 2.2 Buenas prácticas

Las buenas prácticas son acciones de mejora y de estandarización de procesos con aceptación en diversos contextos de la industria y la comunidad académica. También, se consideran bases sólidas fundamentadas en actividades repetitivas y observables de mejoramiento sobre factores exitosos de los procesos de producción, según la experiencia y el conocimiento de las personas. Además, son fáciles de adoptar, permiten reducir costos y tiempo de implementación y mejorar la calidad del producto final a desarrollar (Smith y Williams, 2003; Wilson *et al.*, 2014). En el campo de las ciencias computacionales, se presentan diferentes propuestas de buenas prácticas para mejorar el desarrollo de los proyectos. Sin embargo, en el desarrollo de proyectos SIG se emplean usualmente las propuestas de buenas prácticas de la guía *Project Management Body of Knowledge* (PMBOK®) y la metodología *Rational Unified Process* (RUP®).

### 2.2.1 *Project Management Body of Knowledge* (PMBOK®)

PMBOK® es una guía de referencia fundamentada en PMI® que incluye un vocabulario común y permite a los usuarios aplicar conceptos transversales en la dirección de proyectos. Además, PMBOK® se reconoce como un conjunto de buenas prácticas en la dirección de proyectos en diversos tipos de industrias y áreas de conocimiento, ayudando a directores de proyectos a incrementar la probabilidad de éxito. PMBOK® incluye conceptos clave, tendencias emergentes, consideraciones para el desarrollo de procesos de administración de proyectos e información sobre herramientas y técnicas aplicables al desarrollo de proyecto. PMBOK® cuenta con diez áreas de conocimiento (PMI, 2017):

- **Gestión de integración del proyecto:** procesos y actividades requeridos para identificar, definir, combinar, unificar y coordinar la dirección del proyecto según los grupos de procesos.

- **Gestión de alcance del proyecto:** procesos requeridos para garantizar el éxito del proyecto según el trabajo.
- **Gestión del cronograma del proyecto:** procesos requeridos para administrar el tiempo del proyecto.
- **Gestión de costos del proyecto:** procesos involucrados en la planificación y gestión de costos según el presupuesto del proyecto.
- **Gestión de calidad del proyecto:** procesos requeridos para incorporar políticas de calidad del proyecto y del producto según las necesidades de los interesados.
- **Gestión de recursos del proyecto:** procesos requeridos para gestionar los recursos necesarios para lograr la finalización del proyecto.
- **Gestión de comunicaciones del proyecto:** procesos requeridos para garantizar la comunicación oportuna y adecuada de la información del proyecto.
- **Gestión de riesgos del proyecto:** procesos requeridos para gestionar y rastrear los riesgos del proyecto.
- **Gestión de adquisiciones del proyecto:** procesos requeridos para adquirir productos, servicios o resultados necesarios por fuera del equipo del proyecto.
- **Gestión de interesados del proyecto:** procesos requeridos para identificar las personas, grupos u organizaciones involucradas en el proyecto, buscando lograr la participación eficaz de los interesados en las decisiones y en la ejecución del proyecto.

En la Figura 2-1 se presenta una propuesta de representación en el núcleo de la Esencia de *Semat* de las áreas de conocimiento de la dirección de proyectos de PMBOK® Versión 6.

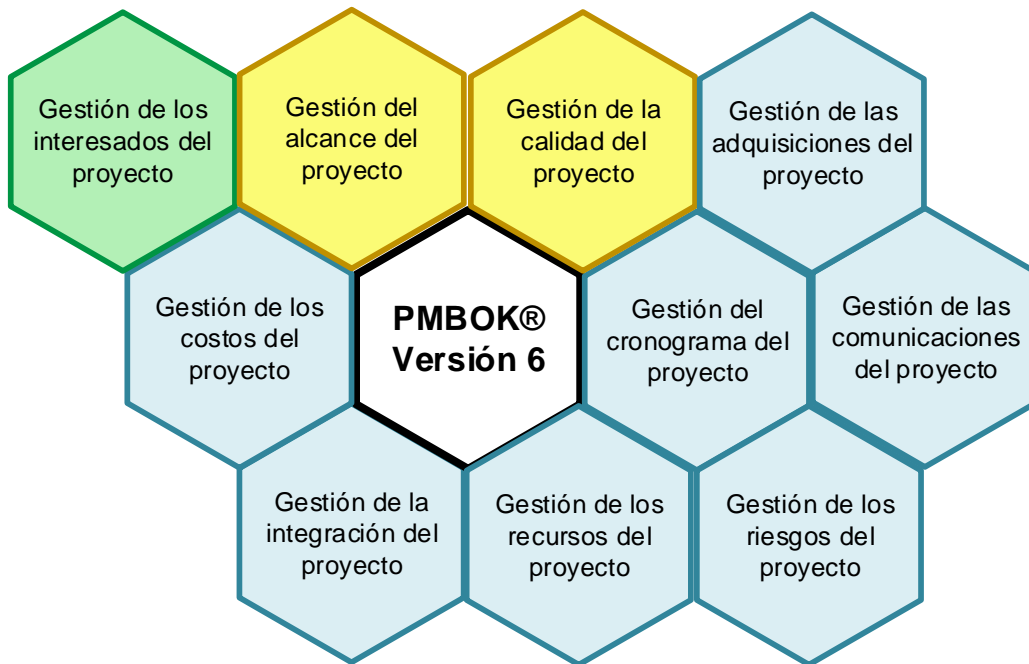


Figura 2-1. Áreas de conocimiento de la dirección de proyectos de PMBOK® Versión 6 representadas en el núcleo de la Esencia de *Semat*  
Elaboración propia basada en PMI (2017)

### 2.2.2 Rational Unified Process (RUP®)

Estas buenas prácticas incluyen un conjunto de acciones para mejorar el rendimiento de los esfuerzos en ingeniería de software, con base en revisiones de literatura, entrevistas, discusiones y análisis de los resultados obtenidos en procesos exitosos en el desarrollo de software (Ahmed y Capretz, 2008). Kruchten (2003) presenta seis buenas prácticas de *Rational Unified Process* (RUP®) del proceso de desarrollo de software:

- **Gestión de requisitos:** se describe el proceso de educación de requisitos mediante la documentación de las funcionalidades y restricciones para facilitar la captura y comunicación de los requisitos del negocio.
- **Arquitectura basada en componentes:** se enfatiza en el diseño modular o división en pequeños componentes según la funcionalidad y reusabilidad del software.
- **Modelado visual del software:** se facilita la construcción del modelo gráfico o visual del software y se ayuda a ilustrar la estructura y el comportamiento de la arquitectura y de los componentes del software.

- **Verificación de calidad del software:** se involucra la verificación y validación de los requisitos funcionales y no funcionales del sistema de software a desarrollar.
- **Control de cambios en el software:** se hace seguimiento a los cambios durante el desarrollo del sistema de software. Esta práctica se apoya en el desarrollo del software de forma iterativa, permitiendo redefinir los requisitos en cada iteración.
- **Desarrollo del software de forma iterativa:** se permite dividir el proyecto de desarrollo de software en varias iteraciones, que incluyen el diseño, construcción y pruebas en pequeñas partes del software. Además, se permite al cliente y al desarrollador rastrear el progreso del software a desarrollar.

González *et al.* (2013) representan las buenas prácticas RUP® en el núcleo de la Esencia de *Semat* (Véase la Figura 2-2).

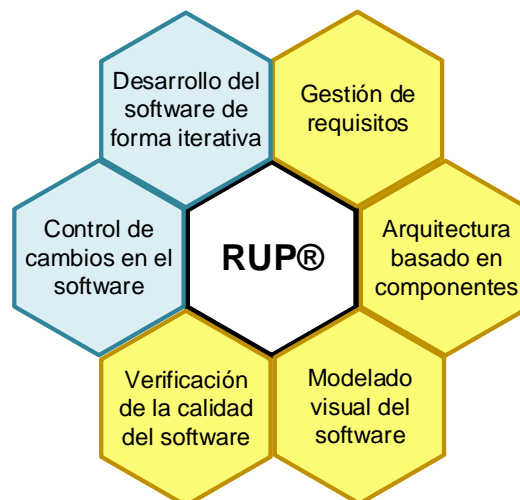


Figura 2-2. Buenas prácticas RUP® representadas en el núcleo de la Esencia de *Semat*  
Tomado de González *et al.* (2013)

### 2.3 *Semat* (Software Engineering Method and Theory)

El desarrollo de software es un proceso complejo y riesgoso debido a los constantes cambios para mejorar la innovación, la calidad y los crecientes requisitos de los usuarios. Por lo anterior, en 2009 Jacobson, Meyer y Soley fundan *Semat* mediante un llamado a la acción, debido a los problemas específicos de las áreas de ingeniería de software: carencia de una base teórica sólida y ampliamente utilizada, gran cantidad de métodos y variantes de métodos y separación de la práctica industrial y la investigación académica, entre otras. *Semat* es una teoría sólida, con principios probados y mejores prácticas que permite apoyar el proceso para redefinir la ingeniería

de software. Además, *Semat* tiene un lenguaje sencillo para representar métodos o prácticas en diversas áreas del conocimiento (Jacobson *et al.*, 2013a).

El núcleo de la Esencia de *Semat* se organiza en tres áreas de interés (véase la Figura 2-3), cada una enfocada en una dimensión específica del desarrollo de sistemas de software (Jacobson *et al.*, 2013b; OMG, 2015):

- **Cliente:** involucra a los clientes del sistema de software, permitiendo conocer su perspectiva para asegurar el desarrollo de una solución apropiada.
- **Solución:** involucra todo lo relacionado con las especificaciones y el desarrollo del sistema de software, buscando solucionar el problema.
- **Esfuerzo:** involucra todo aquello que se relaciona con el equipo de desarrollo y la manera en que hacen el trabajo.

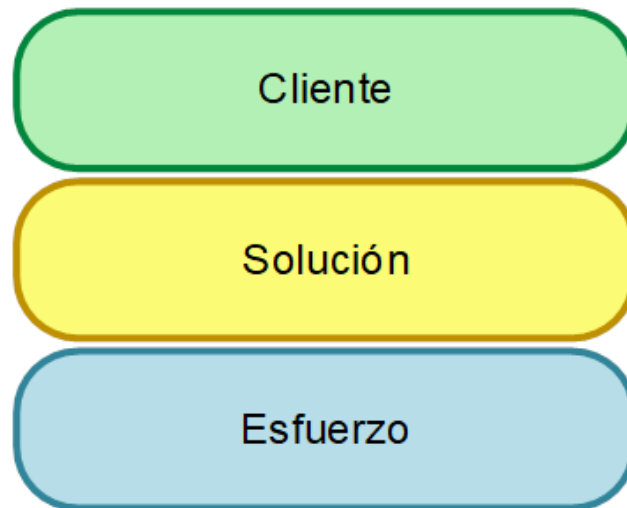


Figura 2-3. Áreas de interés del núcleo de la Esencia de *Semat*  
Tomado de Jacobson *et al.* (2013b) y OMG (2015)

*Semat* incluye un núcleo de elementos ampliamente aceptados que se pueden extender a usos específicos, incluye asuntos tecnológicos y humanos y permite apoyar la industria, la academia, los investigadores, los usuarios, la extensión de los requisitos cambiantes y la tecnología. Estos elementos representan “cosas con las que siempre se trabaja” (véase la Figura 2-4) y “cosas que siempre se hacen” en el ciclo de desarrollo de sistemas de software (véase la Figura 2-5; Jacobson *et al.*, 2013a).



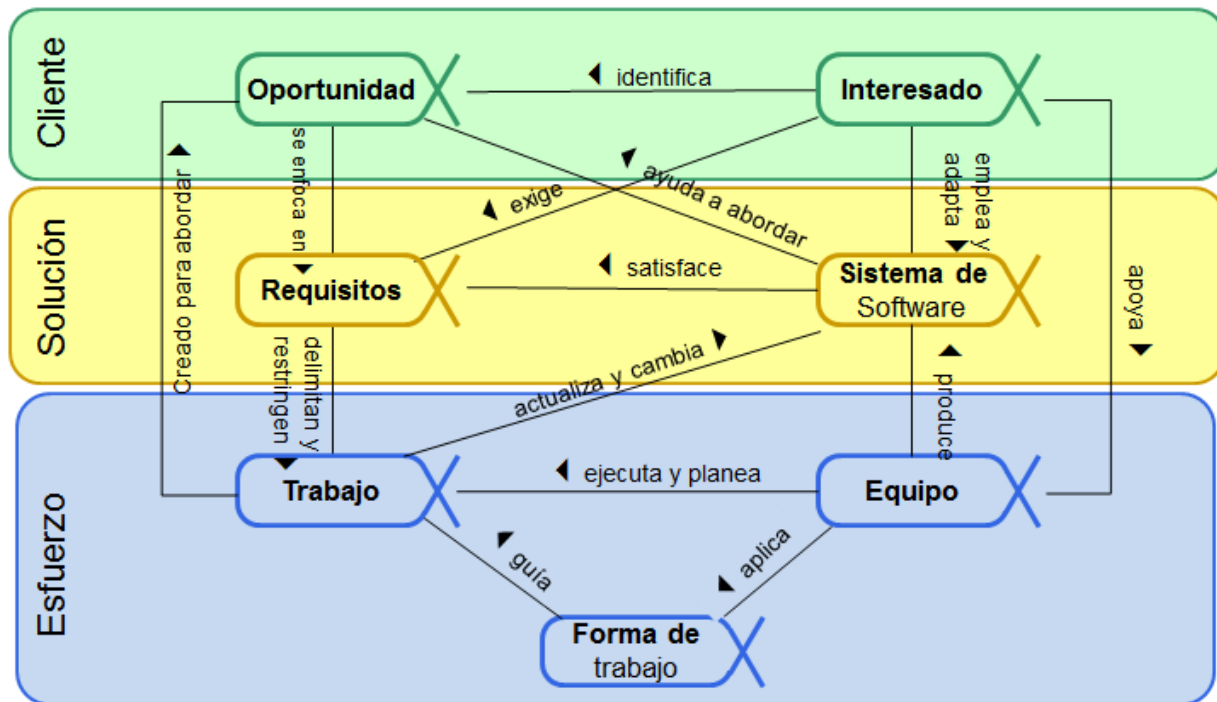


Figura 2-4. Elementos del núcleo de la Esencia de *Semat* “cosas con las que siempre se trabaja”  
Tomado de Jacobson et al. (2012, 2013a, 2013b, 2014)

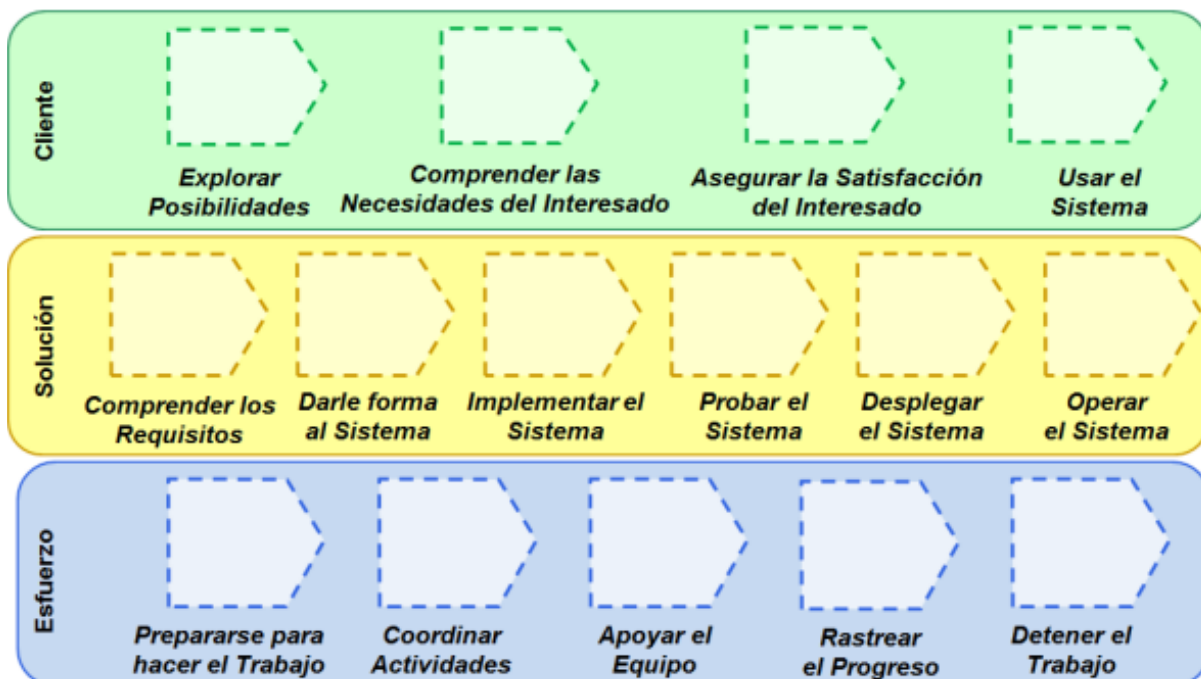

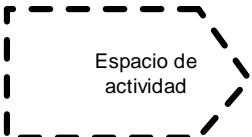
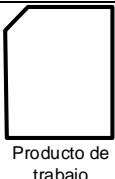
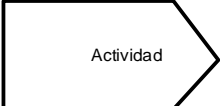
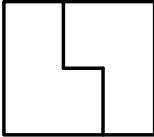
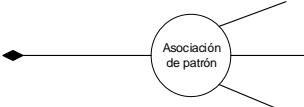

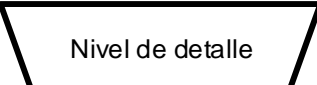
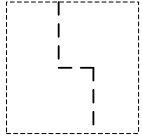


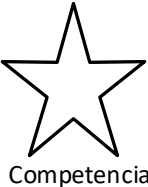
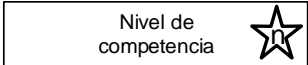
Figura 2-5. Elementos del núcleo de la Esencia de *Semat* “cosas que siempre se hacen”  
Tomado de Jacobson et al. (2012, 2013a, 2013b, 2014)

En la Tabla 2-1 se presentan los principales elementos del núcleo de la Esencia de *Semat* que posibilitan la representación de las prácticas:

**Tabla 2-1. Principales elementos del núcleo de la Esencia de *Semat* (1/2)**  
Adaptado de OMG (2015)

Nombre	Descripción	Símbolo
Alfas	Son elementos que representan las cosas que se necesita rastrear en cuanto al progreso y salud para guiar el esfuerzo a la finalización exitosa. Tienen estados y listas de verificación. En el núcleo de la Esencia de <i>Semat</i> se encuentran siete alfas (véase la Figura 2-4): oportunidad, interesados, requisitos, sistema de software, equipo, trabajo y forma de trabajo.	
Espacios de actividad	Son elementos que complementan los alfas. Además, representan las “cosas que siempre se hacen” (véase la Figura 2-5), proporcionando una visión de las actividades de ingeniería de software.	
Producto de trabajo	Es un artefacto de valor y relevancia para el esfuerzo de ingeniería de software. Un producto de trabajo puede ser un documento o una parte del software.	
Actividad	Se usa para definir uno o más tipos de elementos de trabajo y orientar la manera de realizarlos.	
Patrón	Es una descripción de una estructura en una práctica. Con el símbolo se pueden representar fases y roles.	
Asociación de patrón	Se utiliza para conectar el patrón con sus elementos asociados.	
Práctica	Es un enfoque repetible para lograr un objetivo específico.	
Nivel de detalle	Permite especificar la cantidad o rango de contenido de un producto de trabajo.	
Recurso	Es una fuente de información o contenido que se encuentra por fuera del modelo del núcleo de la Esencia de <i>Semat</i> y se referencia mediante una URL.	

**Tabla 2-1. Principales elementos del núcleo de la Esencia de Semat (2/2)**  
**Adaptado de OMG (2015)**

Nombre	Descripción	Símbolo
Competencias	Se definen como contenedores genéricos de habilidades específicas. <i>Semat</i> incluye seis competencias (véase la Figura 2-6): representación del interesado, análisis, desarrollo, pruebas, liderazgo y gestión.	
Nivel de competencia	Permite definir la capacidad de un miembro del equipo respecto de las habilidades, capacidades, logros y conocimientos que se definen en la competencia respectiva. En el núcleo de la Esencia de <i>Semat</i> se identifican cinco niveles de competencia (véase la Tabla 2-3 y la Figura 2-7).	

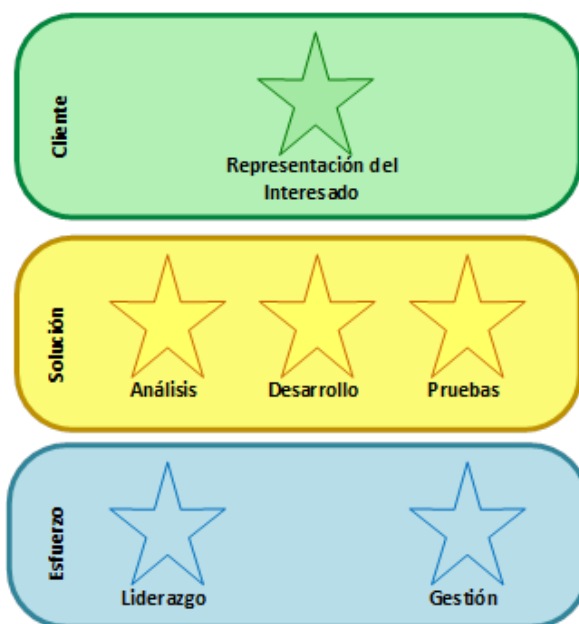
Jacobson *et al.* (2013b, 2014) establecen que un esfuerzo de ingeniería de software requiere competencias en diferentes áreas. Además, los autores consideran que se necesitan competencias relevantes para las tareas específicas en un esfuerzo de ingeniería de software, pero también se requieren competencias para comprender las necesidades de los clientes y del equipo de trabajo. Así, definen las competencias en el núcleo de la Esencia de *Semat* como contenedores de habilidades específicas. Además, identifican un problema común en el esfuerzo de ingeniería de software entre la brecha existente entre la competencia requerida y la competencia disponible (Jacobson *et al.*, 2013b, 2014). En la Tabla 2-2 se presenta una descripción de las competencias del núcleo de la Esencia de *Semat* (véase la Figura 2-6; OMG, 2015).

**Tabla 2-2. Descripción de las competencias del núcleo de la Esencia de Semat (1/2)**  
**Adaptado de OMG (2015)**

Competencia	Definición	Descripción	Habilidades
Representación del interesado	Es la habilidad para recopilar, comunicar y balancear las necesidades de los interesados. Además, incluye conocimiento completo del dominio del cliente.	La persona con esta habilidad ayuda al equipo a entender las necesidades del negocio y la complejidad del cliente, del usuario y del interesado. Negocia y prioriza los requisitos, interactúa con el interesado y el desarrollador sobre el sistema de software y comprende el nivel de aceptación del sistema desarrollado.	Negociación Mediación Trabajo en red Buena comunicación escrita y verbal Empatía
Análisis	Es la habilidad para descubrir oportunidades y su relación con necesidades y solicitudes del interesado, convirtiéndolas en requisitos acordados para el sistema de software.	La persona con esta habilidad ayuda al equipo a identificar y entender las necesidades y oportunidades, conocer las causas y origen de los problemas, capturar, entender y comunicar los requisitos, crear y acordar las especificaciones y los modelos, visualizar soluciones y entender el impacto de las soluciones.	Comunicación escrita y verbal Observación Entendimiento y grabación de detalles Facilidad de acuerdos Captura de requisitos Separación el todo y sus partes Observación y búsqueda de las soluciones requeridas

**Tabla 2-2. Descripción de las competencias del núcleo de la Esencia de Semat (2/2)**  
**Adaptado de OMG (2015)**

Competencia	Definición	Descripción	Habilidades
Desarrollo	Es la habilidad para implementar sistemas de software basados en los requisitos.	La persona con esta habilidad ayuda al equipo a diseñar y codificar el sistema de software, formular y evaluar estrategias para combinar apropiadamente varios diseños de sistemas de software, diseñar y aprovechar soluciones tecnológicas y solucionar problemas de código.	Conocimiento tecnológico Programación Conocimiento de lenguajes de programación Pensamiento crítico y diseño
Pruebas	Es la habilidad para verificar que el software desarrollado tiene la suficiente calidad y cumple con los requisitos.	La persona con esta habilidad ayuda al equipo a probar el sistema, crear pruebas eficientemente para verificar los requisitos, evaluar el sistema según los requisitos y encontrar defectos en la calidad del sistema de software.	Observación Exploración y destrucción del pensamiento Mente inquisidora Atención al detalle
Liderazgo	Es la habilidad de dirigir un equipo hacia una conclusión exitosa de su trabajo y a conocer los objetivos, satisfaciendo las necesidades de interesado.	La persona con esta habilidad ayuda al equipo a inspirar a las personas a realizar su trabajo, asegurar que todos los miembros del equipo sean efectivos en sus asignaciones, resolver cualquier impedimento o problemas del equipo e interactuar con el interesado compartiendo prioridades, avances y desafíos.	Inspiración Motivación Negociación Comunicación Toma de decisiones
Gestión	Es la habilidad administrativa y organizacional para coordinar, planear y asignar tareas al equipo, buscando maximizar su rendimiento.	La persona con esta habilidad ayuda al equipo a gestionar riesgos proactivamente, gestionar los recursos, interactuar con el interesado para reportar avances y coordinar y planear actividades.	Comunicación Administración Organización Planeación de recursos Manejo de finanzas

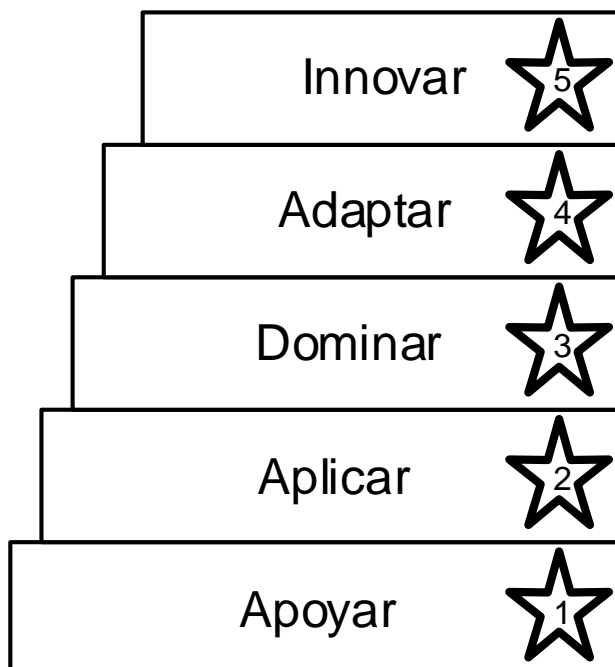


**Figura 2-6. Competencias en el núcleo de la Esencia de Semat**  
 Tomado de Jacobson *et al.* (2013b) y OMG (2015)

En el núcleo de la Esencia de *Semat* se consideran cinco niveles de competencia con una descripción estándar: apoyar, aplicar, dominar, adaptar e innovar (véase la Tabla 2-3). Los niveles de competencia se leen de abajo hacia arriba, siendo el nivel 5 el más alto nivel de competencia que puede alcanzar la persona según el rol (véase la Figura 2-7). En la Figura 2-8 se presentan las tarjetas de los niveles de competencia estándar del núcleo de la Esencia de *Semat* (OMG, 2015).

**Tabla 2-3. Descripción de los niveles de competencia según el núcleo de la Esencia de *Semat* Adaptado de (OMG, 2015)**

Nivel de Competencia	Descripción
1. Apoyar	Demuestra un entendimiento básico de los conceptos requeridos y puede seguir instrucciones.
2. Aplicar	Capaz de aplicar los conceptos en contextos simples rutinarios, aplicando los conocimientos adquiridos.
3. Dominar	Capaz de aplicar los conceptos en la mayoría de los contextos y cuenta con experiencia para trabajar sin supervisión.
4. Adaptar	Capaz de aplicar juicio sobre cuándo y cómo aplicar los conceptos a contextos complejos. Además, puede aplicar los conceptos con otros.
5. Innovar	Es un experto reconocido y es capaz de ampliar los conceptos a nuevos contextos e inspira otros.



**Figura 2-7. Niveles de competencias en el núcleo de la Esencia de *Semat* Tomado de OMG (2015)**





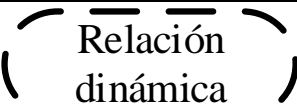

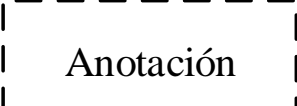

Figura 2-8. Tarjetas de los niveles de competencia estándar del núcleo de la Esencia de Semat Tomado de OMG (2015)

## 2.4 Esquemas preconceptuales

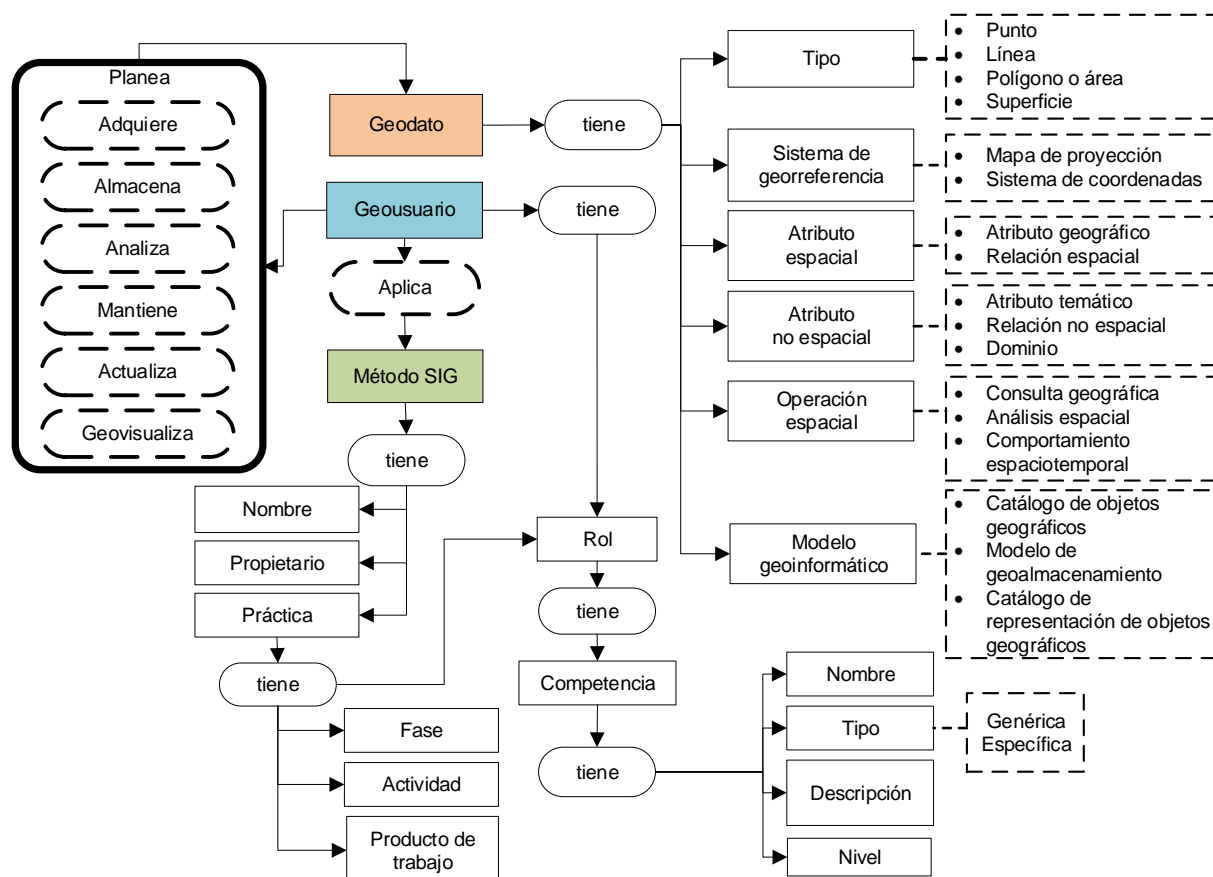
Los esquemas preconceptuales (EPs) son modelos gráficos que sirven para representar el discurso de los usuarios, el dominio y las características principales de un área de conocimiento o problema (Manrique y Zapata, 2014). Los EPs incluyen una simbología fácil de entender y ayudan a mejorar el entendimiento de una representación del conocimiento. Además, permiten realizar la validación del conocimiento técnico según el problema y se pueden utilizar para

representar estructuras e interacciones entre los sistemas y los usuarios. En la Tabla 2-4 se presentan los principales símbolos de los EPs (Zapata y Durango, 2013; Manrique y Zapata, 2014; Durango *et al.*, 2015a).

**Tabla 2-4. Descripción de los principales símbolos de los Esquemas Preconceptuales Adaptado de Zapata y Durango (2013); Manrique y Zapata (2014); Durango *et al.* (2015a)**

Nombre	Descripción	Símbolo
Concepto	Se usa para representar un sustantivo o un sintagma nominal.	
Relación estructural	Se usa para representar los verbos "es" y "tiene".	
Relación dinámica	Se usa para representar verbos de actividad, por ejemplo, adquiere, almacena y analiza.	
Marco	Se usa para representa un grupo de elementos del esquema preconceptual.	
Anotación	Se usa para representar posibles valores de los conceptos	
Conexión	Se usa para representar relaciones entre conceptos y relaciones dinámicas o estructurales.	

Para mejorar la comprensión y el dominio del problema geoinformático, en la Figura 2-9 se propone un esquema preconceptual con los tres principales elementos del ciclo de desarrollo de proyectos SIG: geodato, geousuario y método SIG.



**Figura 2-9. Representación del conocimiento basada en esquemas preconceptuales del ciclo de desarrollo de los proyectos SIG**  
Elaboración propia

### 2.4.1 Geodato

Un geodato o dato espacial es una representación de referencias y atributos de fenómenos geográficos de la superficie de la Tierra. Un geodato tiene tipo, sistema de georreferencia, atributo espacial, atributo no espacial, operación espacial y modelo geoinformático. Un geodato se puede adquirir mediante diversas fuentes primarias (sensores remotos, sistemas de posicionamiento global y estaciones de monitoreo) o secundarias (digitalización y escaneo de mapas digitales o acceso en agencias gubernamentales; Savinykh y Tdvetkov, 2014). Un geodato permite describir entidades del mundo real y se usa para definir las características específicas de los proyectos SIG (véase la Tabla 2-5).



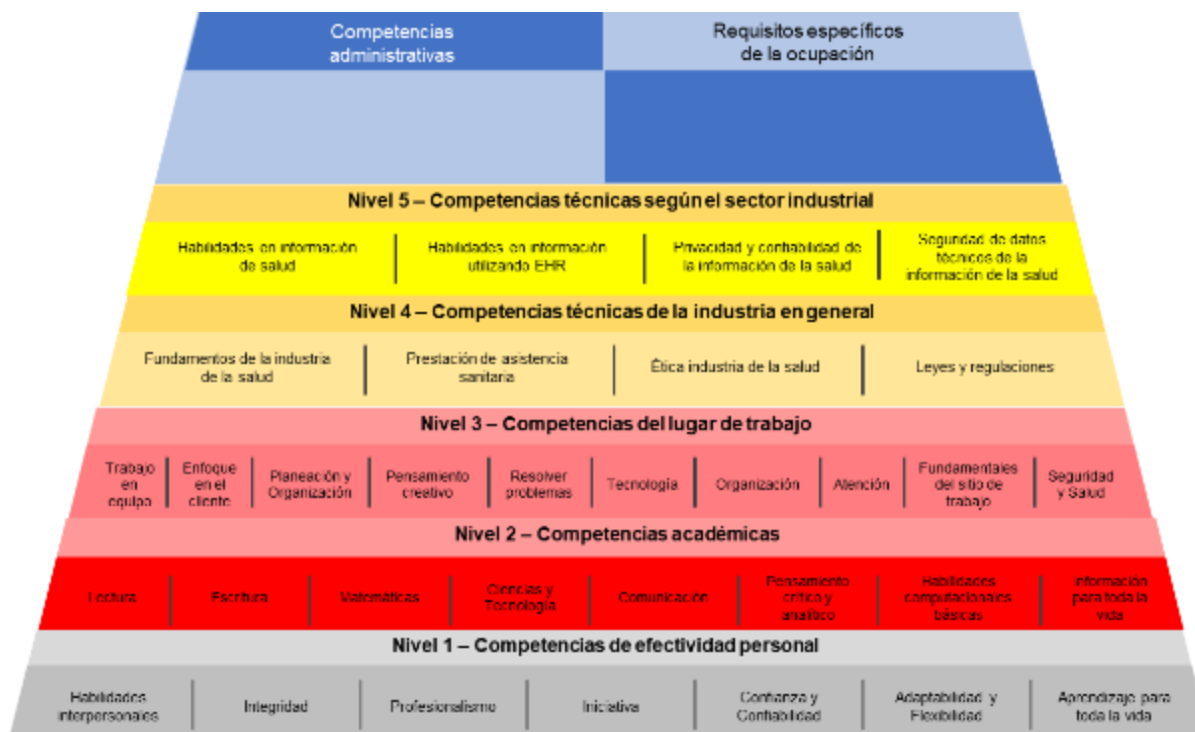
**Tabla 2-5. Descripción de los elementos principales de un geodato  
Adaptado de Bonham (1994); Tomlinson (2007) y Zapata y Durango (2013)**

Característica	Elemento	Descripción
Tipo	Punto	Elemento geográfico que permite representar datos discretos, tales como: puntos de un GPS, árboles y semáforos, entre otros.
	Línea	Elemento geográfico que permite representar datos continuos, tales como: vías, ríos y caminos, entre otros.
	Polígono o área	Elemento geográfico que permite representar datos homogéneos con formas de más de tres lados, tales como: edificaciones, parques y bosques, entre otros.
	Superficie	Elemento geográfico que permite representar el espacio geográfico en tres dimensiones: coordenadas latitud, longitud y altura. Por ejemplo, <i>raster</i> y redes irregulares de triángulos (TIN por su sigla en inglés).
Sistema de georreferencia	Mapa de proyección	Es una función geométrica que permite transformar las curvas de la Tierra (superficie elipsoidal) en un plano de dos dimensiones.
	Sistema de coordenadas	Es un sistema que incluye coordenadas para determinar la posición de un punto o elemento geométrico y localizaciones de elementos geográficos, puntos de observación, puntos GPS e imágenes.
Atributo espacial	Atributo geográfico	Es la información espacial de una entidad geográfica; se almacena en formato tabular e incluye características sobre el geodato.
	Relación espacial	Es una función importante de los SIG para determinar la relación entre diferentes objetos en el espacio y su relación con un objeto referencia.
Atributo no espacial	Atributo temático	Es la información tabular que incluye cualidades o características, tales como nombre de personas, lugares u objetos.
	Relación espacial no	Se presenta entre tablas incluidas en un modelo relacional.
	Dominio	Es un atributo que permite describir el valor legal o posibles valores de un tipo de campo y proporcionar un método de mejora de la calidad de los geodatos. En otras palabras, es una declaración de un valor aceptable de un atributo.
Operación espacial	Consulta espacial	Es un conjunto de condiciones espaciales que incluye operadores espaciales, como interceptar, contener y calcular distancia entre geodatos, entre otros.
	Análisis espacial	Es un conjunto de técnicas formales que permite estudiar las entidades geográficas según su topología, geometría y características geográficas.
	Comportamiento espaciotemporal	Es una representación que permite describir el comportamiento del geodato por cambios en el tiempo.
Modelo geoinformático	Catálogo de objetos geográficos	Es un producto de trabajo que permite describir los geodatos según tipo, sistema de georreferencia, atributo espacial y no espacial y operación espacial.
	Modelo de geocalmacenamiento	Es un producto de trabajo que permite describir el modelo de almacenamiento, determinando la estructura lógica y física de la base de datos espacial.
	Catálogo de representación geográfica	Es un producto de trabajo que permite describir el modelo de representación del geodato; contiene normas y especificaciones de la representación gráfica.

### 2.4.2 Geousuario

El geousuario tiene un rol que posee competencias relacionadas con adquisición, almacenamiento, análisis, mantenimiento, actualización y geovisualización del geodato, buscando una planeación eficiente de modelos geográficos de la Tierra (du Plessis y Van Niekerk, 2012). Debido a que los geousuarios tienen diferentes roles en las fases del ciclo de desarrollo de los proyectos SIG, la organización *Urban and Regional Information Systems*

Association (URISA) presenta los principales roles de los geousuarios en los proyectos SIG: gerente SIG, director SIG, coordinador SIG, especialista SIG, analista de datos SIG, técnico SIG y desarrollador SIG (Wikle, 2012; URISA, 2014). De igual manera, en el método propuesto por la organización URISA (2014) se propone un modelo de competencias que se sectoriza en seis niveles: personales, académicas, del lugar de trabajo, técnicas de la industria general, técnicas de la industria geoespacial y específicas de la ocupación (véase la Figura 2-10).



**Figura 2-10. Modelo de competencias en tecnología geoespacial**  
Elaboración propia basada en URISA (2014)

Spencer y Spencer (1993) proponen un modelo de competencias denominado “*Modelo de Iceberg*”. Los autores definen las competencias como características subyacentes de las personas relacionadas con el comportamiento y el desempeño para resolver situaciones y desafíos laborales. Una competencia organizacional se considera la unión de aptitudes, actitudes, rasgos de personalidad y conocimientos requeridos para lograr un estándar de efectividad y de desempeño superior en un trabajo o situación particular. En el “*Modelo del Iceberg*” se plantea que las personas tienen dos tipos de competencias: genéricas o visibles (fáciles de observar) y específicas o no visibles (difíciles de observar; véase la Figura 2-11). Las competencias genéricas o visibles son conocimientos y destrezas que las personas adquieren mediante capacitaciones para desarrollar una tarea concreta. Las competencias específicas o no

visibles son comportamientos observables y habituales que posibilitan el éxito de las personas, dependen de los rasgos de personalidad y motivaciones (Spencer y Spencer, 1993; Durango et al., 2015b, 2017).



Figura 2-11. Modelo del Iceberg  
Tomado de Spencer y Spencer (1993)

Por lo anterior, en el EP (véase la Figura 2-9) se observa que el geousuario tiene un rol dentro del proceso de desarrollo del proyecto SIG, el rol tiene competencia y la competencia tiene nombre, tipo (genérica y específica), descripción y nivel.

### 2.4.3 Método SIG

El método SIG se utiliza para definir el ciclo de desarrollo del proyecto SIG. Algunos de estos métodos son: Metodología de Desarrollo del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (MDS-IGAC; IGAC, 2018), Desarrollo e Implementación de un Sistema de Información Geográfica del Campus Físico de la Universidad del Quindío (DISIG-CF; Quiceno et al., 2011; Vila-Ortega et al., 2011a,

Vila *et al.*, 2011b), el Método de desarrollo SIG Y-Model Web (*Y-Model Web GIS Development Methodology, YWDM*) y los métodos propuestos por las organizaciones *Environmental Systems Research Institute* (ESRI; ESRI, 2018; Zeiler, 1999; Macdonald, 2001; Tomlinson, 2007), *Urban and Regional Information Systems Association* (URISA; Somers, 1998, 2001, 2009) y *State Archives and Records Administration* (SARA; Becker *et al.*, 1995a, 1995b, 1995c); además, existen otros métodos que dependen del área de conocimiento de los geousuarios y de los proyectos SIG. Estos métodos tienen elementos principales: nombre, propietario y práctica, que tiene a su vez fase, actividad y producto de trabajo (véase la Figura 2-9). El geousuario aplica el método SIG en el proyecto dependiendo de su experiencia y del área de conocimiento.

## 3. Planteamiento del problema

### 3.1 Problema de investigación

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son sistemas computacionales para representar geográficamente elementos ubicados sobre la Tierra. Los principales elementos de los SIG son: el geodato, el geousuario y el método SIG. En la literatura se encuentran diversos métodos para desarrollar proyectos SIG. Los geousuarios aplican el método SIG según el tipo de proyecto y sus competencias. Estos métodos SIG incluyen fases, actividades, productos de trabajo, roles y competencias que se incluyen en buenas prácticas en el desarrollo de proyectos SIG. Sin embargo, estos métodos SIG incluyen prácticas de gestión de proyectos como PMBOK® y de métodos de desarrollo de software tradicional como RUP®. Lamentablemente, dejan aspectos importantes sin abordar en el ciclo de desarrollo del proyecto SIG. A continuación, se presentan las dificultades en los proyectos SIG:

- **Métodos SIG incompletos:** se evidencia la existencia de una amplia variedad de métodos de desarrollo de proyectos SIG y la ausencia de estrategias para abordar las características especiales de los proyectos SIG. Lo anterior conlleva poca atención al geodato y ausencia de productos de trabajo específicos, por no incluir prácticas propias (Medina, 2007a, 2007b; Nelson *et al.*, 2007; Quiceno *et al.*, 2011; Vila-Ortega *et al.*, 2011; Vila *et al.*, 2011; Durango y Zapata, 2015).
- **Problemas con los geousuarios:** se evidencia la necesidad de contar con equipos con competencias especiales para asociar actividades y productos de trabajo según el rol de la práctica en el método SIG. Sin embargo, la mayoría de estos equipos involucran profesionales multidisciplinarios con desconocimiento de las competencias requeridas. Según lo anterior, se requiere identificar geousuarios para conformar y trabajar en proyectos SIG con competencias diferenciadoras para optimizar los métodos de desarrollo de proyectos SIG, conformar equipos de trabajo eficientes y con rendimientos excepcionales para mejorar

---

la capacidad productiva y el desempeño laboral (Escobar *et al.*, 2008; DiBiase *et al.*, 2010; Bednarz y Lee, 2011; Durango *et al.*, 2015b; Durango *et al.*, 2017).

- **Geodatos complejos:** se evidencia poca atención a la educación de requisitos del geodato. Los métodos SIG se enfocan en definir el alcance del proyecto y educir los requisitos según las necesidades del negocio y los productos de trabajo propios de los métodos de desarrollo tradicionales, dando poca importancia a las características especiales del geodato: tipo, sistema de georreferencia, atributos espaciales y no espaciales, operaciones espaciales y al modelo geoinformático. En consecuencia, se evidencian dificultades en la adquisición del geodato, dificultades en la documentación sobre el proceso de análisis en el modelo geoinformático y poca importancia a la geovisualización del geodato (Medina, 2007a, 2007b; Nelson *et al.*, 2007; Al-waraqí y Zahary, 2012; Robbi *et al.*, 2014; Zarour *et al.*, 2015).

Debido a la diversidad y poca estandarización de los métodos SIG, se requiere identificar un terreno común de estos métodos. Este terreno común permitiría identificar las buenas prácticas de los métodos SIG para generar un marco de desarrollo enfocado en los procesos específicos de los proyectos SIG y ayudar a los geousuarios a mejorar el conocimiento del estado del proyecto SIG. Para lograrlo, en esta Tesis de Doctorado se definen las buenas prácticas en el proceso de desarrollo de proyectos SIG y su representación en el núcleo de la Esencia de *Semat*.

## 3.2 Hipótesis

Es posible definir una representación basada en el núcleo de la Esencia de *Semat* de los métodos de desarrollo de sistemas de Información geográfica que permita identificar las buenas prácticas de estos con base en un marco común de desarrollo en el ciclo de vida de los proyectos SIG.

## 3.3 Objetivos

### 3.3.1 Objetivo general

Definir las buenas prácticas de desarrollo de sistemas de información geográfica, utilizando el núcleo de *Semat*.

### 3.3.2 Objetivos específicos

- Identificar los principales métodos de desarrollo de sistemas de información geográfica.

- Caracterizar los métodos de desarrollo de SIG, utilizando *Semat*, para identificar las buenas prácticas en el proceso de desarrollo.
- Proponer en el núcleo de *Semat* los elementos de las buenas prácticas de los métodos de desarrollo de SIG e incorporar nuevas prácticas para mejorar el proceso de desarrollo de SIG.
- Validar las prácticas definidas para el desarrollo de SIG mediante casos de estudio comparativos.

### 3.4 Metodología de investigación

El proyecto comprende la definición de buenas prácticas de desarrollo de Sistemas de Información Geográfica utilizando el núcleo de la Esencia de *Semat*, por lo cual es importante describir el proceso de investigación ejecutado. Genero, Cruz-Lenus y Piattini (2015) proponen un método de investigación en ingeniería de software. Los autores proponen que la investigación en el campo de la ingeniería de software se realiza bajo dos tipos de métodos: cuantitativo y cualitativo. Además, indican que dependiendo de su propósito el método de investigación en la ingeniería de software se debe enfocar en los siguientes tipos de investigación: exploración, comparación, propuesta y validación. Donde, los tipos de investigación sugeridos por los autores se relacionan con el ciclo de desarrollo de los proyectos de software. A continuación, se describe cada una de las fases de la metodología de investigación aplicada en la Tesis de Doctorado (véase la Figura 3-1).

#### 3.4.1 Fase de exploración

En esta fase, se parte de una idea que da origen a los objetivos y preguntas de investigación, se establece la hipótesis, se revisa la literatura científica y se construye el marco teórico. En la revisión de literatura se sigue el método que propone Kitchenham *et al.* (2009) para obtener un listado de artículos relevantes, se caracterizan las competencias del equipo de trabajo según la revisión de literatura y los métodos de desarrollo SIG encontrados la revisión de literatura (véase la Figura 3-2).

### 3.4.2 Fase de comparación

En esta fase se identifican los elementos comunes de los métodos SIG representando los elementos (fases, actividades, productos de trabajo y roles asociados) en el núcleo de la Esencia de *Semat* de los métodos SIG encontrados y se identifican las competencias del equipo de desarrollo SIG de cada método SIG identificado (véase la Figura 3-3).

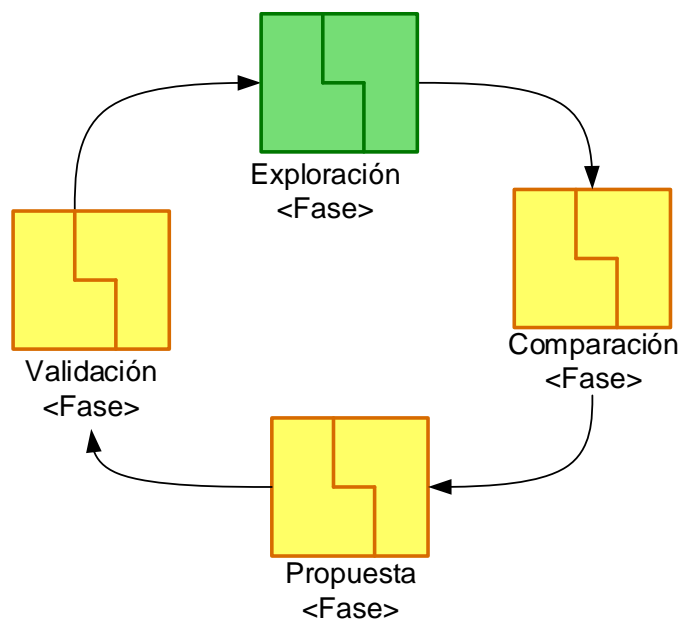


Figura 3-1. Fases de la metodológica aplicada en la Tesis de Doctorado  
Elaboración propia



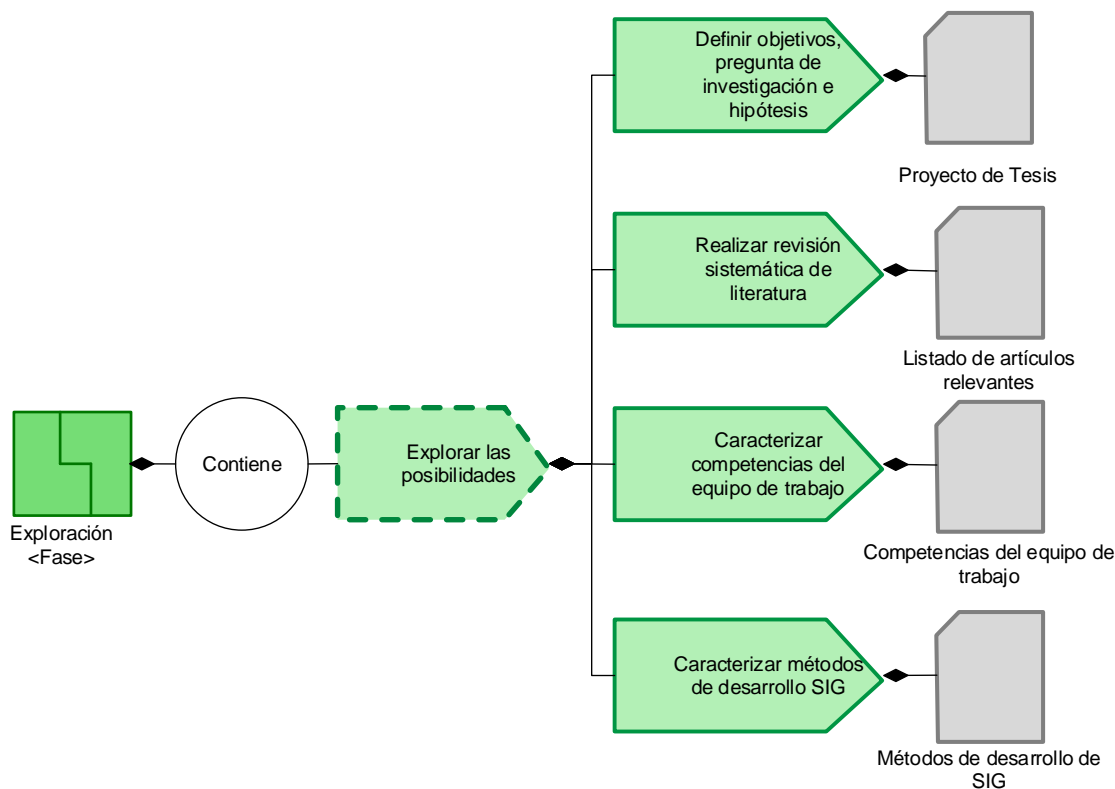


Figura 3-2. Fase exploración representada en el núcleo de la Esencia de *Semat*  
Elaboración propia

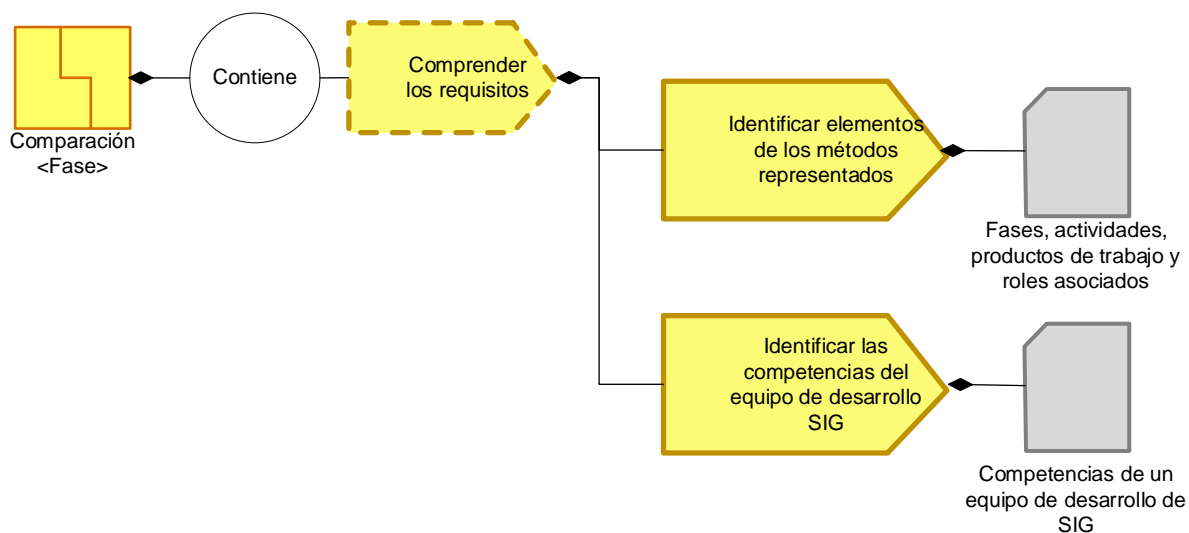


Figura 3-3. Fase comparación representada en el núcleo de la Esencia de *Semat*  
Elaboración propia

### 3.4.3 Fase de propuesta

En esta fase se realiza una representación en el núcleo de la Esencia de *Semat* de las buenas prácticas de desarrollo de proyectos SIG, realizando una adaptación y representación de las prácticas comunes identificadas y proponiendo las buenas prácticas necesarias para mejorar el ciclo de desarrollo de los proyectos SIG (véase la Figura 3-4).

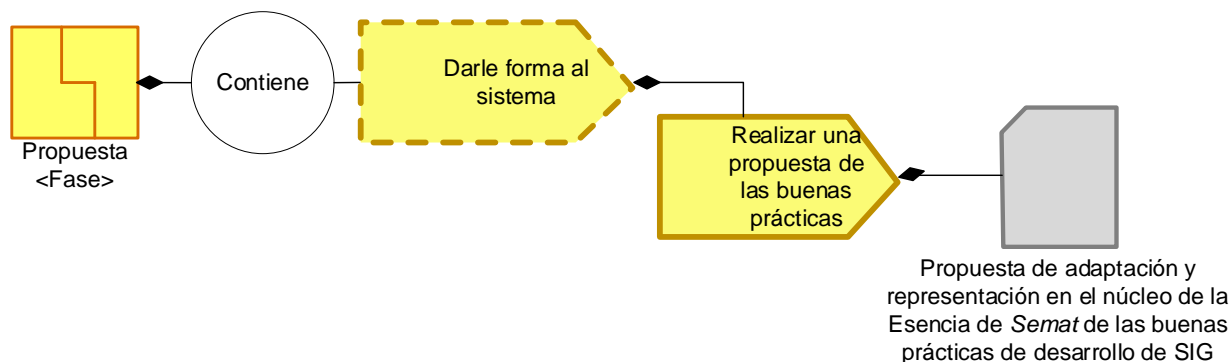


Figura 3-4. Fase propuesta representada en el núcleo de la Esencia de *Semat*  
Elaboración propia

### 3.4.4 Fase de validación

En esta fase se validan las prácticas definidas mediante casos comparativos de los métodos SIG en los que se incluyen las prácticas que se proponen. Además, se realiza la validación con estudiantes y con expertos (véase la Figura 3-5).

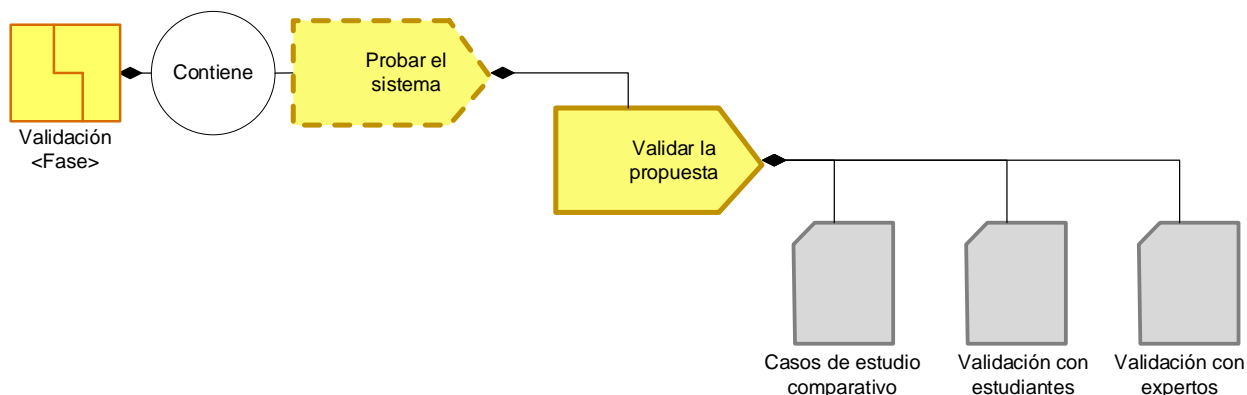


Figura 3-5. Fase validación representada en el núcleo de la Esencia de *Semat*  
Elaboración propia

## 4. Revisión de literatura

En este Capítulo se analizan experiencias previas de los problemas de los proyectos SIG y se proponen las representaciones en el núcleo de la Esencia de *Semat* de los elementos (fases, actividades, productos de trabajo y roles) que se identifican en los métodos de desarrollo de proyectos SIG. Además, se caracterizan las competencias del equipo de desarrollo de proyectos SIG.

La Revisión Sistemática de Literatura (RSL) es un mecanismo de búsqueda de trabajos de investigaciones en catálogos de indización y bases de datos bibliográficas. La RSL se utiliza para sintetizar los resultados de otras investigaciones e integrar hallazgos similares para garantizar la validez de la investigación según las preguntas de investigación (Kitchenham, 2004; Kitchenham *et al.*, 2009). En esta Tesis de Doctorado se aplica el proceso RSL que proponen Kitchenham *et al.* (2009) para la ingeniería de software. A continuación, se describen las actividades del proceso RSL:

- **Formular las preguntas de investigación:** el objetivo del proceso RSL es identificar los antecedentes del trabajo investigativo de la Tesis de Doctorado para dar respuesta a la pregunta de investigación: ¿Cuáles son las buenas prácticas de los métodos de desarrollo de sistemas de información geográfica y cuáles se deben incorporar para mejorar la implementación de los proyectos SIG, utilizando el núcleo de la Esencia de *Semat*?
- **Identificar palabras clave:** el objetivo de esta actividad es obtener un listado de palabras clave utilizadas para realizar la búsqueda en catálogos de indización y las bases de datos bibliográfica (véase la Tabla 4-1).
- **Seleccionar fuentes de búsqueda:** el objetivo de esta actividad es obtener estadísticas de las fuentes de información utilizadas en el proceso RSL (véase la Tabla 4-2).
- **Identificar investigaciones relevantes:** el objetivo de esta actividad es seleccionar las fuentes de información con investigaciones relevantes (véase la Tabla 4-3).

- **Extraer información:** el objetivo de esta actividad es identificar las competencias del equipo de desarrollo y los métodos de desarrollo de proyectos SIG relevantes para la Tesis de Doctorado. Finalmente, en las Tablas 4-2 y 4-3 se presentan las estadísticas de los documentos relevantes.

**Tabla 4-1. Listado de palabras clave  
Elaboración propia**

Palabras clave	
"Best practice" + "GIS"	"Metadata" + "GIS"
"Development" + "GIS"	"Problem" + "GIS"
"Method" + "GIS"	"Modeling" + "GIS"
"Methodologic" + "GIS"	"Planning" + "GIS"
"Software" + "GIS"	"Validation" + "GIS"
"Geodata" + "quality"	"Requirement" + "GIS"
"Team competitions" + "GIS"	

**Tabla 4-2. Listado de fuentes de información  
Elaboración propia**

Fuente de Información	Cantidad	Fuente de Información	Cantidad
EBSCO host	3	Research Gate	11
Google Scholar	113	Science Direct	69
IEEE	28	Springer	22
OMG	2	Taylor & Francis	17
Redalyc	61		
Total	326		

Finalmente, en la Tabla 4-3 se muestra la clasificación final de las investigaciones relevantes según los siguientes criterios de inclusión y exclusión:

- Se explica el método de desarrollo de los proyectos SIG
- Se presentan buenas prácticas en el desarrollo de proyectos SIG
- Se definen algunos elementos importantes para la construcción del marco teórico
- Se identifican buenas prácticas enfocadas a la educación de requisitos para proyectos SIG
- Se explican las competencias, habilidades y destrezas del geousuario
- Se evidencia la importancia del geodato en el ciclo de desarrollo de los proyectos SIG
- Se presentan los principales problemas del ciclo de desarrollo de los proyectos SIG

**Tabla 4-3. Listado de investigaciones relevantes  
Elaboración propia**

Clasificación	Cantidad	Clasificación	Cantidad
Primarios			
Problema	13		
Secundarios			
Marco Teórico	45	Geousuario	37
Requisitos	13	Geovisualización	17
Método	55	Otros temas	146
Total	326		

Finalmente, se realiza una clasificación de los métodos de desarrollo de proyectos SIG donde evidencia que la mayoría de estas propuestas se enfocan en presentar las características del software SIG, el hardware y los motores de bases de datos espaciales. También, se encuentran propuestas que se enfocan en el modelado orientado a objetos de las bases de datos espaciales y en la caracterización de los geodatos según el tipo de proyecto SIG (agronomía, calidad de aire, catastro, movilidad, incendios, vientos, mares y geología, entre otros); además, se encuentran estrategias para la gestión de proyectos SIG. En general, se observa que estos métodos se enfocan en identificar las necesidades específicas a modelar según las tecnologías recomendadas y los geodatos, faltando consideran las fases, actividades, roles y productos de trabajo de los proyectos SIG. Por lo anterior, estos métodos se descartan y no se representan en el núcleo de la Esencia de *Semat*. De igual manera, se identifican algunos métodos que cumplen con estas especificaciones; estas propuestas se caracterizan y se representan en el núcleo de la Esencia de *Semat*. A continuación, se presentan los principales problemas que dan origen a esta Tesis de Doctorado y las representaciones de los principales métodos de desarrollo de proyectos SIG caracterizados.

#### 4.1 Factores críticos de fracaso de los proyectos SIG

Al-Waraqí y Zahary (2012) proponen un listado de factores críticos de fracaso de los proyectos SIG, identificando que el principal problema de los proyectos SIG es el geousuario. Los autores indican que la conformación de los equipos de trabajo se realiza según la experiencia en el manejo de tecnologías SIG, pero con poca experiencia en la gestión de proyectos SIG y carecen de competencias para este tipo de proyectos. A continuación, se presentan los factores críticos de fracaso de los proyectos SIG:

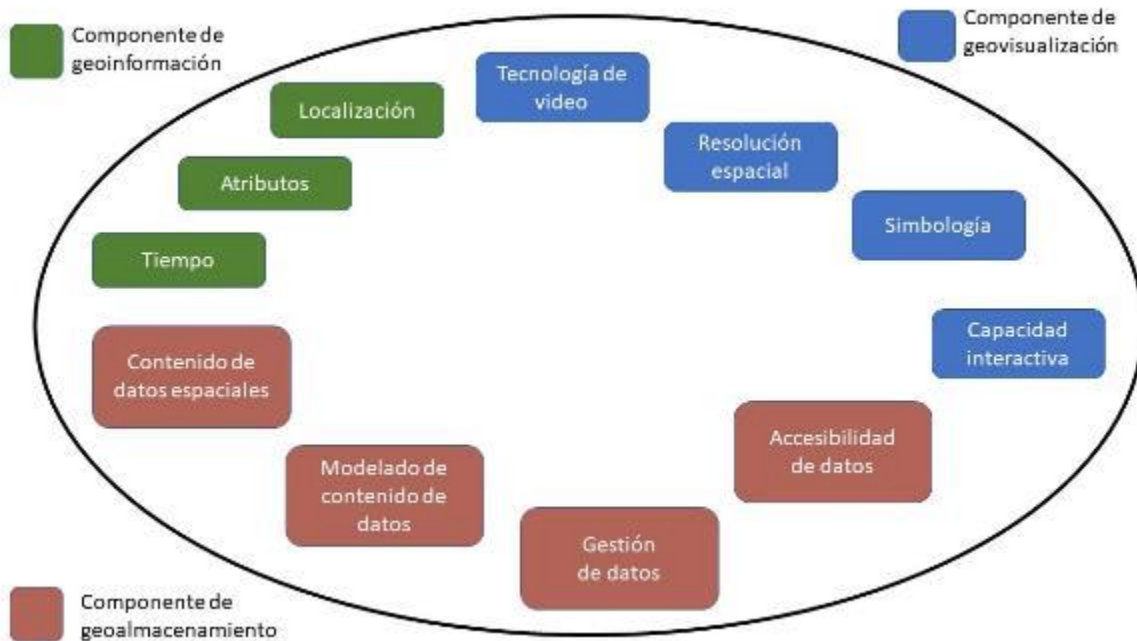
- 
- Pobre planeación del geodato debido a poca importancia a la educación de requisitos, dificultades en la adquisición y pobre gestión del proyecto SIG.
  - Inversión basada en tecnologías SIG en lugar de necesidades debido a poca planeación de la tecnología SIG, faltando considerar el volumen de geodatos y los análisis espaciales requeridos por el proyecto SIG.
  - Cambios en la dirección, los objetivos y el alcance del proyecto SIG, generando problemas en los geodatos y en los productos esperados por dificultades en la documentación sobre el proceso de educación y análisis del proyecto SIG
  - Problemas en la asignación de responsabilidades del geousuario, ejerciendo varios roles en el proyecto SIG por desconocimiento de las competencias requeridas para la asignación de responsabilidades según el rol que ejercen en el ciclo de desarrollo del proyecto SIG.

Teniendo en cuenta lo anterior, se observa que los autores evidencian problemas con los geodatos debido a los altos costos en el proceso de adquisición de los geodatos y los grandes volúmenes de información para almacenar. También, se evidencia poca atención a la educación de requisitos, generando cambios en los alcances de los proyectos SIG y poca satisfacción del cliente. De igual manera, se evidencia poca importancia al diseño de las consultas espaciales que requiere el geousuario y carencia de la documentación que evidencie el proceso de análisis y diseño del proyecto SIG. Además, los autores evidencian que las personas que conforman los equipos de trabajo carecen de las competencias requeridas para desarrollar este tipo de proyectos.

## 4.2 Educación de requisitos para soluciones geoinformáticas

Robbi *et al.* (2014) consideran que las soluciones geoinformáticas de calidad se pueden diseñar con base en un modelo de educación de requisitos centrado en el usuario. Los autores indican que con los requisitos del geousuario se define el tipo de solución geoinformática a desarrollar: mapa simple, conjunto de mapas, mapa interactivo, sistema de información geográfica, sistema de geovisualización o solución de realidad virtual. Por lo anterior, los autores proponen una fase de educación de requisitos para soluciones geoinformáticas que incluye tres tipos de componentes (véase la Figura 4-1): geoinformación, geovisualización y geoalmacenamiento. El componente de geoinformación se relaciona con información de localización, atributos (espaciales y no

espaciales) y el comportamiento espaciotemporal. El componente de geovisualización se relaciona con información de representación del geodato que se obtiene del geoprocesamiento y del análisis visual (tecnología de video, resolución espacial, simbología y capacidad interactiva). El componente de geoalmacenamiento se relaciona con información asociada con la base de datos espacial (datos espaciales, modelo de datos, gestión de datos y accesibilidad del dato).



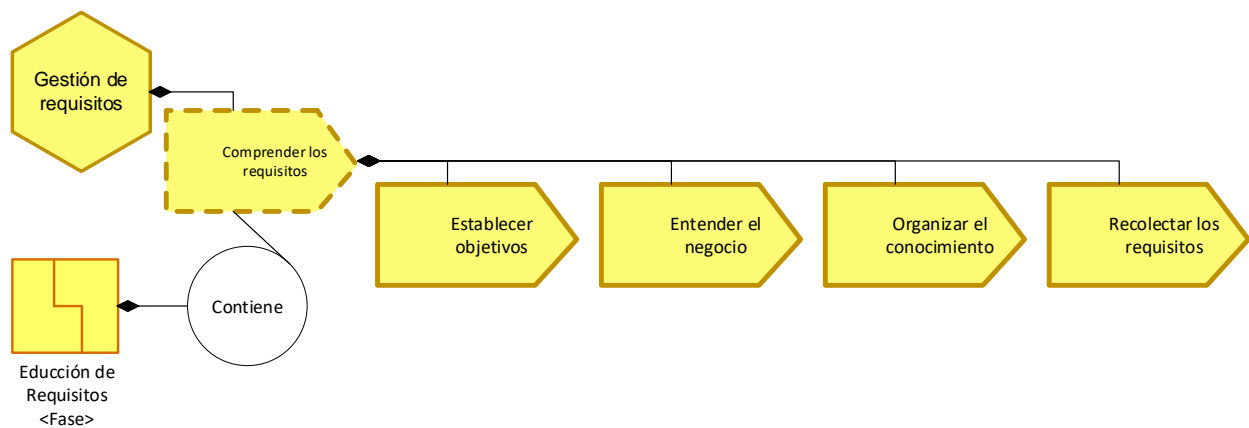
**Figura 4-1. Componentes de un sistema geoinformación**  
 Elaboración propia basada en Robbi *et al.* (2014)

Así, los autores consideran que el proceso de educación de requisitos para soluciones geoinformáticas incluye cuatro fases: educación de requisitos, análisis y negociación de requisitos, documentación de requisitos y validación de los requisitos. Sin embargo, el trabajo de los autores sólo se basa en la fase de educación de requisitos porque consideran que las otras tres fases se trabajan ampliamente en el trabajo previo. Por ello, los autores consideran que la fase educación de requisitos incluye cuatro actividades importantes (véase la Figura 4-2):

- **Establecer objetivos:** se busca entender la relación entre las actividades del geousuario y las actividades para resolver el problema acorde con las necesidades de conocimiento geográfico y el análisis espacial.

- **Entender el negocio:** se busca identificar las características y el dominio de la solución geoinformática utilizando técnicas de análisis de documentos y entrevistas con los interesados.
- **Organizar el conocimiento:** se busca establecer y caracterizar el conocimiento, el campo profesional y la experiencia de los geousuarios en el manejo del pensamiento cognitivo espacial, del geodato y de los fenómenos espaciales.
- **Recolectar los requisitos:** se busca documentar el proceso de educación de requisitos de la solución geoinformática.

En la Figura 4-2 se propone una representación en el núcleo de la Esencia de *Semat* de la fase educación de requisitos propuesta por los autores.



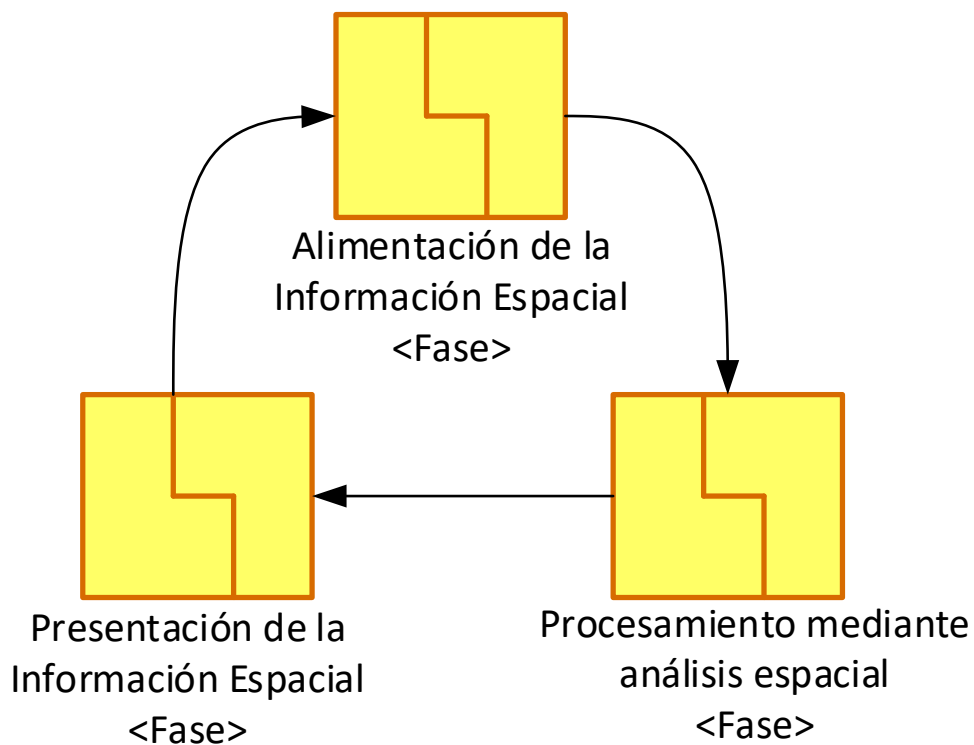
**Figura 4-2. Actividades de la fase educación de requisitos propuestas por Robbi *et al.* (2014) representadas en el núcleo de la Esencia de *Semat***  
 Elaboración propia

A pesar de que los autores proponen una nueva fase de educación de requisitos para soluciones geoinformáticas, en la representación se puede observar que la propuesta contiene fases y actividades similares a las existentes en el método de desarrollo de sistemas de información tradicional RUP®. Por lo anterior, se evidencia poca atención a la educación de requisitos del geodato por la ausencia de actividades y productos de trabajo propios para mejorar la comprensión de las características diferenciadoras del geodato en el proyecto SIG.



### 4.3 Hacia un método para ingeniería de requisitos en SIG

Medina (2007a) plantea la necesidad de construir un método que se pueda utilizar en el dominio de las aplicaciones SIG para abordar el proceso de ingeniería de requisitos que incluya operadores espaciales, estándares geomáticos y metadatos. El autor identifica un carácter multidisciplinario en los proyectos SIG y diferentes unidades funcionales (entrada de datos, modelado de datos, manipulación de datos y presentación de resultados). Además, el autor plantea tres fases para el proceso de ingeniería de requisitos de los proyectos SIG (véase la Figura 4-3).



**Figura 4-3. Fases de un proyecto SIG para el proceso de ingeniería de requisitos**  
 Elaboración propia basada en Medina (2007a, 2007b)

De igual manera, el autor presenta dos grupos de dificultades que afectan el proceso de ingeniería de requisitos de las aplicaciones SIG: dificultades inherentes al proceso y dificultades inherentes al producto (véase la Tabla 4-4). Para mitigar estas dificultades, el autor propone una caracterización de los elementos de la ingeniería de requisitos para identificar rasgos comunes que se puedan utilizar en la construcción de un método SIG que incluya el geodato como un elemento especial de las aplicaciones geoinformáticas (véase la Tabla 4-5).

**Tabla 4-4. Dificultades en ingeniería de requisitos para proyectos SIG  
Elaboración propia adaptado de Medina (2007a, 2007b)**

Tipo de dificultad	Descripción
Dificultades inherentes al proceso	
Métodos SIG incompletos	La mayoría de las técnicas de modelado y especificación de requisitos se conciben para atributos alfanuméricos, faltando incluir atributos espaciales, espaciotemporales y la tercera dimensión
Problemas con los geousuarios	La recolección de requisitos se realiza con geousuarios multidisciplinarios con poca experiencia en sistemas computacionales y en educación de requisitos
Dificultades inherentes al geodato	
Complejidad del geodato	Las propiedades espaciales de los geodatos dificultan la labor de modelado debido al gran volumen de geodatos y los altos costos de adquisición, obteniendo geodatos de diferentes fuentes de información y con pocos niveles de calidad y de interoperabilidad
Poca documentación sobre el proceso de análisis del modelo geoinformático	Faltan productos de trabajo propios para documentar el ciclo de desarrollo de los proyectos SIG, especialmente en el análisis del modelo geoinformático
Poca importancia a la geovisualización	Falta incorporar un producto de trabajo que se relacione con la geovisualización de los geodatos según el tipo de capas temáticas que se requieren. Por ejemplo, un embalse se puede mostrar como un punto en escala 1:500.000 y como un polígono en escala 1:25.000

**Tabla 4-5. Caracterización de los elementos de la ingeniería de requisitos para aplicaciones SIG  
Elaboración propia basada en Medina (2007a, 2007b)**

Elemento	Descripción
Clasificación de las aplicaciones SIG	Sistemas dinámicos, físicos y sociales
Clasificación de requisitos	Según unidades funcionales <ul style="list-style-type: none"> <li>Requisitos de estructura, de modelado, de manipulación y de geovisualización del geodato</li> </ul> Según actores <ul style="list-style-type: none"> <li>Alimentador de información, analista espacial y usuario final</li> </ul>
Aspectos comunicativos	Comunicación entre los actores y sus relaciones con el SIG
Características de las herramientas metodológicas existentes	Dimensión temporal, elementos espaciales complejos, valores temáticos, objetos difusos, datos basados en entidades y en valores de campo, generalización, restricciones, identificador de objetos y calidad de los geodatos
Lenguajes de modelado	Entidad-relación y orientada a objetos
Lenguajes de especificación	Lenguajes de dominio específico y funcionales
Estándares geomáticos	Componentes de estándares para geodatos <ul style="list-style-type: none"> <li>Estándar para producción, transferencia y calidad del geodato y para metadato <i>Open GeoSpatial Consortium</i></li> <li>Marco de trabajo de información y de servicios, arquitectura multired, multicapa y multiplataforma</li> </ul> Iniciativa ICDE <ul style="list-style-type: none"> <li>Políticas básicas, cobertura nacional, documentación y servicios de acceso y uso del geodato</li> </ul>

A pesar de que el autor propone la generación de un método de ingeniería de requisitos considerando los elementos de las aplicaciones SIG, estos elementos tienen poca alusión a elementos propios de los proyectos SIG, pues sólo el elemento “estándares geomáticos” tiene relación. De igual manera, se evidencia que el método propuesto carece de buenas prácticas propias de los proyectos SIG para la adquisición y geovisualización del geodato. Además, falta

incluir actividades y productos de trabajos que permitan abordar y documentar la educación de requisitos del geodato e identificar los roles y las competencias que se requieren en la conformación de un equipo de desarrollo de aplicaciones geoinformáticas.

#### 4.4 Un marco metodológico para el desarrollo de sistemas de información geográfica

Dean *et al.* (2017) realizan un análisis de diferentes métodos de desarrollo de sistemas de información tradicional y sistemas de información geográfica. La diferencia principal se presenta en áreas disciplinarias y en el manejo de análisis espaciales. Por ello, los autores proponen un marco metodológico basado en la experiencia de su equipo de desarrollo de proyectos SIG.

El marco metodológico incluye enriquecimiento de imágenes, análisis CATWOE (Acrónimo de *customers, actors, transformation process, world view, owners, environmental constraints*), definición de raíz, un modelo conceptual para identificar los tipos de análisis espaciales requeridos y elementos contenidos en el “*Soft Systems Methodology*”. El marco metodológico incluye los siguientes elementos: análisis de requisitos “*soft*”, el análisis espacial y el diseño del sistema “*hard*” (véase la Figura 4-4). El análisis de requisitos “*soft*” se enfoca en identificar las instancias geográficas que debe contener el SIG. El análisis espacial se enfoca en identificar los cálculos matemáticos y estadísticos requeridos por el SIG. El diseño del sistema “*hard*” se enfoca en identificar criterios de almacenamiento y de manipulación del geodato (véase la Figura 4-5).

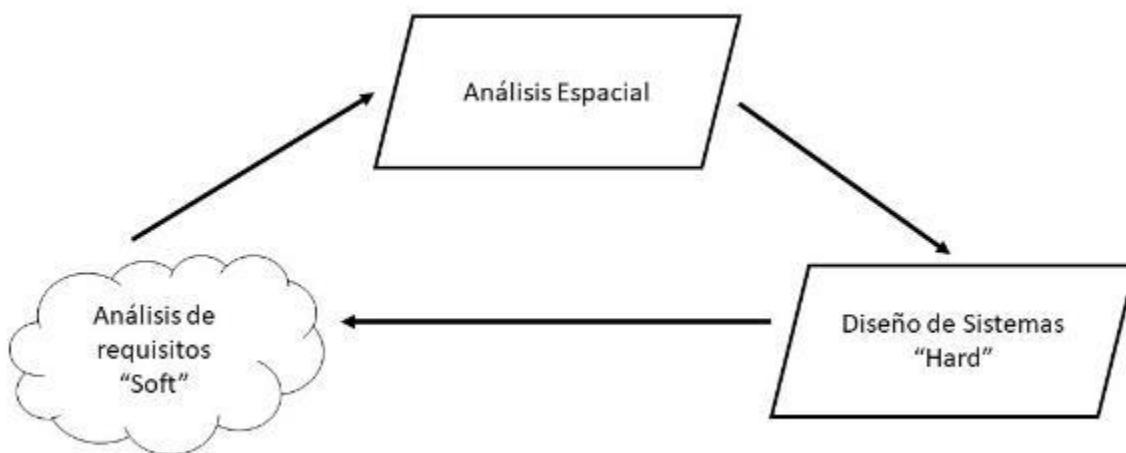
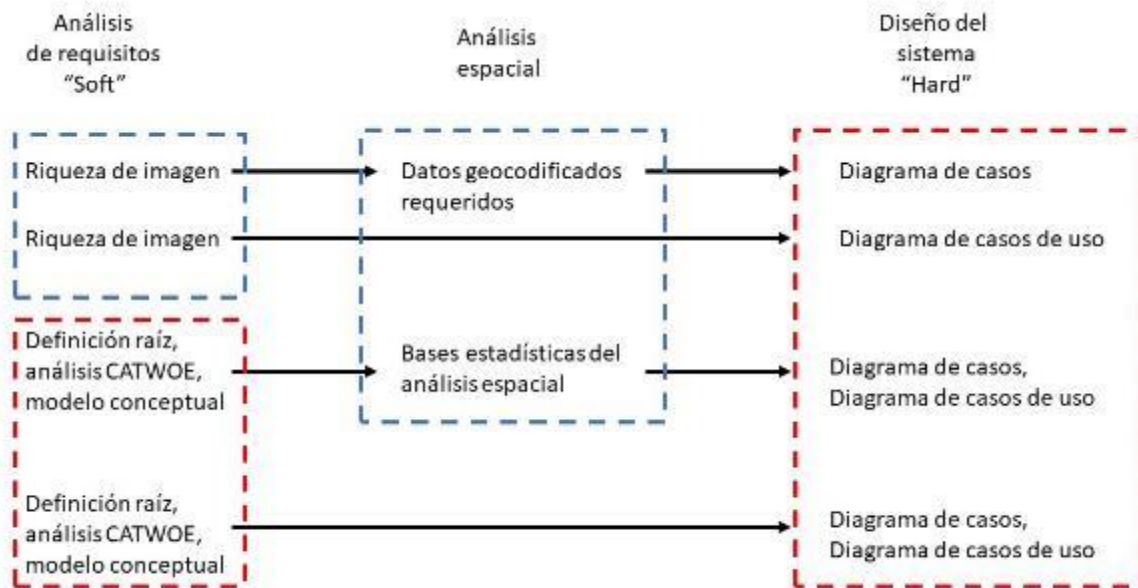


Figura 4-4. Elementos del marco metodológico  
Elaboración propia basada en Dean *et al.* (2017)



**Figura 4-5. Integración de las técnicas de desarrollo de sistemas utilizadas en el marco metodológico SIG**  
 Elaboración propia basada en Dean *et al.* (2017)

Los autores indican que el marco metodológico se puede utilizar para proporcionar un enfoque basado en análisis de requisitos para identificar un modelo espacial apropiado del geodato. Sin embargo, se observa que el marco metodológico no incluye prácticas propias de desarrollo de proyectos SIG y los requisitos de geodato se basan en elementos de escala y de representación, dando poca importancia a la educación de requisitos del geodato. Además, los productos de trabajo presentes en el marco metodológico se relacionan con los productos de trabajo de RUP®, evidenciando que el marco metodológico no cuenta con prácticas propias para definir las características especiales del geodato.

#### 4.5 Método DISIG-CF

Vila-Ortega *et al.* (2011) presentan un método de desarrollo para planear, analizar, diseñar e implementar el SIG del Campus de la Universidad del Quindío. El método DISIG-CF es una adaptación del método de desarrollo de sistemas de información tradicional RUP® y de la "Metodología para el desarrollo de software del IGAC" (MDS-IGAC). Los autores proponen un ciclo de desarrollo mixto con iteraciones constantes para refinar los productos SIG (véase la Figura 4-6). También, se identifican dos problemas principales en el desarrollo de proyectos SIG: su carácter multidisciplinario y la diversidad de los equipos de trabajo. Para mitigar estos

problemas, los autores presentan un listado de roles de los geousuarios involucrados (véase la Figura 4-7), cuatro fases del ciclo de desarrollo: planeación, análisis, diseño y desarrollo y soporte (véase la Figura 4-8) e identifican los riesgos del proyecto: cambio de las reglas del negocio, cambio en las políticas de implementación de aplicaciones de la Universidad, calidad y disponibilidad de los datos, poca disponibilidad de los usuarios para la educación de requisitos y poca integración del sistema de información con los demás sistemas existentes en la institución.

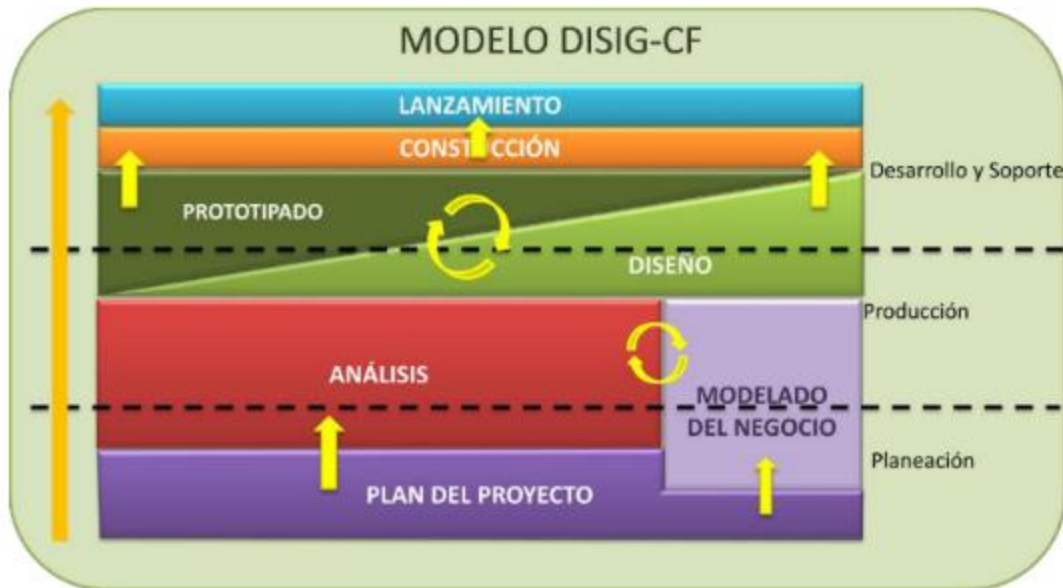
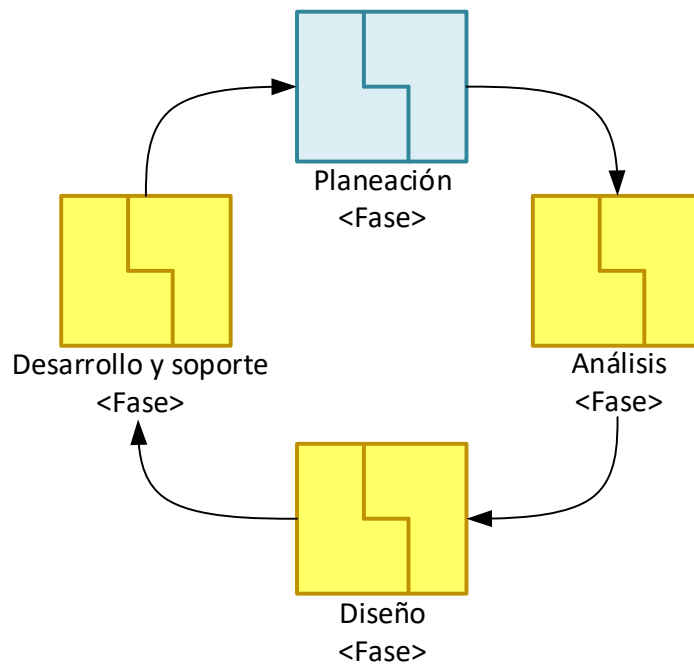


Figura 4-6. Método DISIG-CF  
Tomado de Quiceno *et al.* (2011), Vila-Ortega *et al.* (2011) y Vila *et al.* (2011)

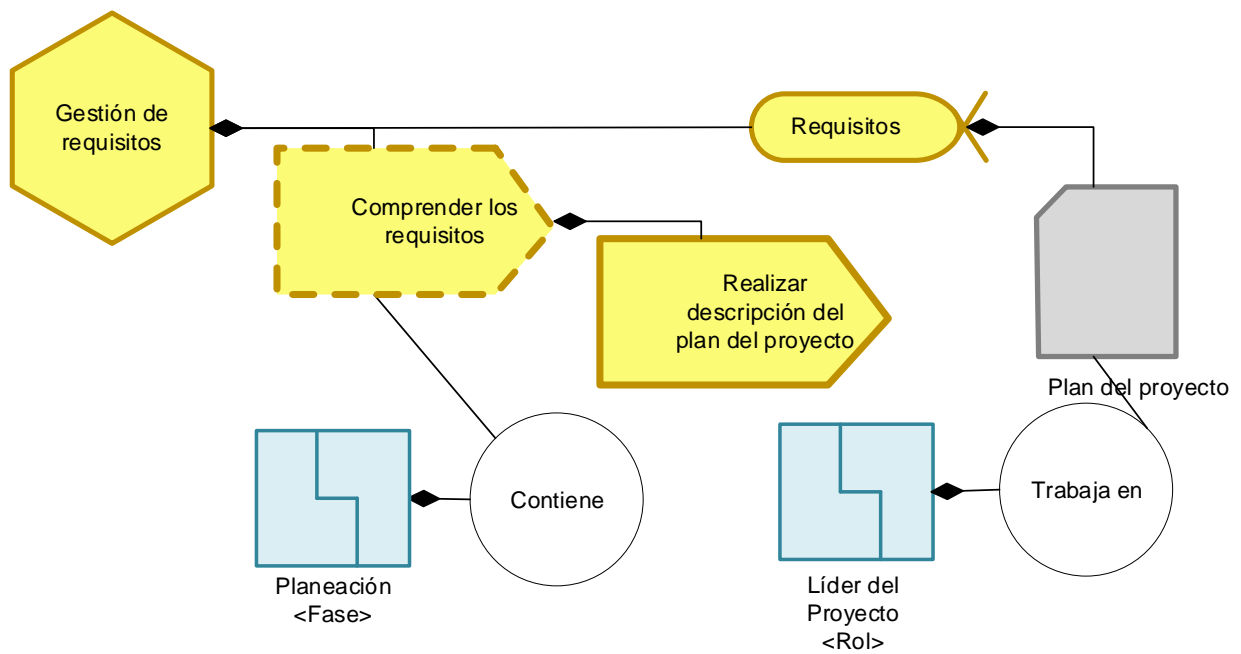


Figura 4-7. Roles del equipo de desarrollo del método DISIG-CF  
Tomado de Quiceno *et al.* (2011)



**Figura 4-8. Fases del método DISIG-CF**  
Elaboración propia

En las Figuras 4-9 a 4-12 se proponen las representaciones en el núcleo de la Esencia de *Semat* de los elementos del método DISIG-CF.



**Figura 4-9. Fase: Planeación del método DISIG-CF**  
Elaboración propia

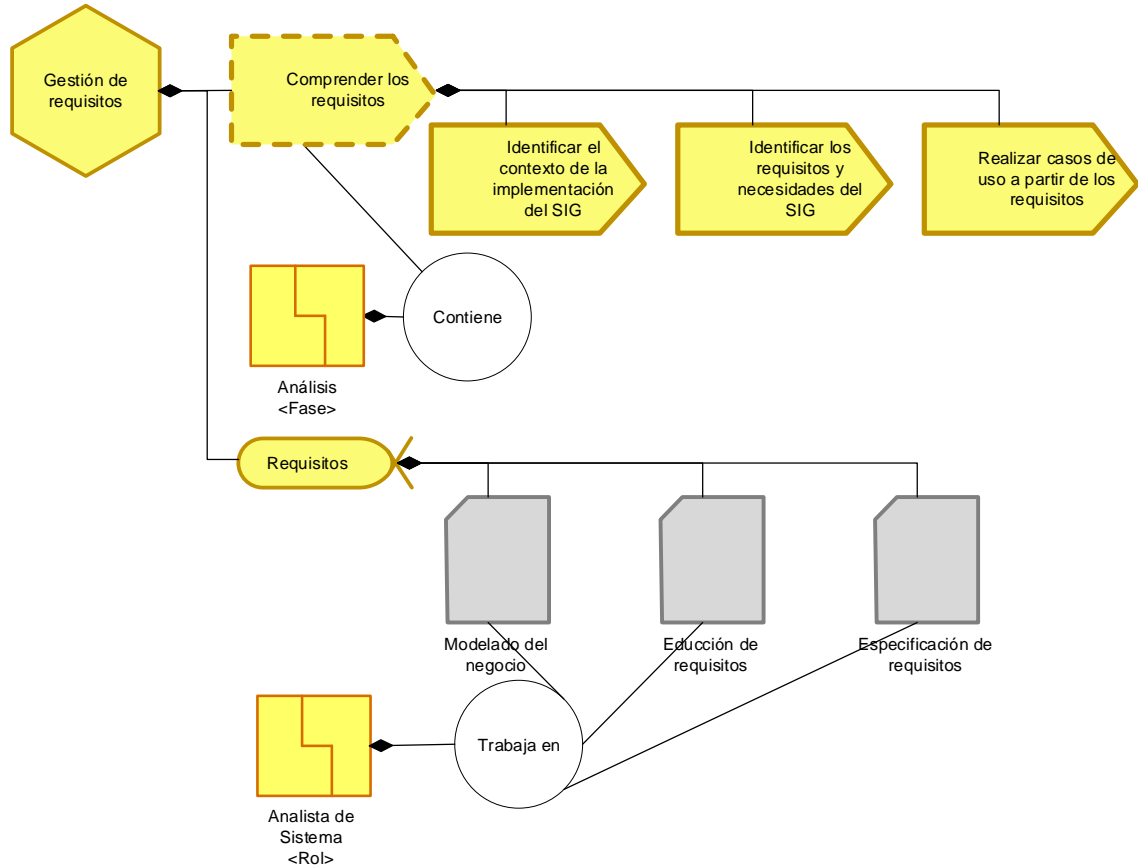


Figura 4-10. Fase: Análisis del método DISIG-CF  
Elaboración propia

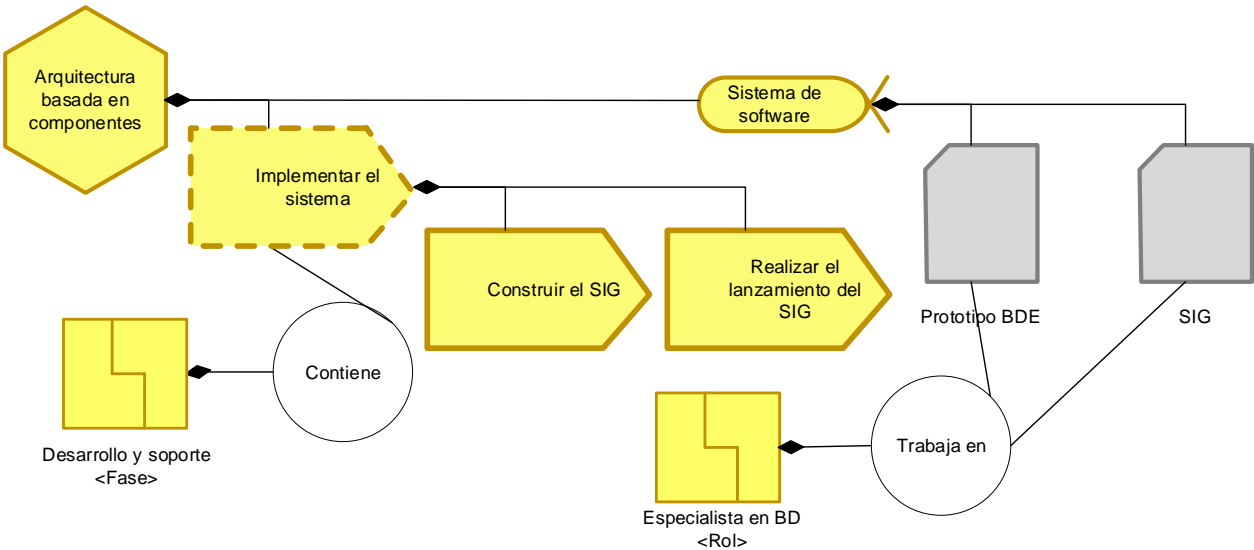
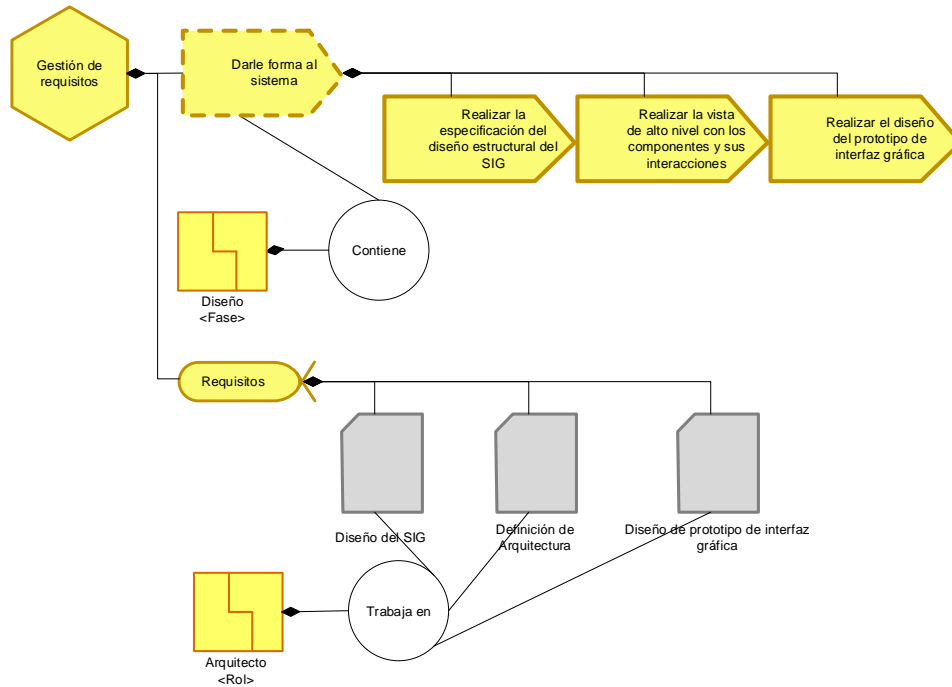
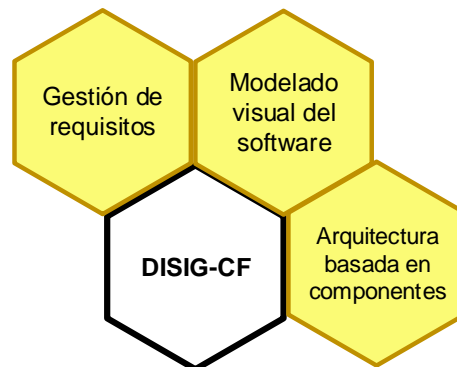


Figura 4-11. Fase: Desarrollo y soporte del método DISIG-CF  
Elaboración propia



**Figura 4-12. Fase: Diseño del método DISIG-CF  
Elaboración propia**

A pesar de que los autores identifican los problemas en el desarrollo de proyectos SIG, el método DISIG-CF carece de actividades y productos de trabajo propios, debido a que las prácticas del método DISIG-CF son similares a las existentes en RUP® (véase la Figura 4-13). Además, se presenta un listado de roles de un equipo de desarrollo de proyectos SIG que hace alusión a roles de los sistemas de información tradicional; sólo los roles analista de geoprocésamiento, ingeniero de información espacial e integrador de plataformas SIG tienen relación con el ciclo de desarrollo de un proyecto SIG. También, falta definir competencias que hagan alusión a roles y actividades propias del ciclo de desarrollo de los proyectos SIG.



**Figura 4-13. Buenas prácticas del método DISIG-CF  
Elaboración propia**

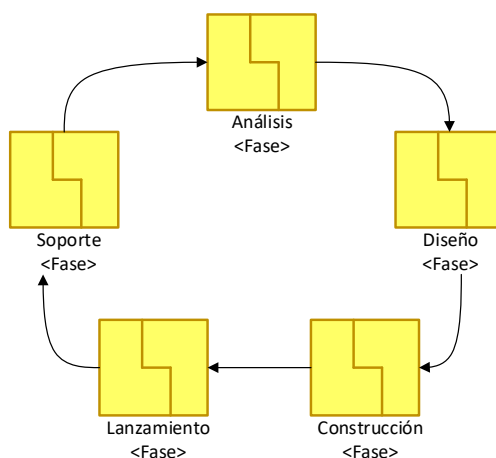


## 4.6 Método MDS-IGAC

MDS-IGAC es un método de desarrollo de software del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC, 2018). El método surge de la necesidad de fomentar el uso de la información geográfica para soportar toma de decisiones de problemas geográficos. MDS-IGAC se enfoca en el desarrollo funcional con énfasis en pruebas, gestión de proyecto, balance entre documentación y productos de software, interacción con el cliente y aprovechamiento del proyecto. El método MDS-IGAC incluye cinco fases.

- **Análisis:** se enfoca en identificar la información necesaria para definir el alcance, las funcionalidades y el diseño preliminar de la interfaz de usuario.
- **Diseño:** se enfoca en evaluar y refinar la información de la anterior fase para modelar, definir la arquitectura, diseñar la base de datos espacial y planear la forma de trabajo.
- **Construcción:** se enfoca en proponer la arquitectura y desarrollar las funcionalidades del sistema.
- **Lanzamiento:** se enfoca en planear los lanzamientos de las versiones de los productos del proyecto SIG y verificar la calidad y el cumplimiento de los requisitos.
- **Soporte:** se enfoca en garantizar el soporte del sistema a los geousuarios finales para facilitar el uso y la administración.

Durango y Zapata (2015) proponen la representación de las fases del método MDS-IGAC: análisis, diseño, construcción, lanzamiento y soporte (véase la Figura 4-14).



**Figura 4-14. Fases del método MDS-IGAC**  
Tomado de Durango y Zapata (2015)

En las Figuras 4-15 a 4-19 se proponen las representaciones en el núcleo de la Esencia de *Semat* de los elementos del método MDS-IGAC.

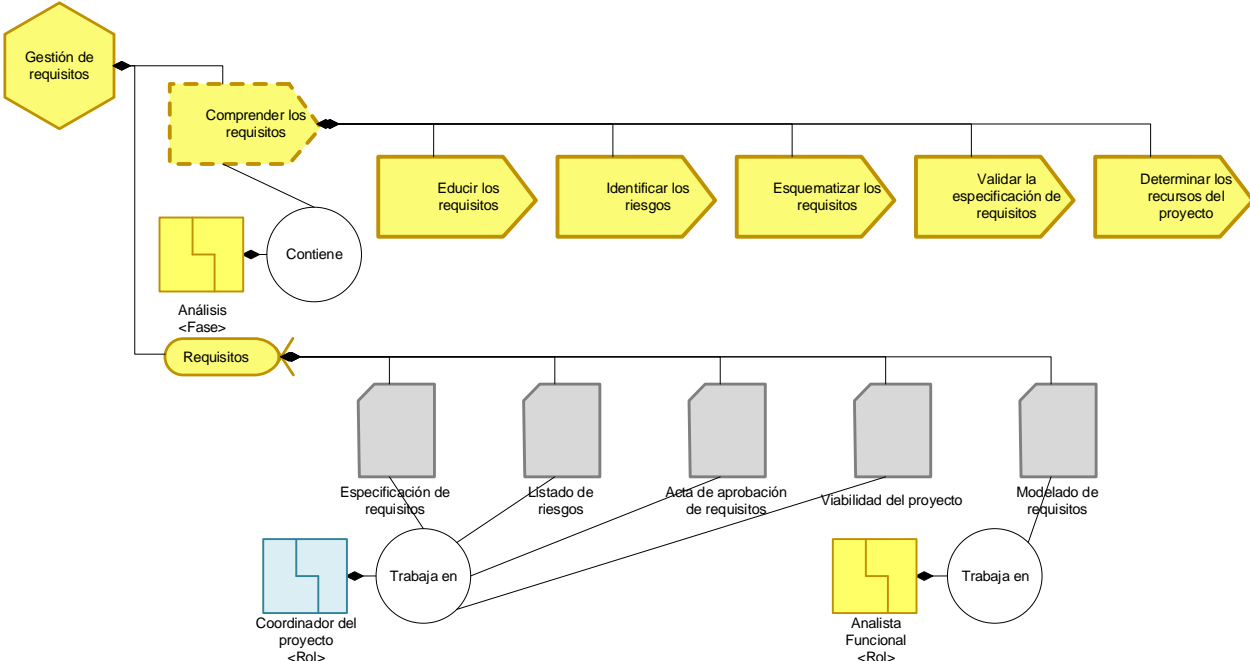


Figura 4-15. Fase: Análisis del método MDS-IGAC  
Elaboración propia

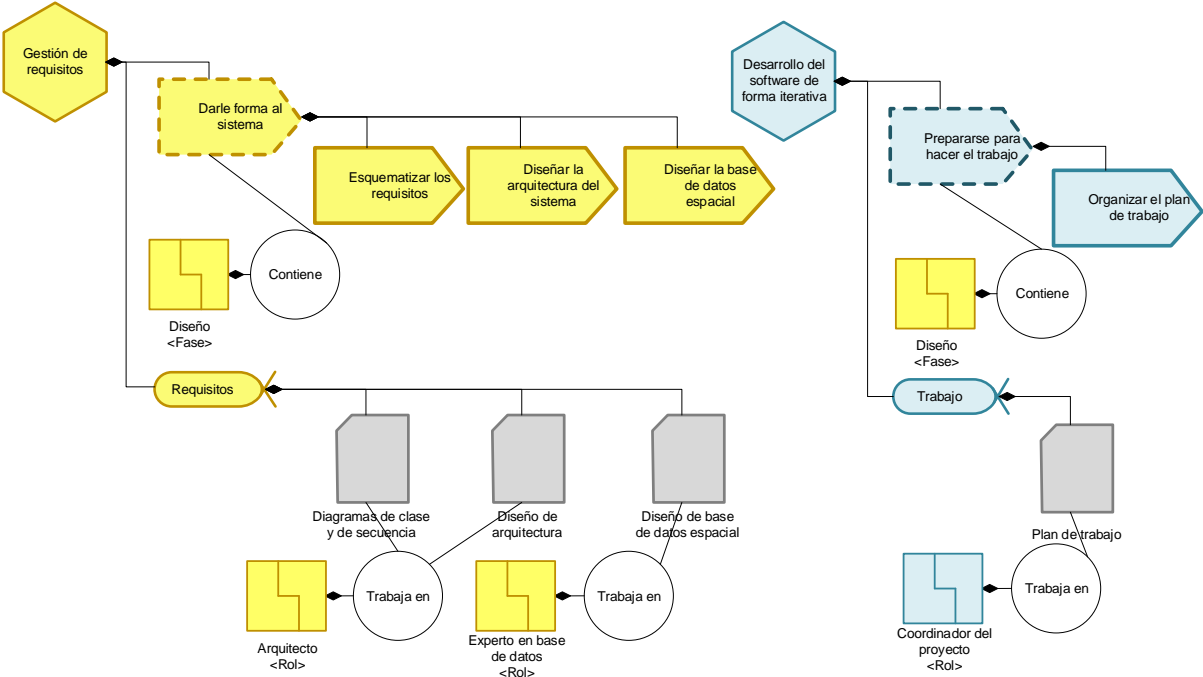


Figura 4-16. Fase: Diseño del método MDS-IGAC  
Elaboración propia

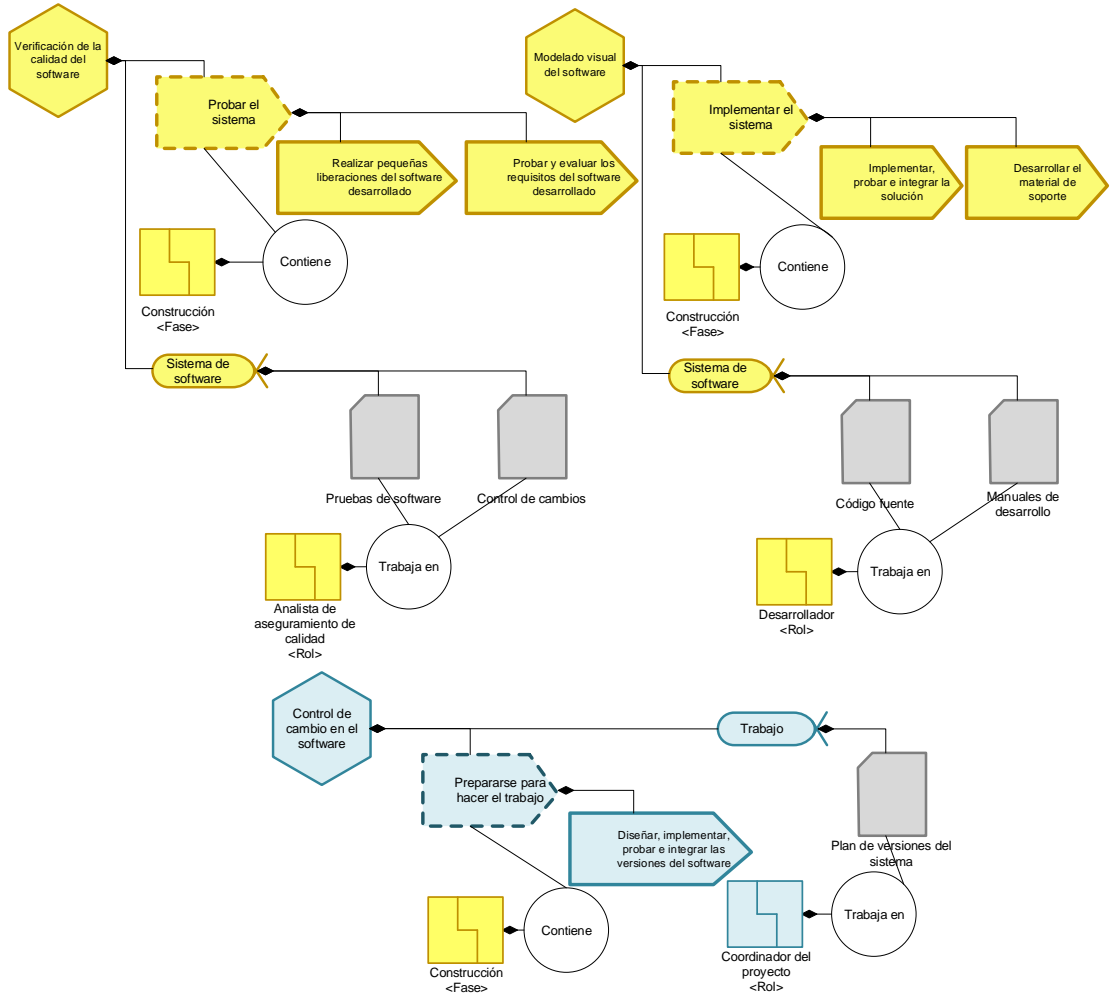


Figura 4-17. Fase: Construcción del método MDS-IGAC  
Elaboración propia

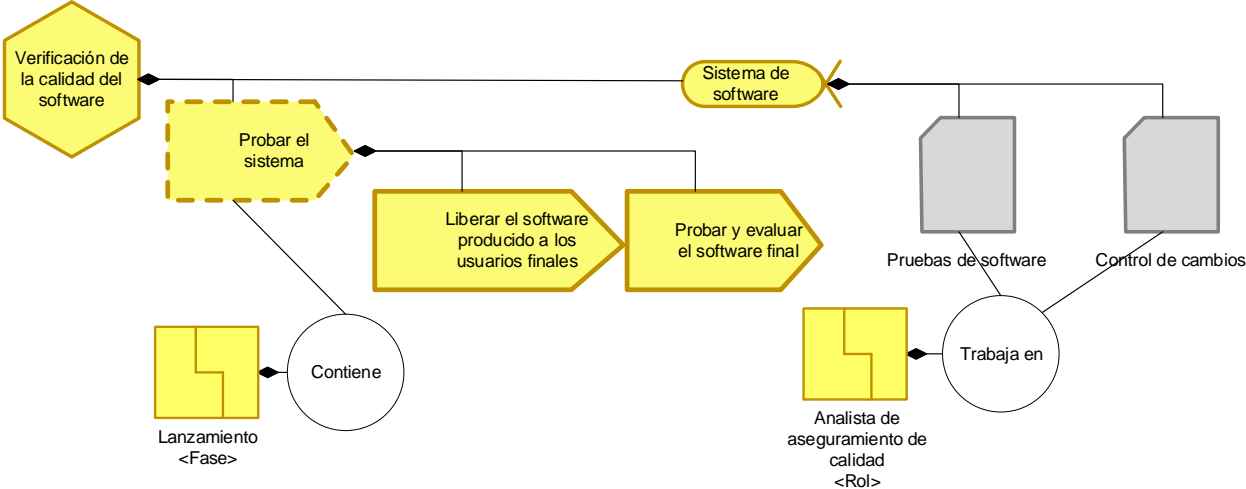
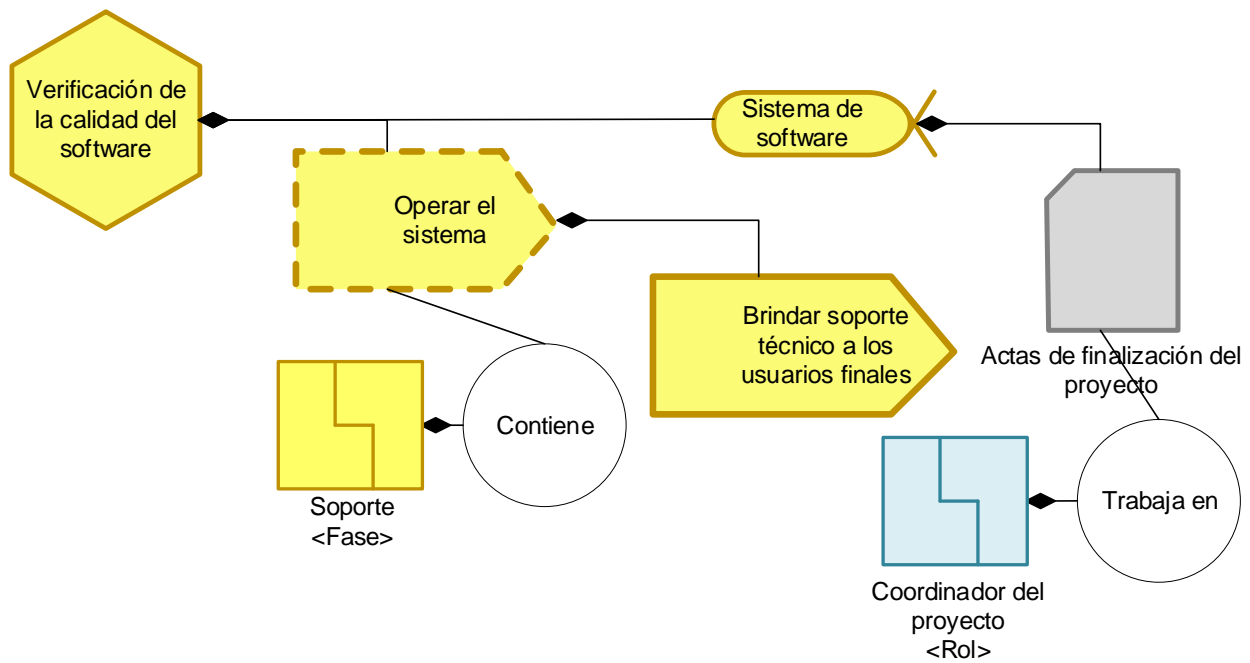


Figura 4-18. Fase: Lanzamiento del método MDS-IGAC  
Elaboración propia



**Figura 4-19. Fase: Soporte del método MDS-IGAC**  
Elaboración propia

En las representaciones se puede observar que las fases, actividades y productos de trabajo son similares a las existentes en RUP®; la única diferencia radica en la fase diseño donde se hace alusión al modelado de la base de datos espacial (Durango y Zapata, 2015). Por otro lado, los autores presentan un listado de roles asociados con el ciclo de desarrollo del método MDS-IGAC (véase la Figura 4-20) con descripción, relación con las fases y con los productos de trabajo, habilidades de los roles y asignación de actividades. Sin embargo, se observa que estos roles tienen nombres diferentes, pero cumplen las mismas funciones de roles existentes en los métodos de desarrollo de sistemas de información tradicional. Además, faltan competencias específicas de los roles para generar los productos geoinformáticos. En conclusión, el método MDS-IGAC se limita a proponer fases, actividades, productos de trabajo y roles que corresponden a las buenas prácticas de RUP®, faltando identificar buenas prácticas propias para desarrollar proyectos SIG e identificar las competencias y niveles de competencia requeridas para desarrollar actividades específicas de los proyectos SIG (véase la Figura 4-21).

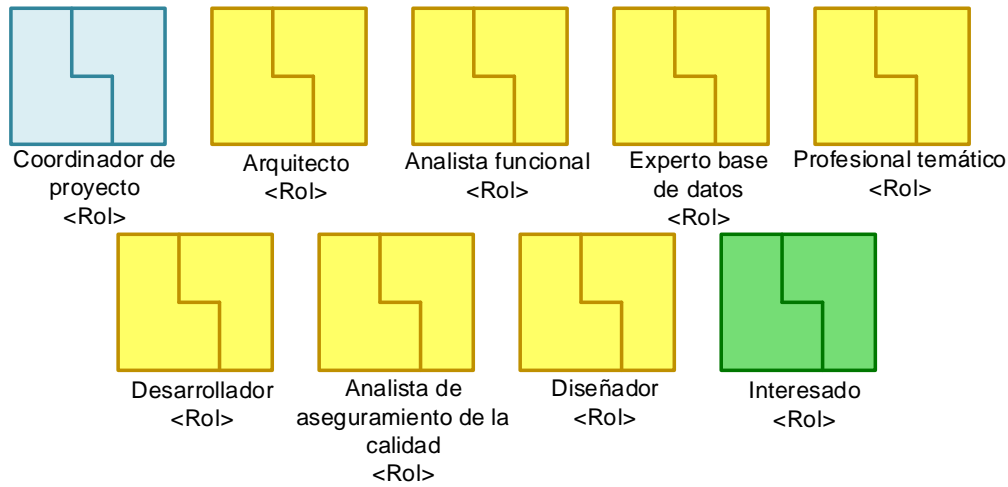


Figura 4-20. Roles del equipo de desarrollo del método MDS-IGAC  
Elaboración propia

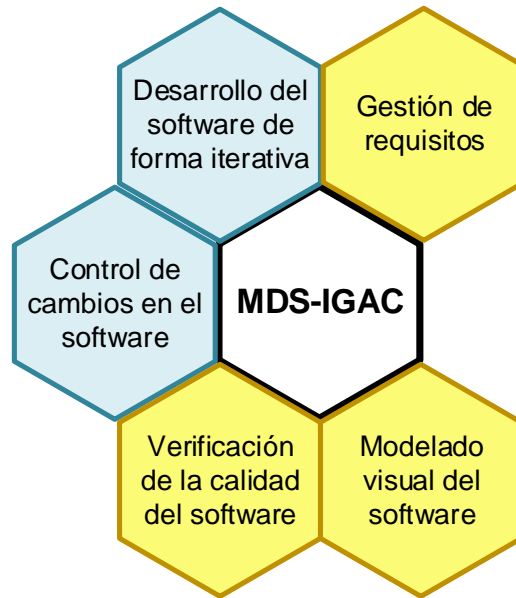


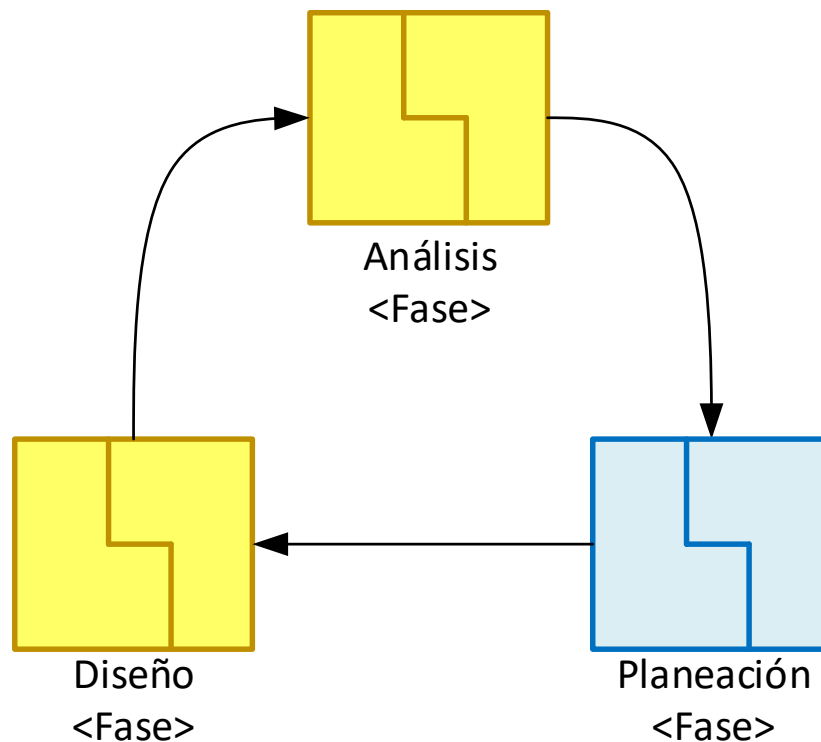
Figura 4-21. Buenas prácticas del método MDS-IGAC  
Tomado de Durango y Zapata (2015)

#### 4.7 Método propuesto por la organización ESRI

*Environmental Systems Research Institute* (ESRI) se enfoca en apoyar a instituciones y a geousuarios en la implementación de buenas prácticas en el desarrollo de proyectos SIG con las herramientas del software ArcGIS®, tales como: buenas prácticas en configuración y seguridad, buenas prácticas en implementación de arquitecturas, buenas prácticas en infraestructura de datos espaciales, buenas prácticas en edición y distribución de geodatos y buenas prácticas en modelado de bases de datos espaciales, entre otros (ESRI, 2018). Así, el método propuesto por

la organización ESRI se apoya en el método propuesto de Tomlinson y en el método propuesto por la organización URISA (*Urban and Regional Information Systems Association*) para las fases del ciclo de desarrollo de proyectos SIG (Zeiler; 1999; MacDonald, 2001; O’Flaherty, 2005; Mäkelä, 2012).

Tomlinson (2007) presenta un método para planificar sistemas de información geográfica que se dirige a dos equipos de desarrollo de proyectos SIG: cargos que dirigen el SIG y gerentes técnicos que implementan el SIG. El propósito del método es mejorar la brecha de comunicación entre los dos equipos de desarrollo de proyectos SIG. Además, el método se enfoca en describir y asignar prioridades a las necesidades de la organización y organizar las estrategias de almacenamiento y transformación del geodato mediante herramientas de análisis espaciales. El método incluye diez etapas que se pueden categorizar en tres fases: análisis, planeación y diseño (véase la Figura 4-22):



**Figura 4-22. Fases del método propuesto por la organización ESRI**  
Elaboración propia

En las Figuras 4-23 a 4-26 se proponen las representaciones en el núcleo de la Esencia de *Semat* de estos elementos del ciclo de desarrollo del método propuesto por la organización ESRI.

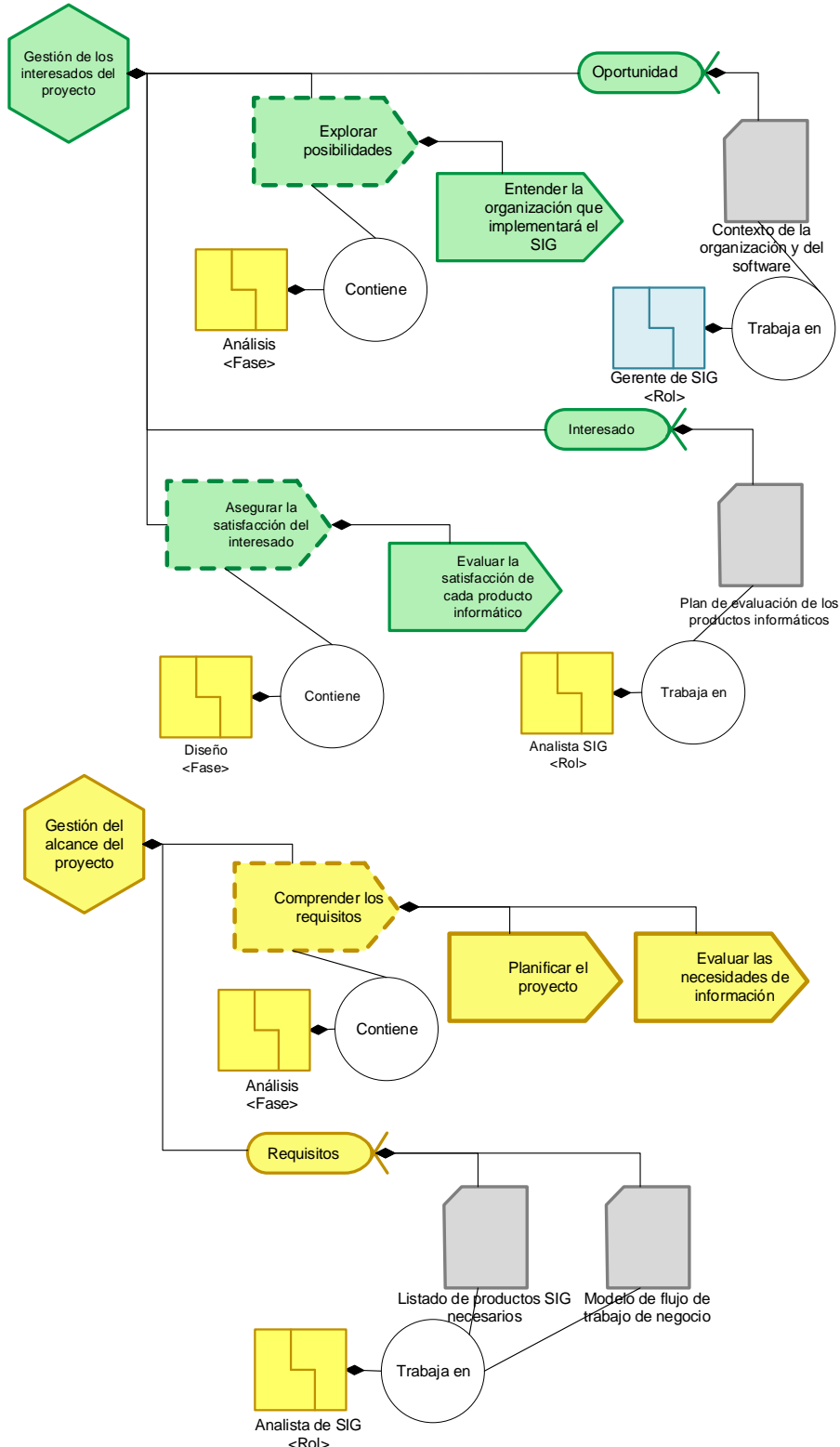


Figura 4-23. Fase: Análisis del método propuesto por la organización ESRI  
Elaboración propia

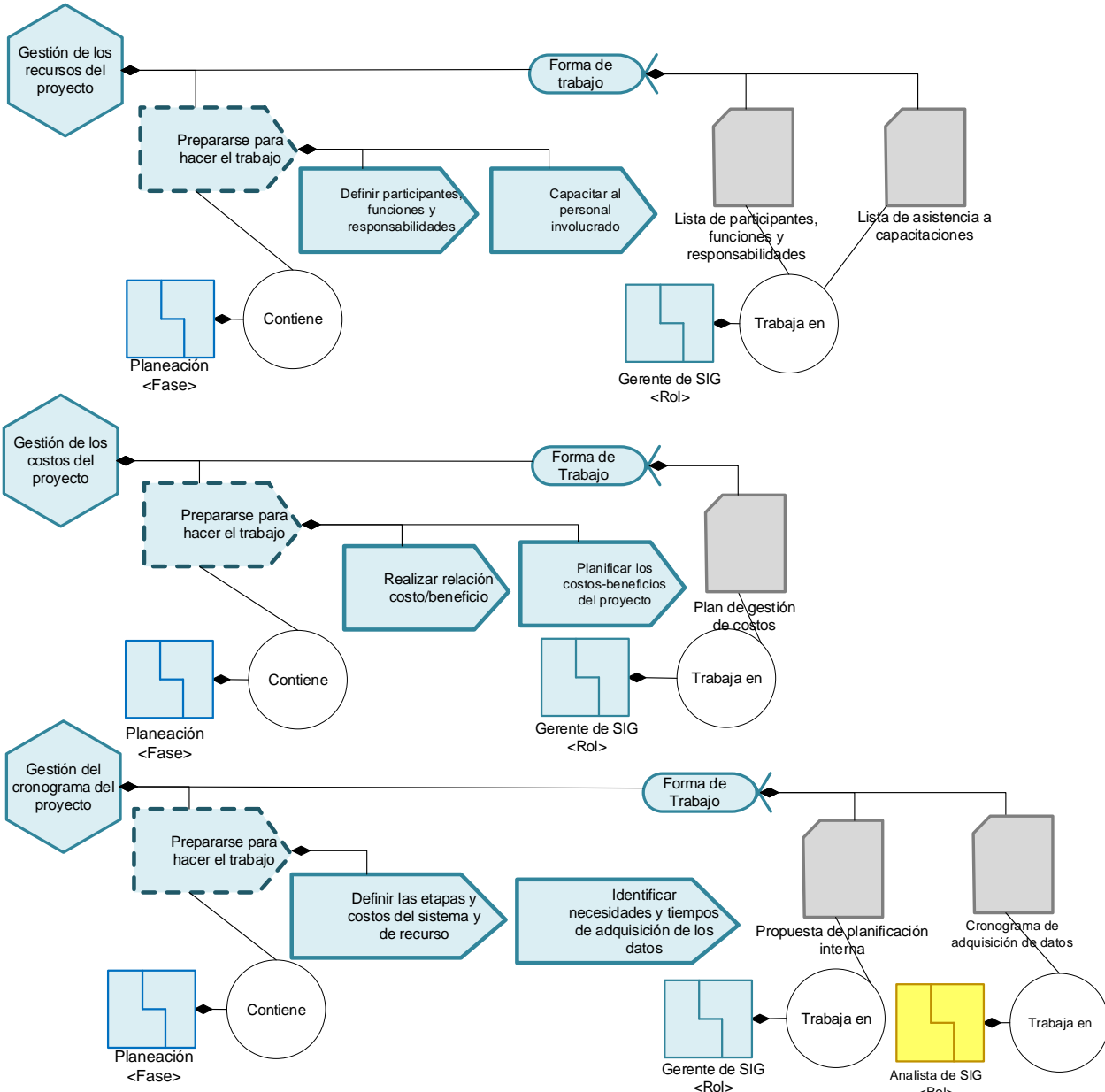


Figura 4-24. Fase: Planeación del método propuesto por la organización ESRI (1/2)  
Elaboración propia



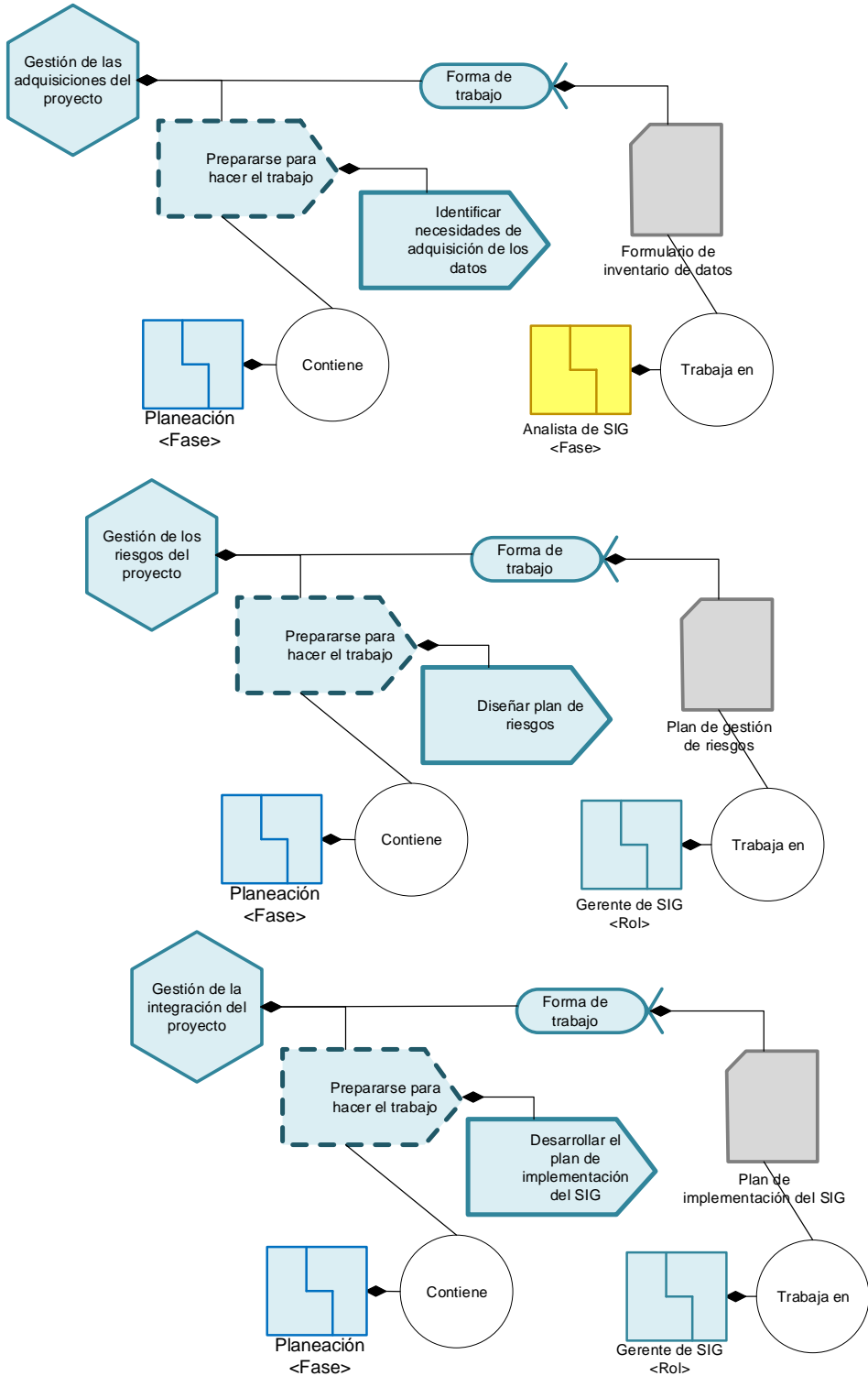


Figura 4-25. Fase: Planeación del método propuesto por la organización ESRI (2/2)  
Elaboración propia

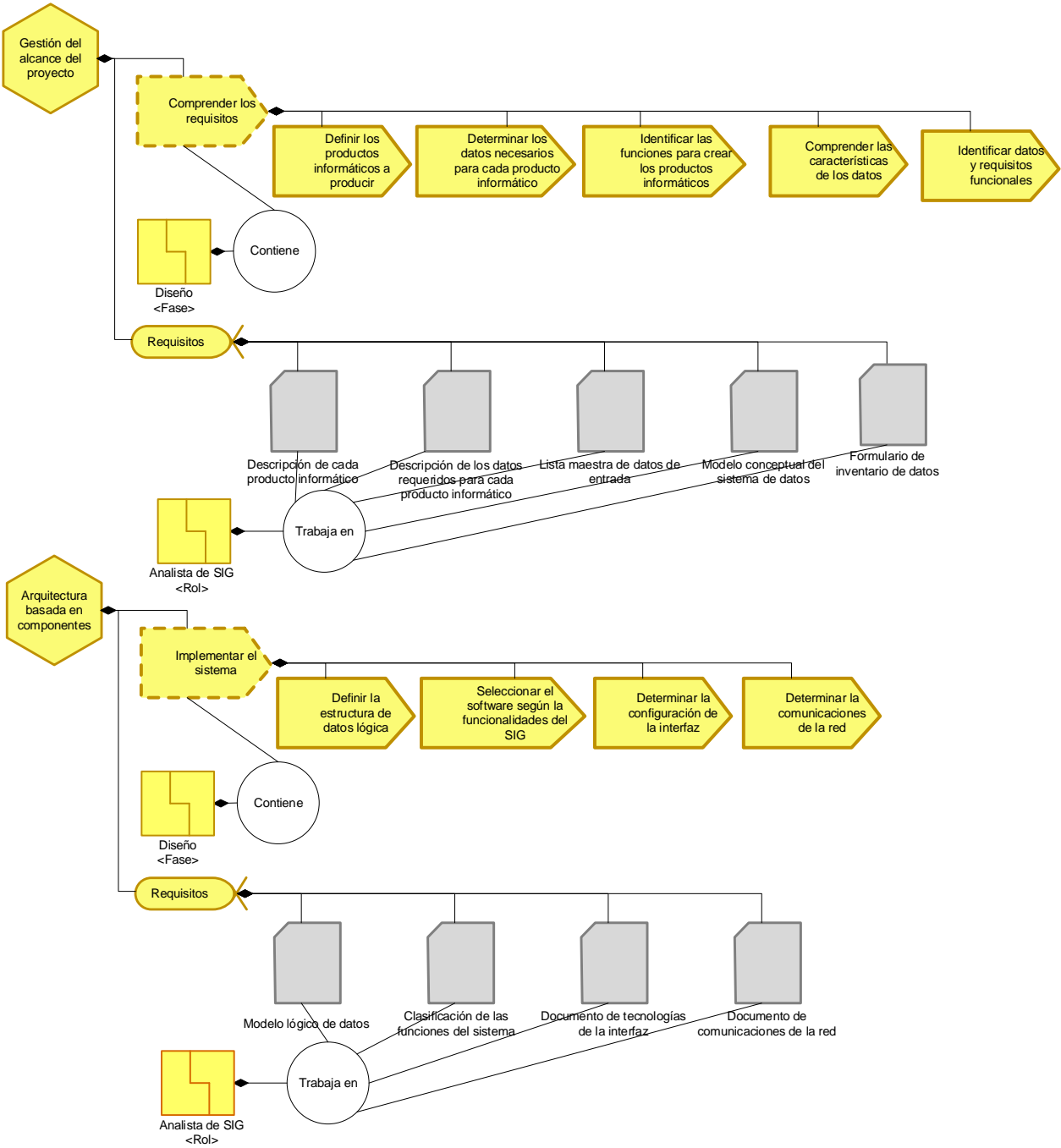
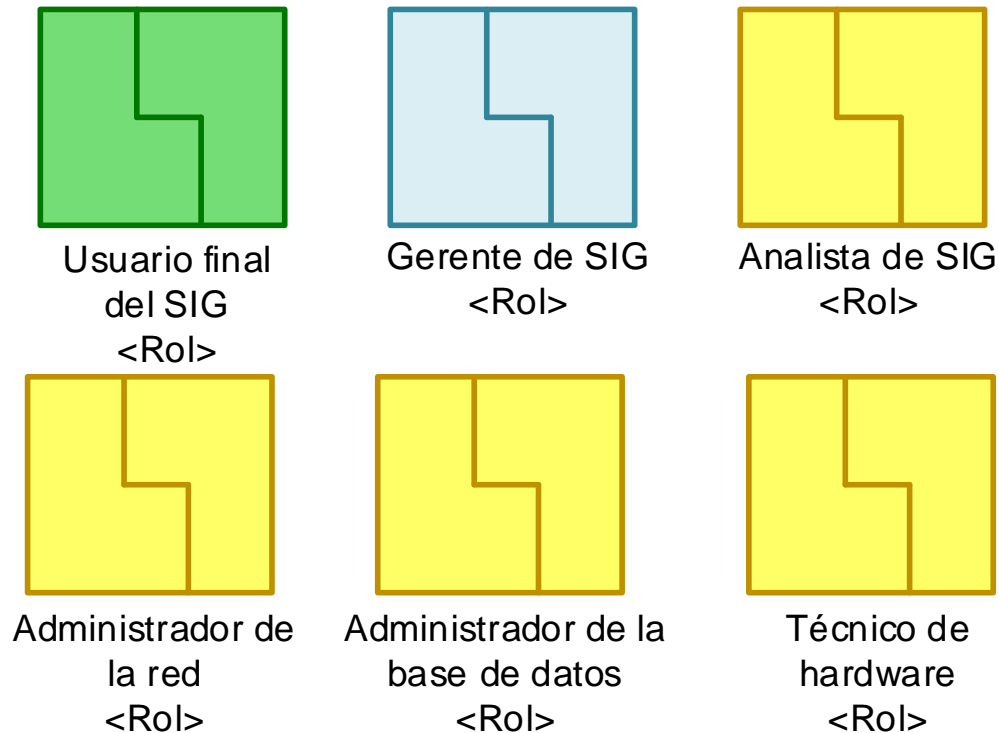


Figura 4-26. Fase: Diseño del método propuesto por la organización ESRI  
Elaboración propia

El autor considera que el equipo de desarrollo SIG es un elemento de gran impacto en la implementación de los proyectos y propone un listado de roles: usuario final del SIG, gerente de SIG, analista de SIG, administrador de la red, administrador de la base de datos y técnico de hardware (véase la Figura 4-27).



**Figura 4-27. Roles del equipo de desarrollo del método propuesto por la organización ESRI**  
Elaboración propia

En las representaciones se puede observar que las buenas prácticas del método propuesto por la organización ESRI son similares a las existentes en PMBOK® sólo una buena práctica se relaciona con RUP® (véase la Figura 4-28), evidenciando que no son buenas prácticas propias para el desarrollo de proyectos SIG. En relación con los roles se observa que se incluyen nombres y funciones similares a los roles de RUP®; sólo se encuentra una función diferente: producción de mapas comerciales del SIG. Según lo anterior, falta considerar las competencias según el rol que ocupan en el equipo de desarrollo de proyectos SIG. También, se observa que el método se enfoca en las fases de análisis, planeación y diseño; para las otras fases se utilizan procesos de buenas prácticas específicas para herramientas de la familia de software de ESRI (Zeiler; 1999; MacDonald, 2001; O’Flaherty, 2005; Mäkelä, 2012).

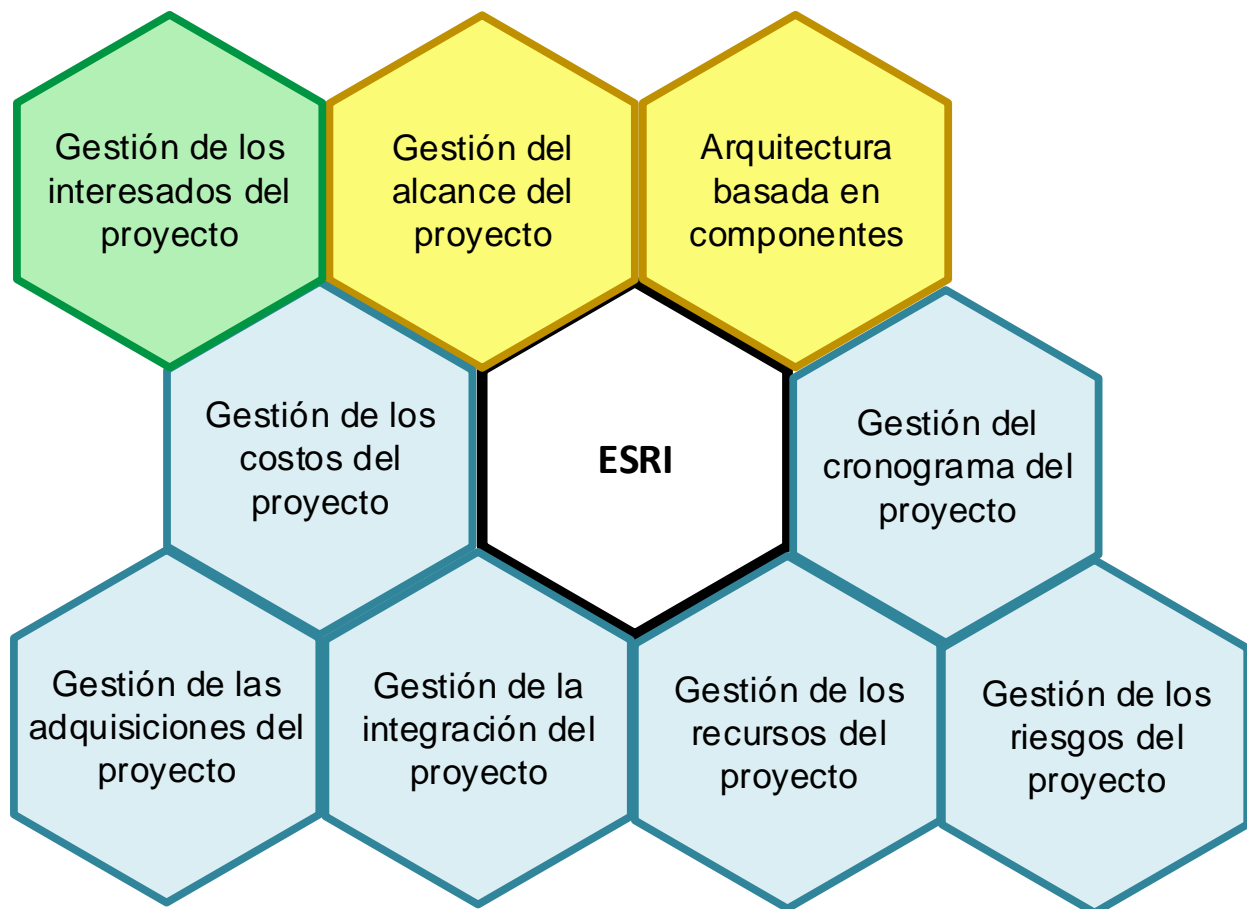
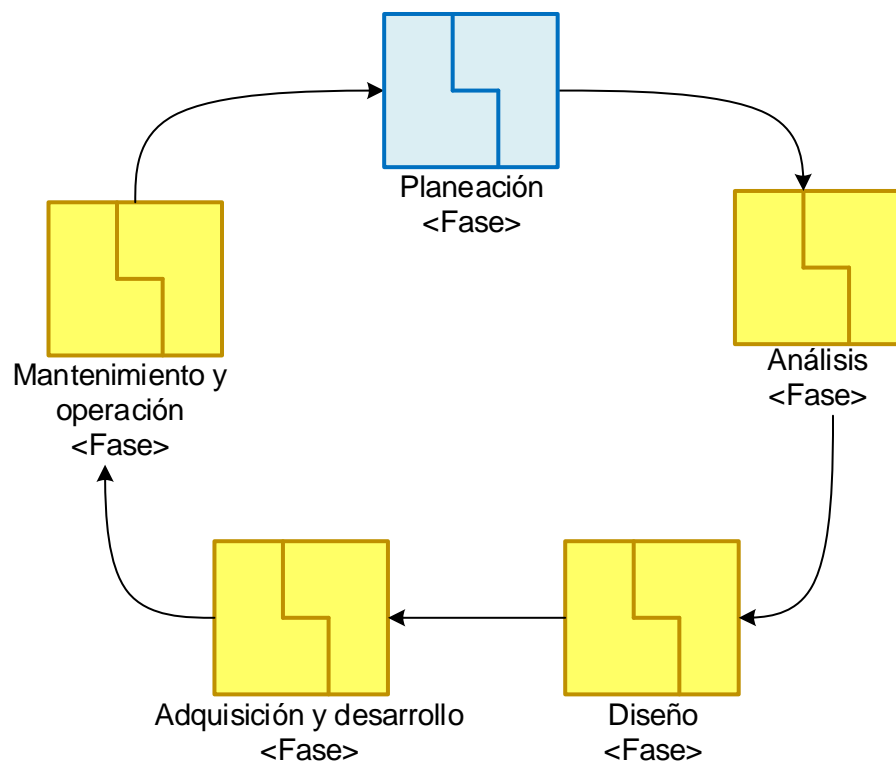


Figura 4-28. Buenas prácticas del método propuesto por la organización ESRI  
Elaboración propia

#### 4.8 Método propuesto por la organización URISA

Somers (1998, 2001, 2009) propone un método para implementar y administrar sistemas de información geográfica de la empresa *Urban and Regional Information Systems Association*. La autora indica que los equipos de desarrollo requieren conocimiento y competencias para solucionar problemas geoinformáticos, aplicar tecnologías SIG y gestionar proyectos SIG. Por ello, la autora propone una estructura para la coordinación de los proyectos SIG: comité ejecutivo SIG, comité técnico SIG, grupo de usuarios SIG, coordinador o administrador del SIG y personal de soporte del SIG. Además, se proponen unas competencias para el equipo de desarrollo: comunicación, liderazgo, soporte, administración y control. Por otro lado, se considera que los aspectos fuertes del ciclo de desarrollo son la identificación, organización, gestión y administración de los componentes del SIG (Somers, 1998, 2001, 2009; URISA, 2000a, 2000b, 2010, 2014). Por lo anterior, el método que se propone incluye cinco fases (véase la Figura 4-29):

- **Planeación:** se define el alcance y el plan general de desarrollo del SIG.
- **Análisis:** se determinan los requisitos de los geousuarios.
- **Diseño:** se integran los requisitos y se desarrollan las especificaciones SIG.
- **Adquisición y desarrollo:** se adquieren los elementos de software, hardware y geodatos para desarrollar el SIG.
- **Mantenimiento y operación:** se pone en funcionamiento el SIG y se establecen las políticas de mantenimiento y operación del SIG.



**Figura 4-29. Fases del método propuesto por la organización URISA**  
Elaboración propia

En las Figuras 4-30 a 4-34 se proponen las representaciones en el núcleo de la Esencia de *Semat* de los elementos del ciclo de desarrollo del método propuesto por la organización URISA.

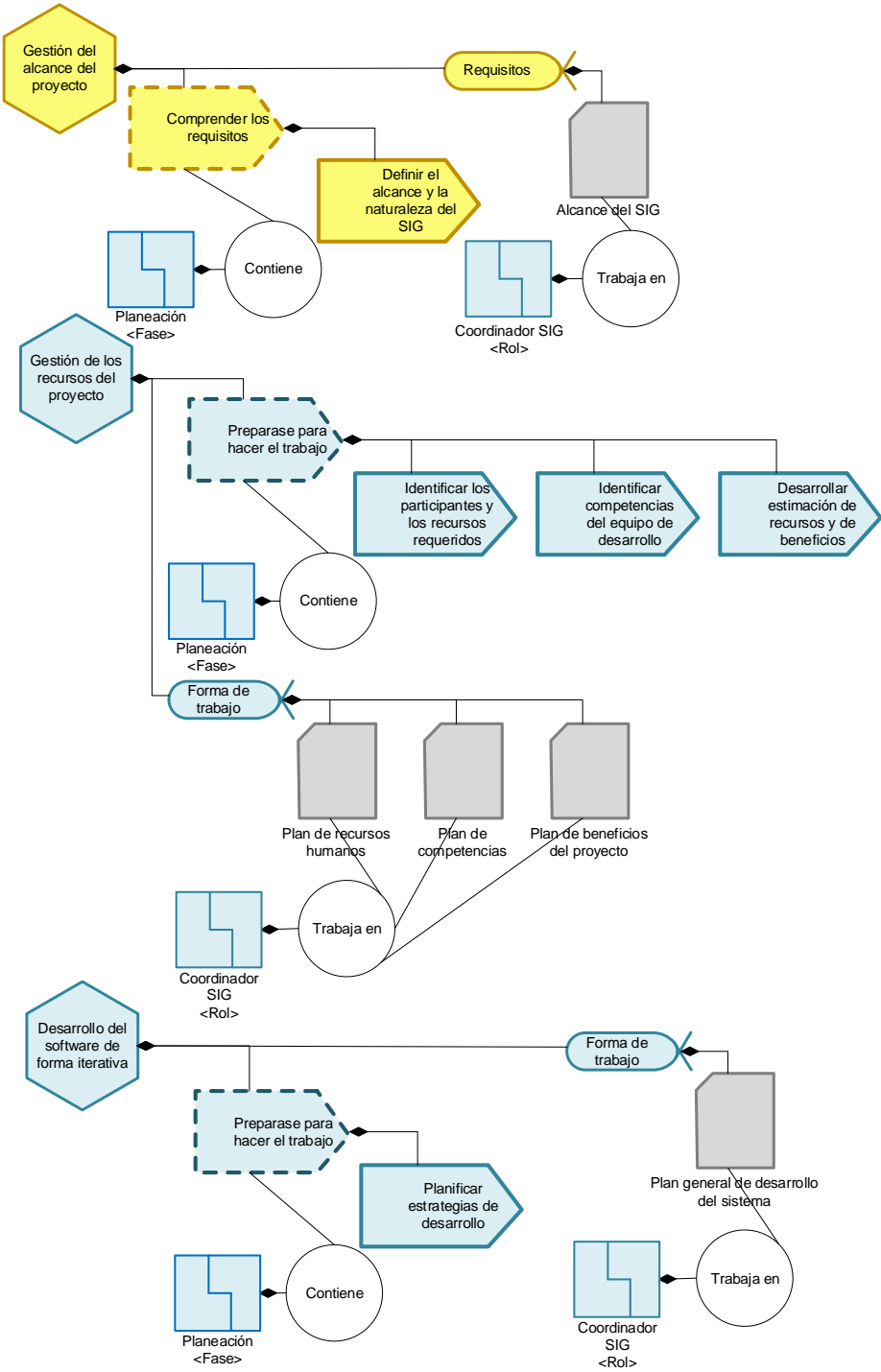


Figura 4-30. Fase: Planeación del método propuesto por la organización URISA  
Elaboración propia

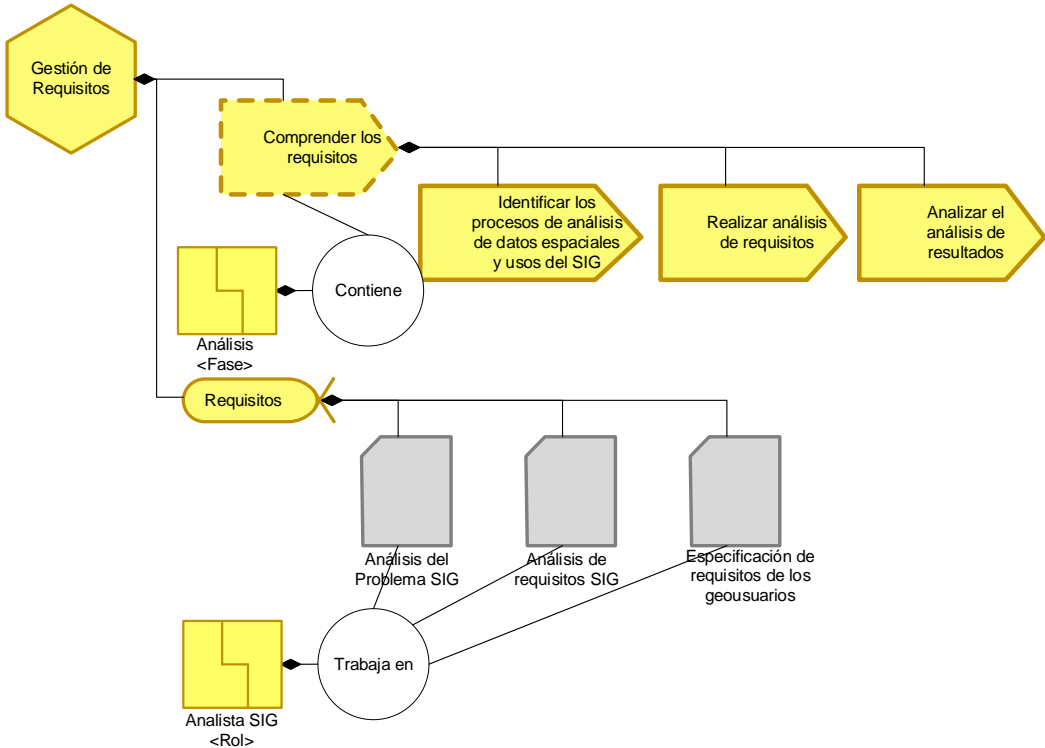


Figura 4-31. Fase: Análisis del método propuesto por la organización URISA  
Elaboración propia

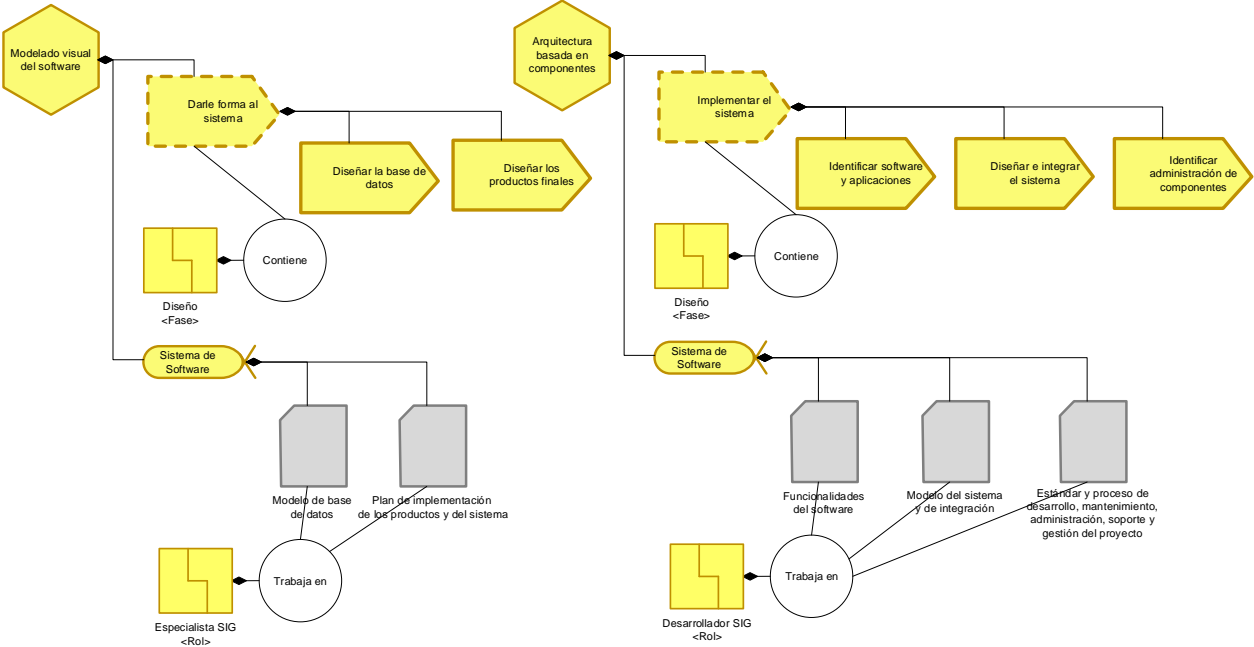


Figura 4-32. Fase: Diseño del método propuesto por la organización URISA  
Elaboración propia

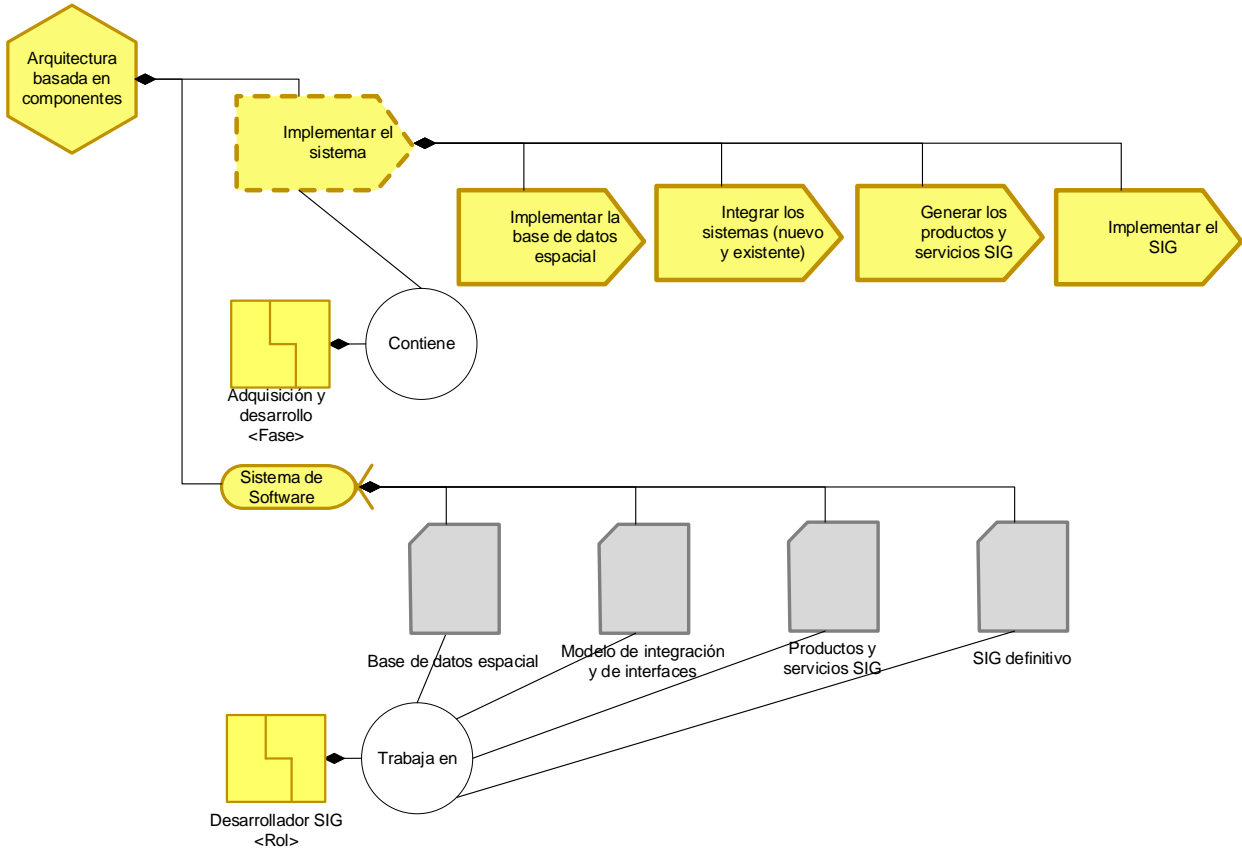


Figura 4-33. Fase: Adquisición y desarrollo del método propuesto por la organización URISA  
Elaboración propia

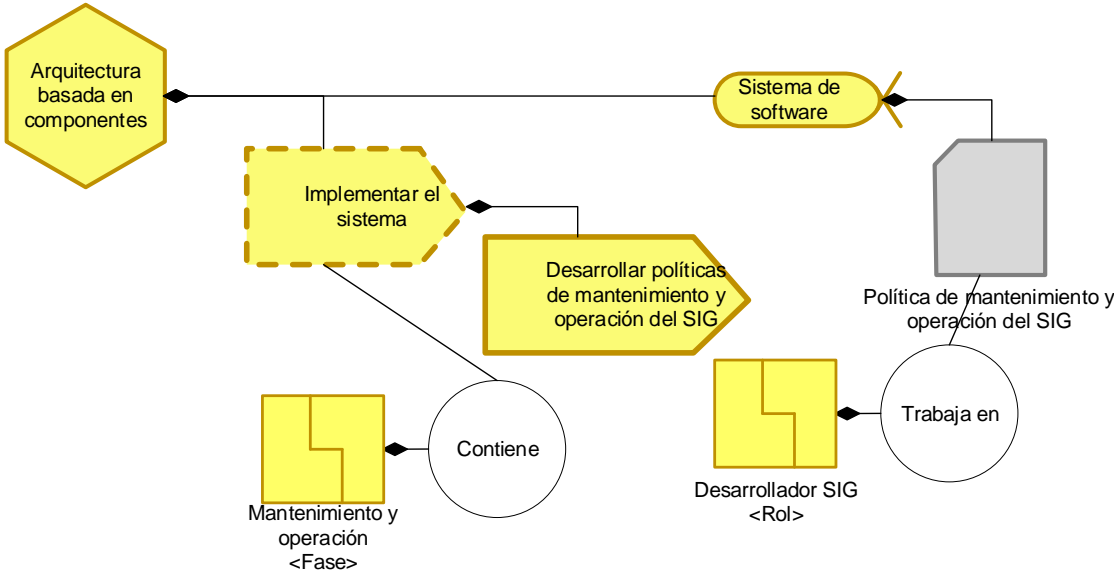


Figura 4-34. Fase: Mantenimiento y operación del método propuesto por la organización URISA  
Elaboración propia



En las representaciones se puede observar que las fases y las actividades son similares a las existentes en PMBOK® y algunos productos de trabajo tienen nombres que hacen alusión a los proyectos SIG; sin embargo, las funcionalidades son similares a los existentes en RUP® (véase la Figura 4-35). Según lo anterior, se evidencia que el método propuesto por la organización URISA carece de buenas prácticas propias de los proyectos SIG y en él se asigna poca importancia a la complejidad del geodato.



**Figura 4-35. Buenas prácticas del método propuesto por la organización URISA**  
Elaboración propia

Por otro lado, la autora presenta una estructura organizacional y las competencias del equipo de desarrollo basada en el modelo de competencias de un equipo tecnológico (GTCM por su sigla en inglés). GTCM se utiliza para describir las competencias con una pirámide de seis niveles: personales, académicas, del lugar de trabajo, técnicas de la industria general, técnicas de la industria geoespacial y específicas de la ocupación (véase la Figura 2-10). Además, la autora propone un conjunto de roles geoinformáticos: gerente SIG, director SIG, coordinador SIG, especialista SIG, analista SIG, técnico SIG y desarrollador SIG que cumplen las mismas funciones de un equipo de desarrollo de sistemas de información tradicional (véase la Figura 4-36), evidenciando que hay un desconocimiento de las competencias propias de los geousuarios según los roles que ocupan en el equipo de desarrollo.

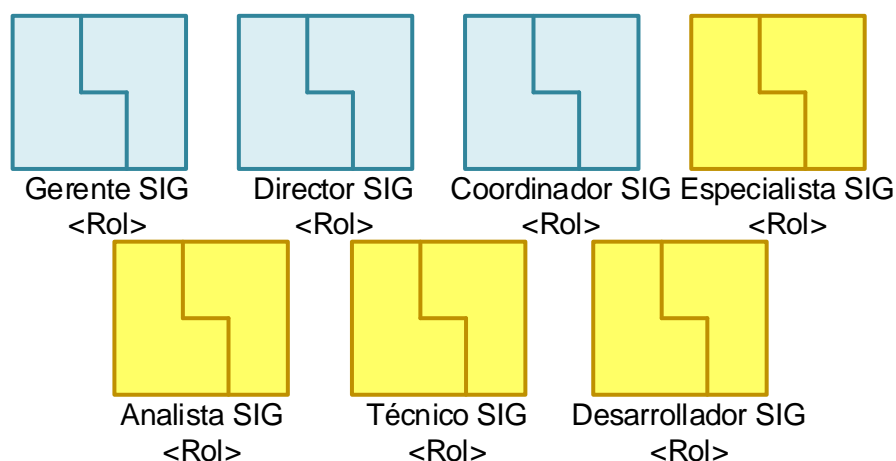


Figura 4-36. Roles del equipo de desarrollo del método propuesto por la organización URISA  
Elaboración propia

### 4.9 Método propuesto por la organización SARA

El método propuesto por la organización SARA (*State Archives and Records Administration*) se enfoca en el desarrollo del geodato (definición, modelado, documentación, adquisición, almacenamiento, mantenimiento y custodia). El método incluye un ciclo de desarrollo general: análisis, diseño, construcción, integración, desarrollo y mantenimiento y uso (véase la Figura 4-37). Además, incluye un ciclo de desarrollo interno para el desarrollo de la base de datos espacial con las siguientes actividades: identificar los datos según la evaluación de necesidades, incluir los datos en el modelo de datos, crear los metadatos, recopilar e ingresar los datos en la base de datos, actualizar y mantener la base de datos y controlar la calidad en el registro de los geodatos. Según los autores, los proyectos SIG tienen problemas con la gestión del personal, la estimación de costos, la identificación de riesgos e incertidumbre y los cambios de los objetivos durante el desarrollo del proyecto SIG. Para mitigar estos problemas se propone un conjunto de procedimientos para evaluar fuentes de datos potenciales, desarrollar aplicaciones SIG y planear el mantenimiento de la base de datos espacial y del sistema SIG. También, se incluyen los pasos técnicos para crear el proyecto SIG y para definir tareas de mantenimiento y políticas de uso. Así, se presentan once actividades (véase la Figura 4-38) agrupadas en las fases del método (véase la Figura 4-37; Becker *et al.*, 1995a, 1995b, 1995c).

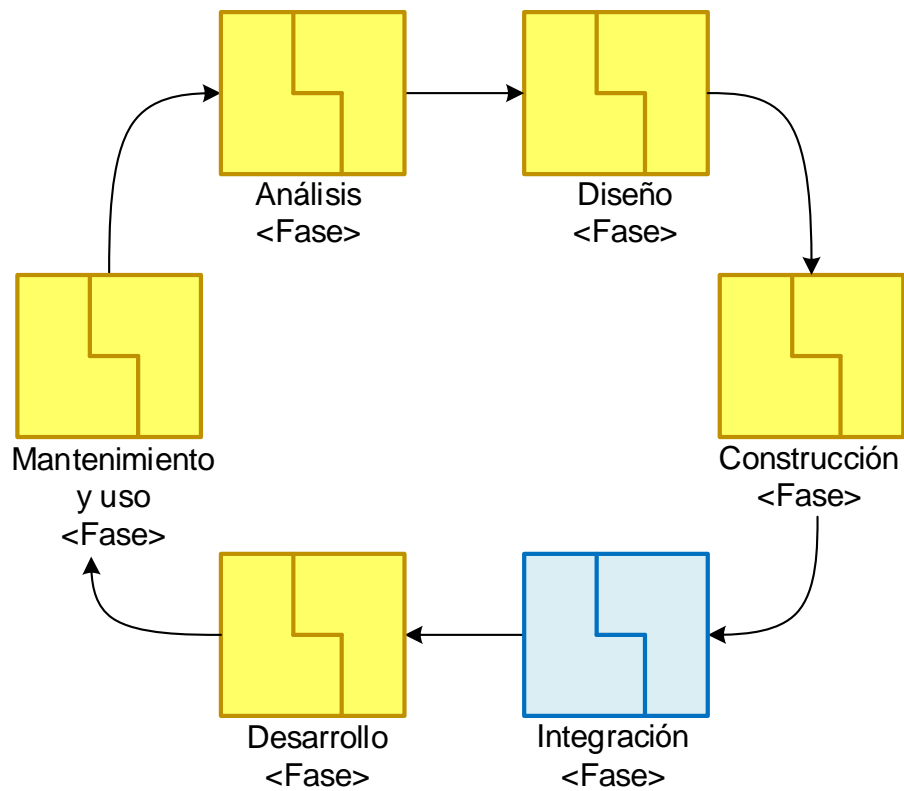


Figura 4-37. Fases del método propuesto por la organización SARA  
Elaboración propia

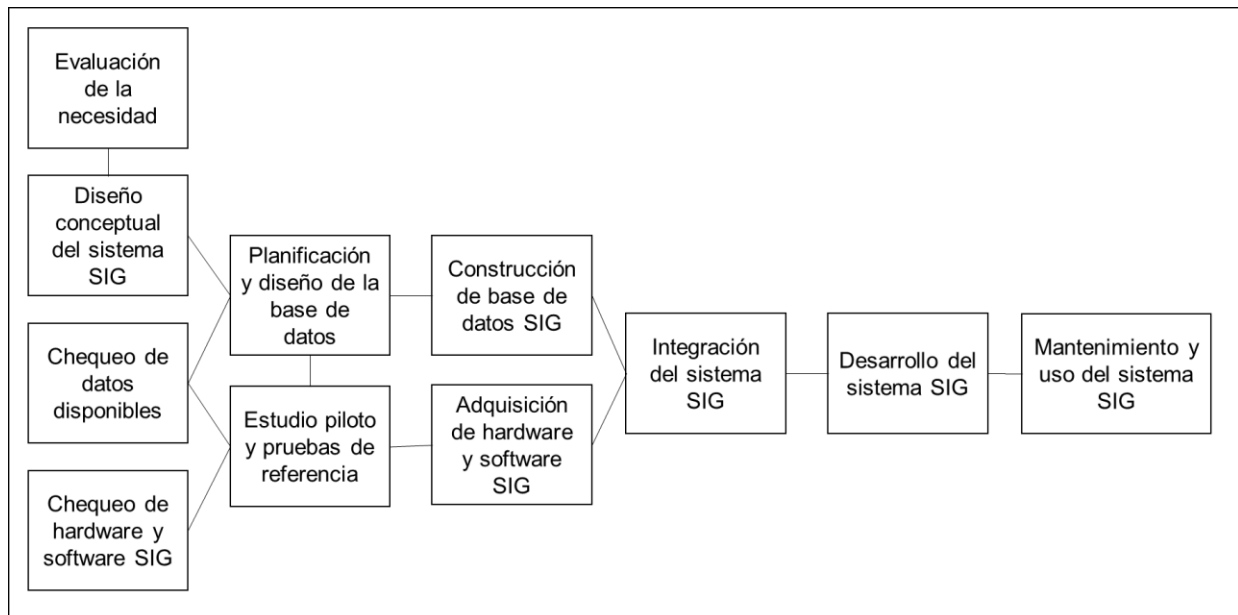


Figura 4-38. Proceso de desarrollo SIG del método propuesto por la organización SARA  
Traducido de Becker *et al.* (1995a)

En las Figuras 4-39 a 4-44 se proponen las representaciones en el núcleo de la Esencia de *Semat* de los elementos del ciclo de desarrollo del método propuesto por la organización SARA.

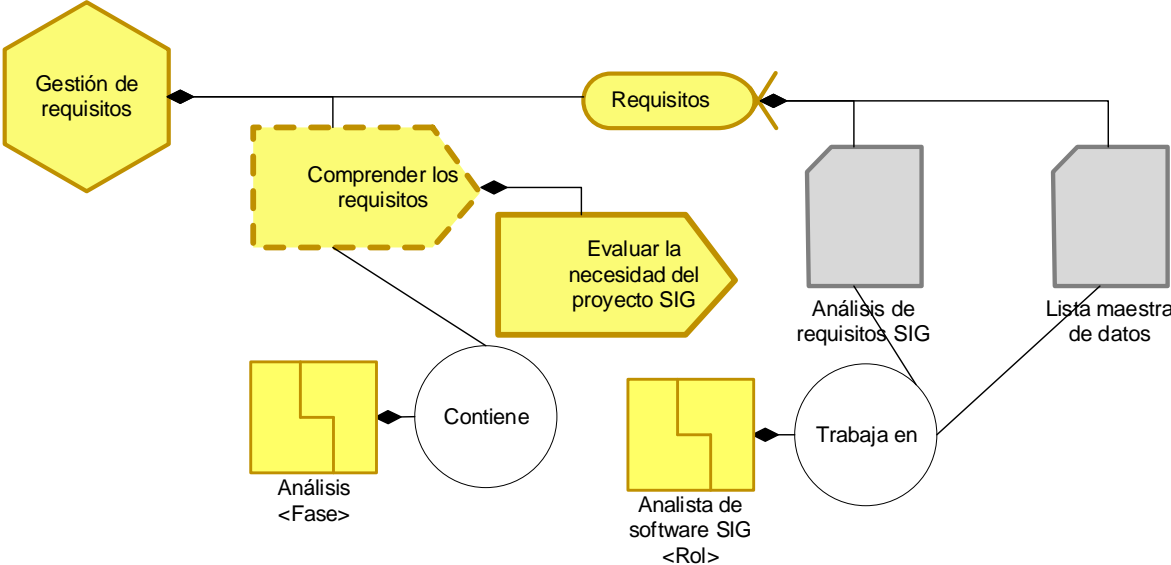


Figura 4-39. Fase: Análisis del método propuesto por la organización SARA  
Elaboración propia

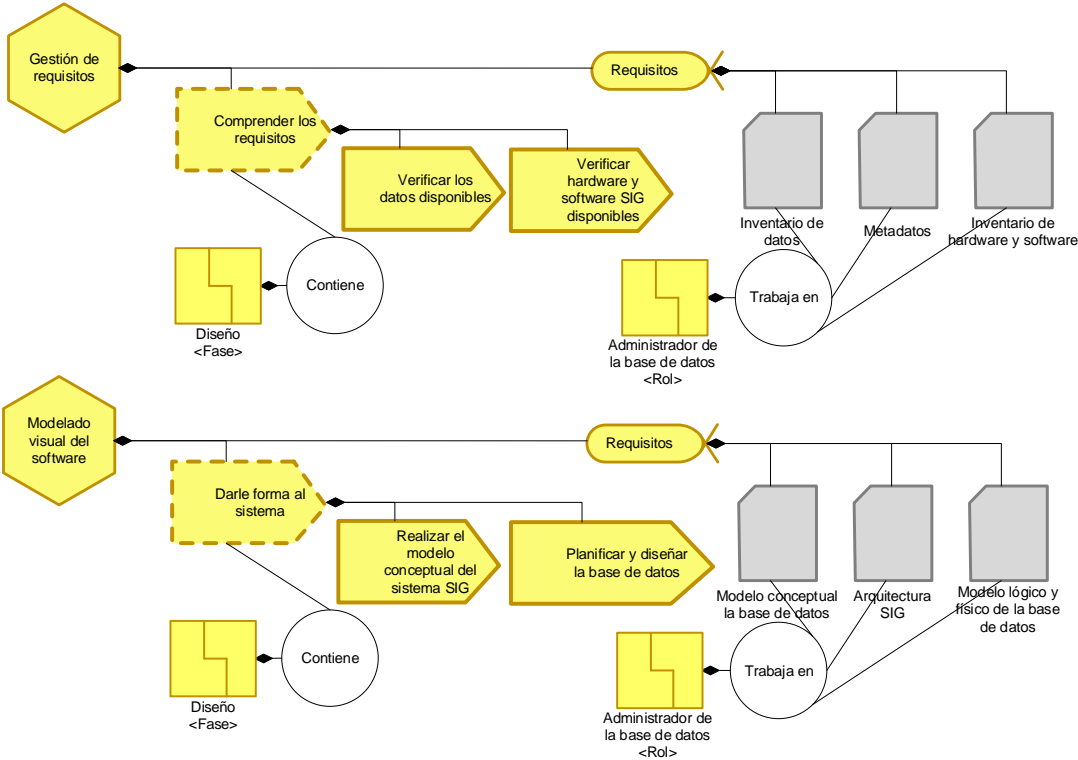


Figura 4-40. Fase: Diseño del método propuesto por la organización SARA  
Elaboración propia

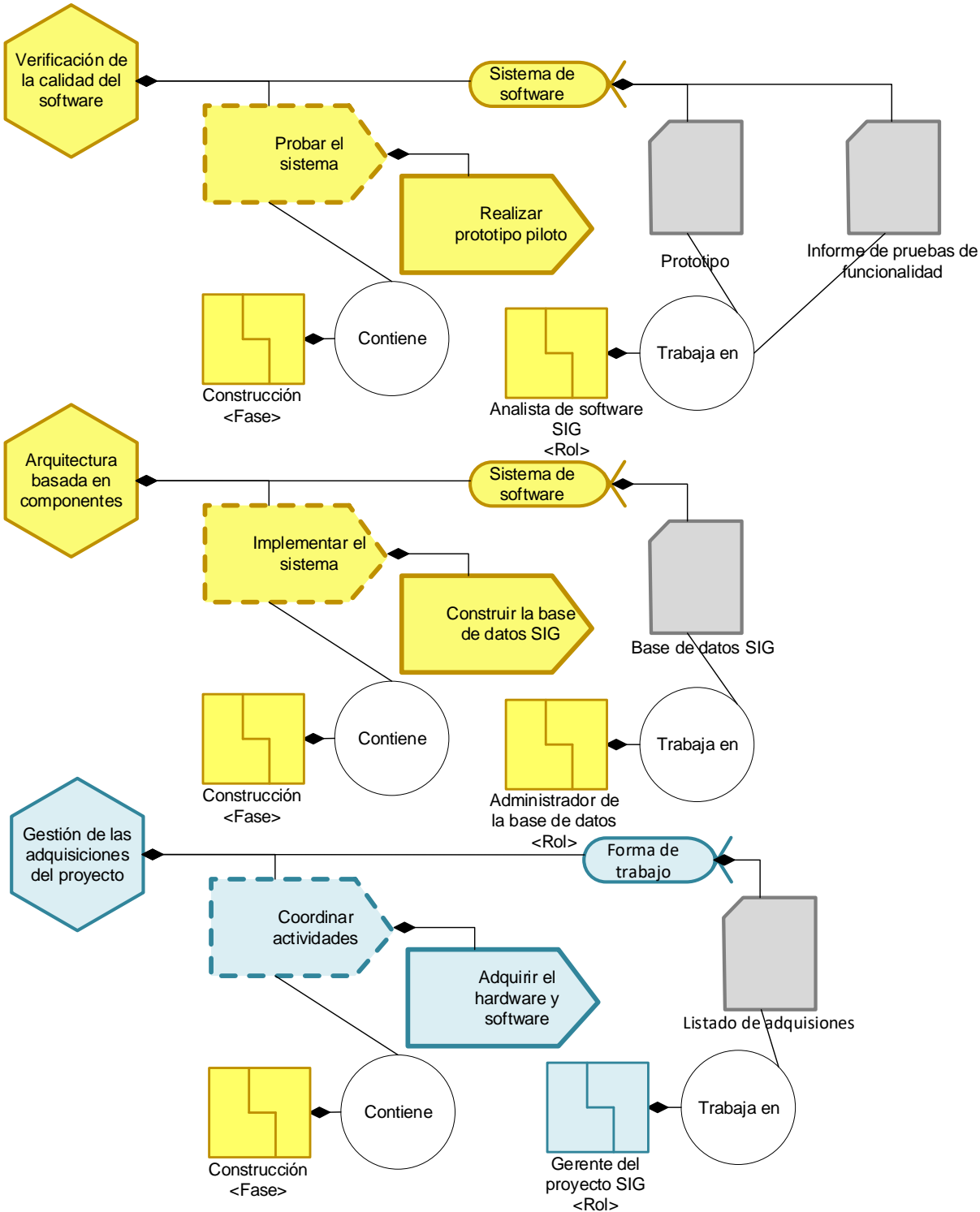


Figura 4-41. Fase: Construcción del método propuesto por la organización SARA  
Elaboración propia

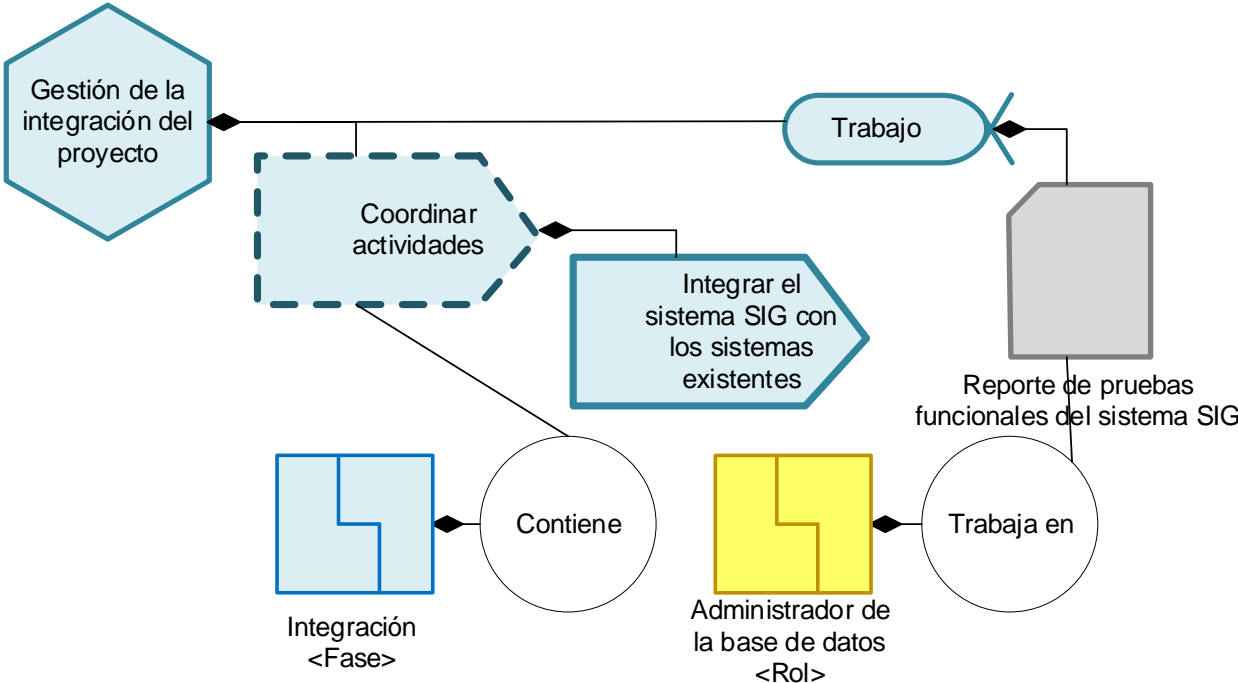


Figura 4-42. Fase: Integración del método propuesto por la organización SARA  
Elaboración propia

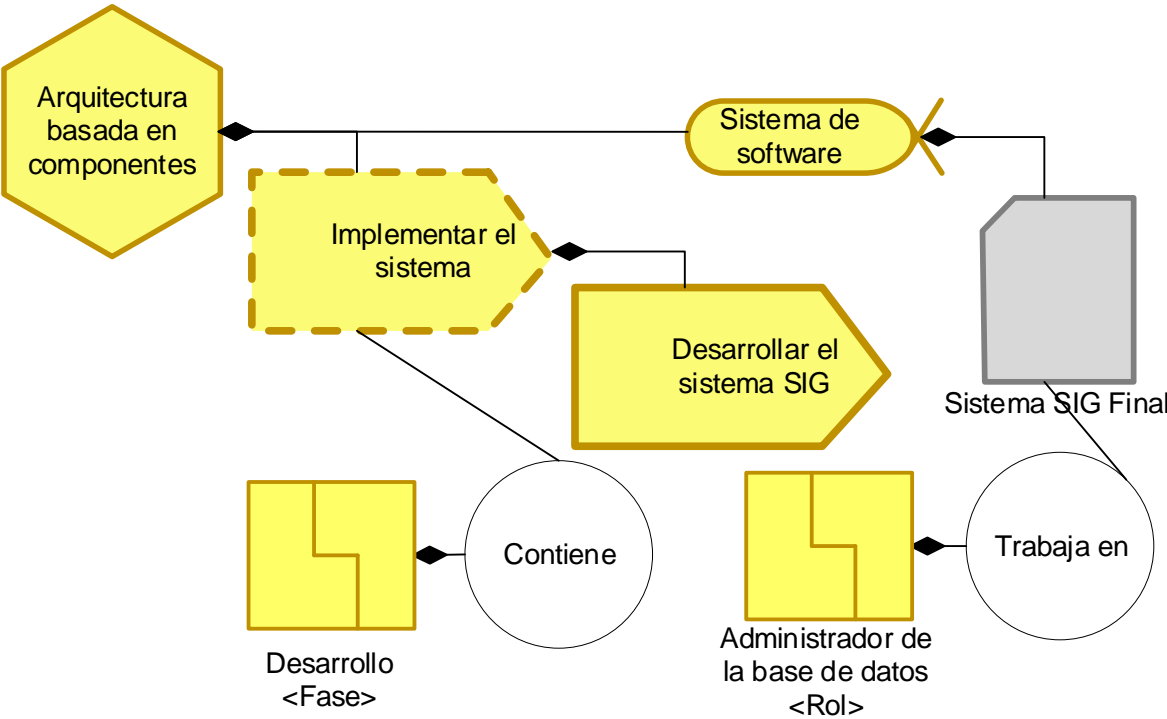


Figura 4-43. Fase: Desarrollo del método propuesto por la organización SARA  
Elaboración propia

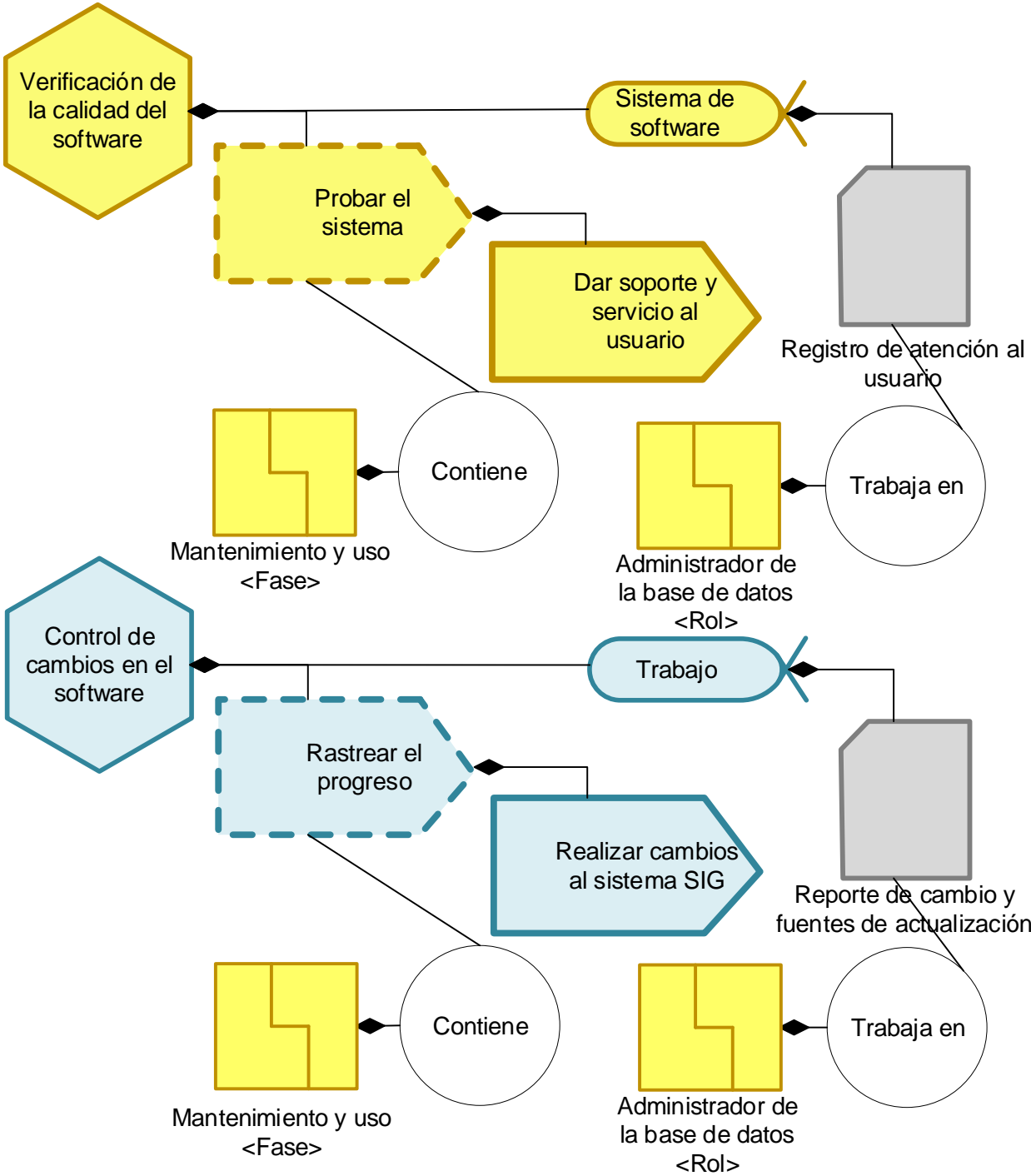


Figura 4-44. Fase: Mantenimiento y uso del método propuesto por la organización SARA  
Elaboración propia

En las representaciones se puede observar que el método propuesto por la organización SARA carece de fases y actividades propias, debido a que son similares a las existentes en las buenas prácticas PMBOK® y RUP® (véase la Figura 4-45). Además, los productos de trabajo tienen nombres que hacen alusión a los proyectos SIG; sin embargo, son similares a los existentes en métodos de desarrollo de sistemas de información tradicionales, evidenciando dificultades en la documentación de los procesos propios de los geodatos.



**Figura 4-45. Buenas prácticas del método propuesto por la organización SARA**  
Elaboración propia

También, se proponen tres roles (gerente del proyecto SIG, administrador base de datos y analista de software SIG) que cumplen las mismas funciones a las existentes en un equipo de desarrollo de sistemas de información tradicional, faltando considerar las competencias y niveles de competencia propios de los roles involucrados en el ciclo de desarrollo de los proyectos SIG (véase la Figura 4-46).



**Figura 4-46. Roles del equipo de desarrollo del método propuesto por la organización SARA**  
Elaboración propia



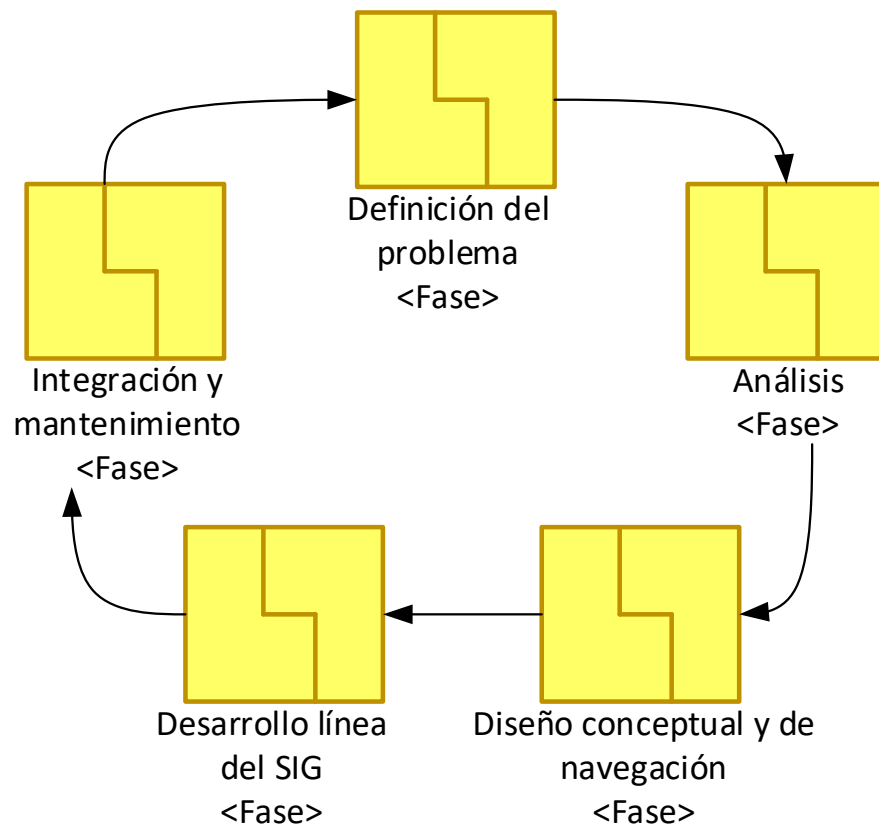
### 4.10 Hacia un nuevo método para el desarrollo de Web GIS

Un Web GIS es un sistema emergente que permite el acceso y la aplicación de consultas de geodatos mediante el uso del internet y de tecnologías web. Debido al avance de esta tecnología en los últimos años, Ananda *et al.* (2016) proponen un método para desarrollar Web GIS llamado *Y-Model Web GIS Development Methodology* (YWDM). YWDM es un método híbrido que incluye características comunes de los sistemas de información web y elementos del contexto de los proyectos SIG. Para lograr la propuesta del método YWDM, los autores realizan comparaciones de diferentes métodos de desarrollo de sistemas de información tradicionales, métodos de desarrollo Web, métodos de desarrollo SIG y métodos de desarrollo Web GIS (véase la Tabla 4-6).

**Tabla 4-6. Resumen de métodos de desarrollo comparados en Ananda *et al.* (2016)  
Elaboración propia basada en Ananda *et al.* (2016)**

Tipo	Nombre
Desarrollo de sistemas de información tradicional	Modelo cascada Modelo espiral Prototipos Metodología de Análisis y Diseño Estructurado (SSADM por su sigla en inglés) Desarrollo de Aplicaciones Rápidas (RAD por su sigla en inglés) Metodologías de Desarrollo Ágil
Desarrollo de sistemas Web	Metodología de Desarrollo de Sistemas de Información Web (WISDM por su sigla en inglés) Metodología de Desarrollo de Internet Comercial (ICDM por su sigla en inglés) Ingeniería Web basada en UML (UWE por su sigla en inglés) Lenguaje de Modelado Web (WebML) Arquitectura de Software Web (WebSA)
Desarrollo SIG	URISA de Somers Método de Harmon y Anderson Método de Longley ESRI de Tomlinson
Desarrollo Web GIS	Ciclo de Desarrollo Web GIS Desarrollo Rápido GIS Metodología para Desarrollar Técnicas de navegación Web GIS

Los autores presentan una revisión y comparación de diferentes métodos de desarrollo (tradicional, web, SIG y Web GIS), identificando las fases y las similitudes con los métodos de gestión de proyectos y de sistemas de información tradicional. De igual manera, los autores identifican que los métodos de desarrollo Web GIS se relacionan con métodos clásicos de desarrollo de software web y carecen de elementos diferenciadores para proyectos SIG. Para generar la propuesta, los autores se apoyan en una lista de chequeo para identificar los elementos característicos que se deben considerar; posteriormente, utilizan el Modelo de Madurez y Capacidad (CMM) para identificar las buenas prácticas de los métodos comparados para proponer un nuevo método. El método YWDM incluye cinco fases (véase la Figura 4-47).



**Figura 4-47. Fases del método YWDM**  
Elaboración propia

El proceso de desarrollo del método YWDM se basa en tres secciones: desarrollo del SIG, desarrollo de la aplicación Web e integración y mantenimiento (véase la Figura 4-48). Los autores consideran que la propuesta incluye buenas prácticas de los métodos de desarrollo tradicional, métodos de desarrollo web y actividades del desarrollo de proyectos SIG. Sin embargo, se observa que el método incluye fases y productos de trabajo similares a los métodos de desarrollo tradicional. Además, incluye un ciclo de retroalimentación en cada fase para permitir flexibilidad según los requisitos del geousuario, pero solo se hace alusión a una actividad relacionada con los proyectos SIG: Integración del Web GIS.

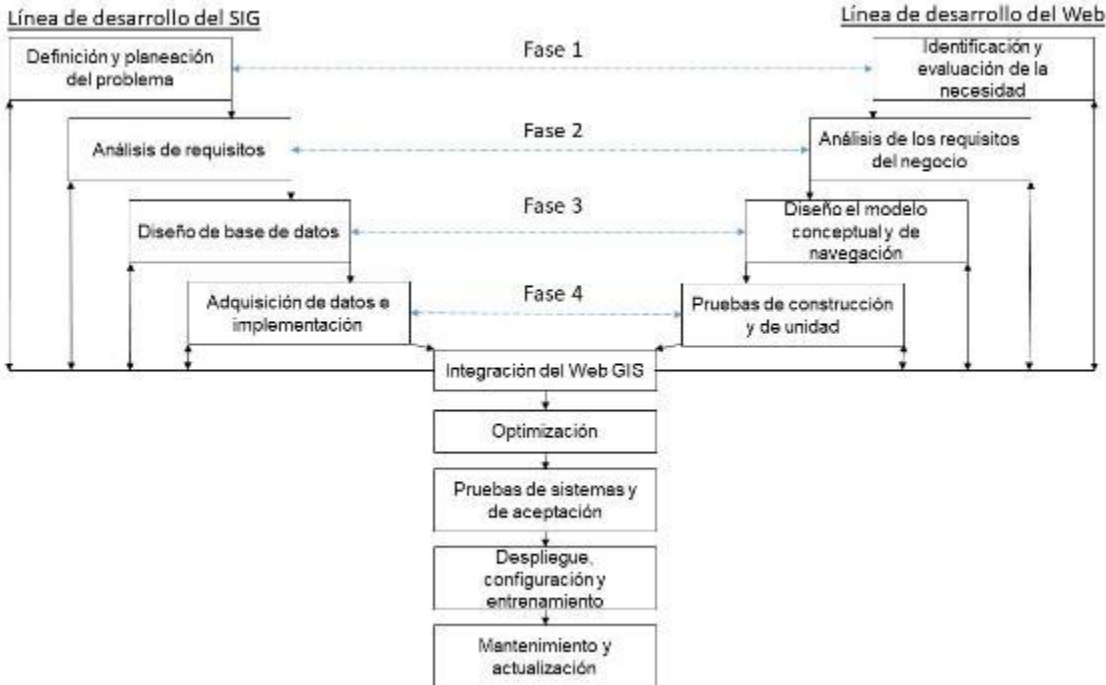


Figura 4-48. Fases del método YWDM  
Elaboración propia basada en Ananda et al. (2016)

En las Figuras 4-49 a 4-53 se proponen las representaciones en el núcleo de la Esencia de *Semat* de los elementos del ciclo de desarrollo del método Web GIS.

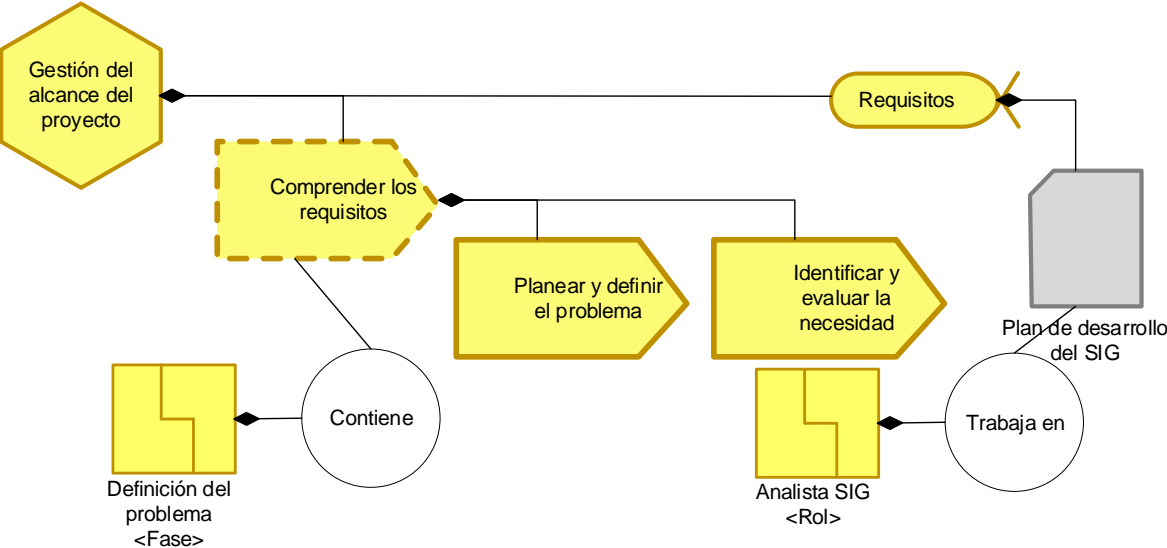


Figura 4-49. Fase: Definición del problema del método YWDM  
Elaboración propia

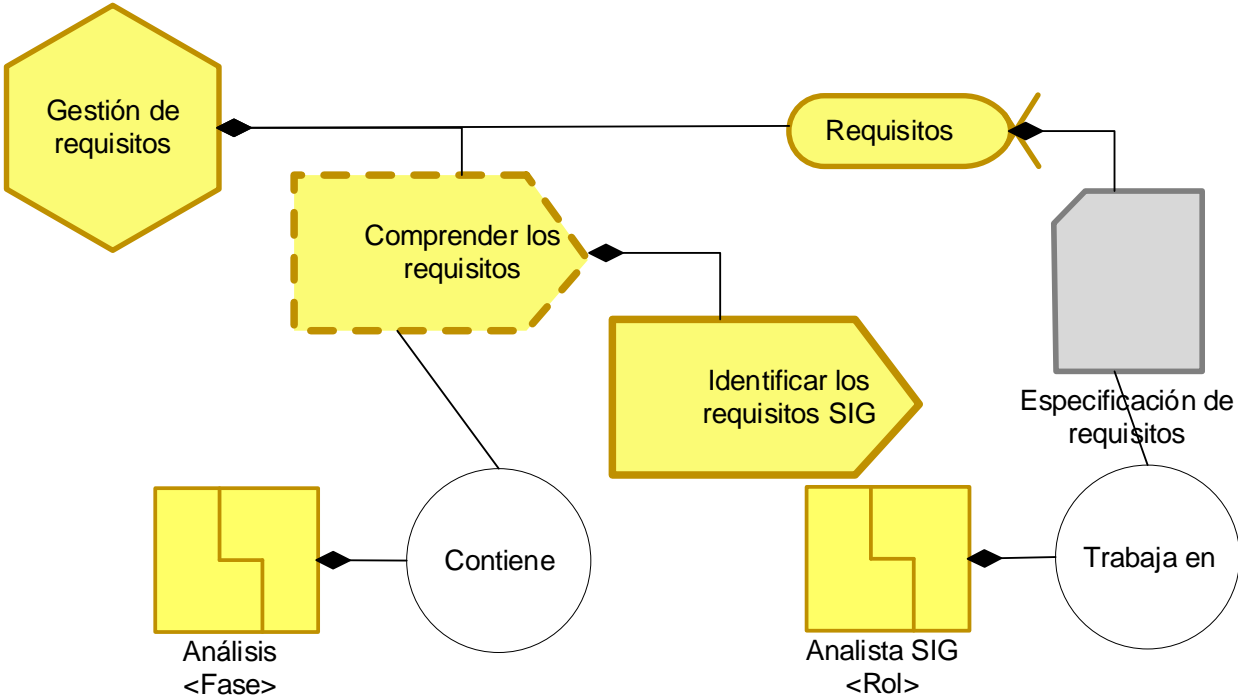


Figura 4-50. Fase: Análisis del método YWDM  
Elaboración propia

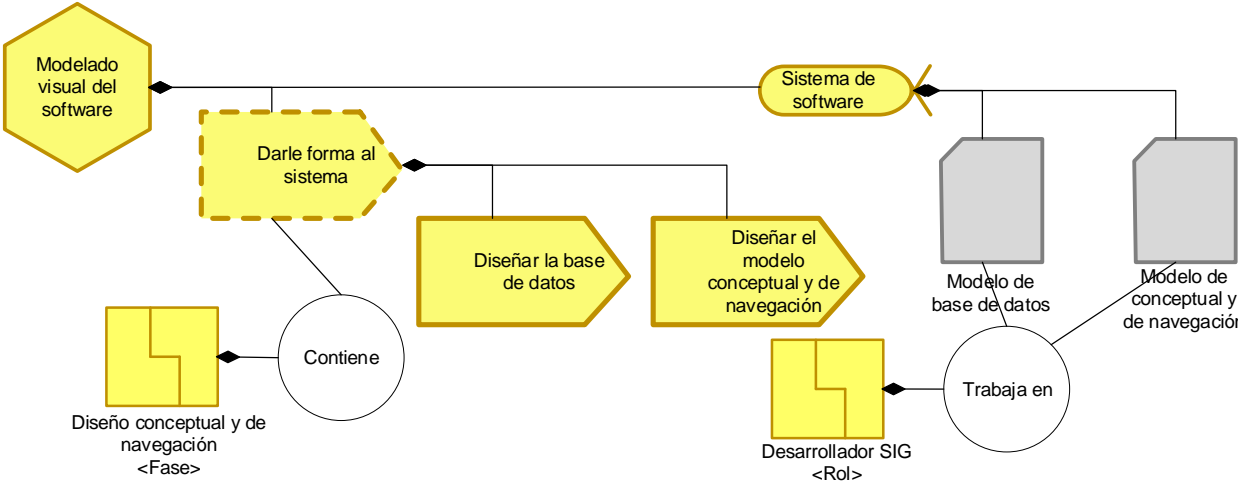


Figura 4-51. Fase: Diseño conceptual y de navegación del método YWDM  
Elaboración propia

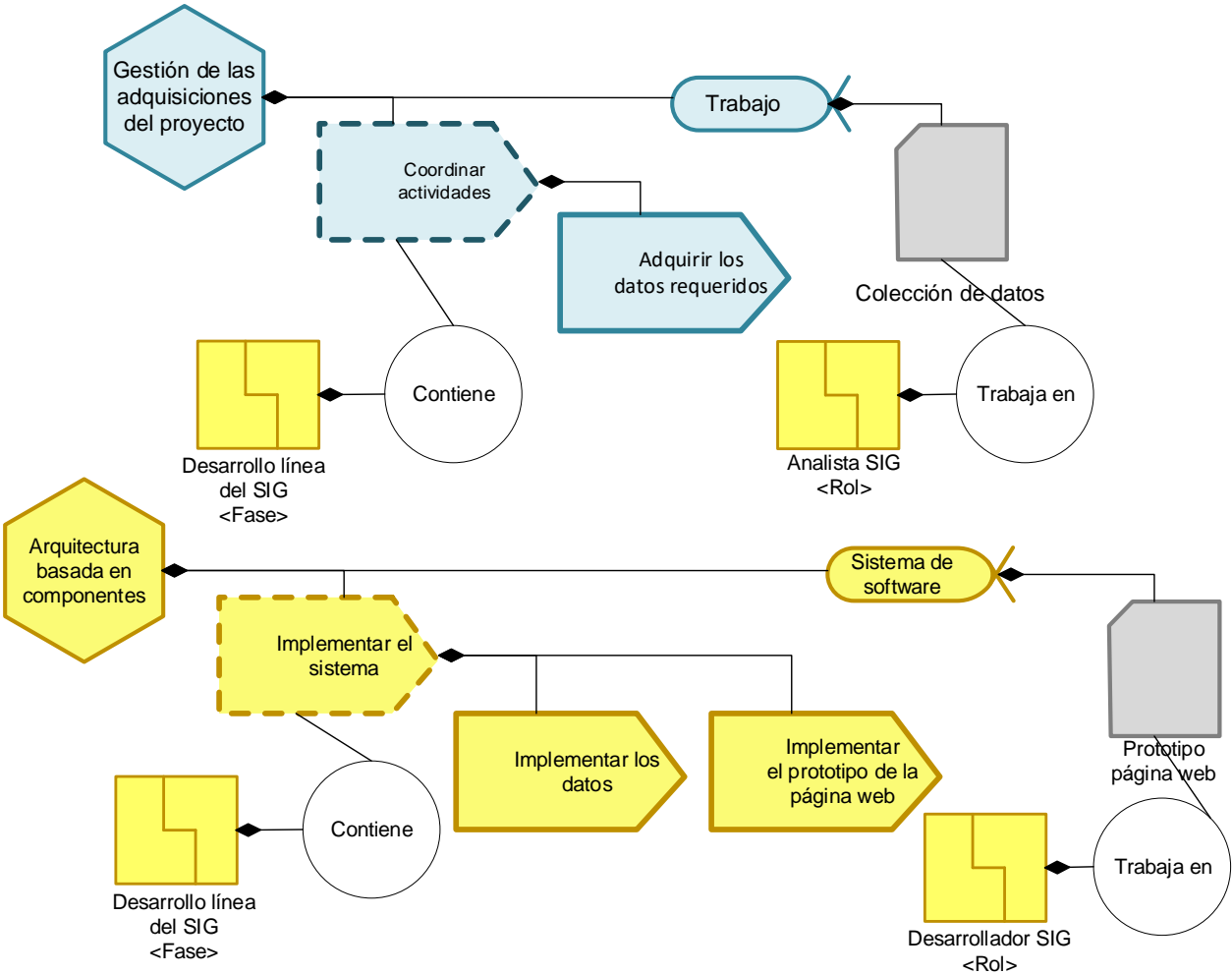


Figura 4-52. Fase: Desarrollo línea del SIG del método YWDM  
Elaboración propia

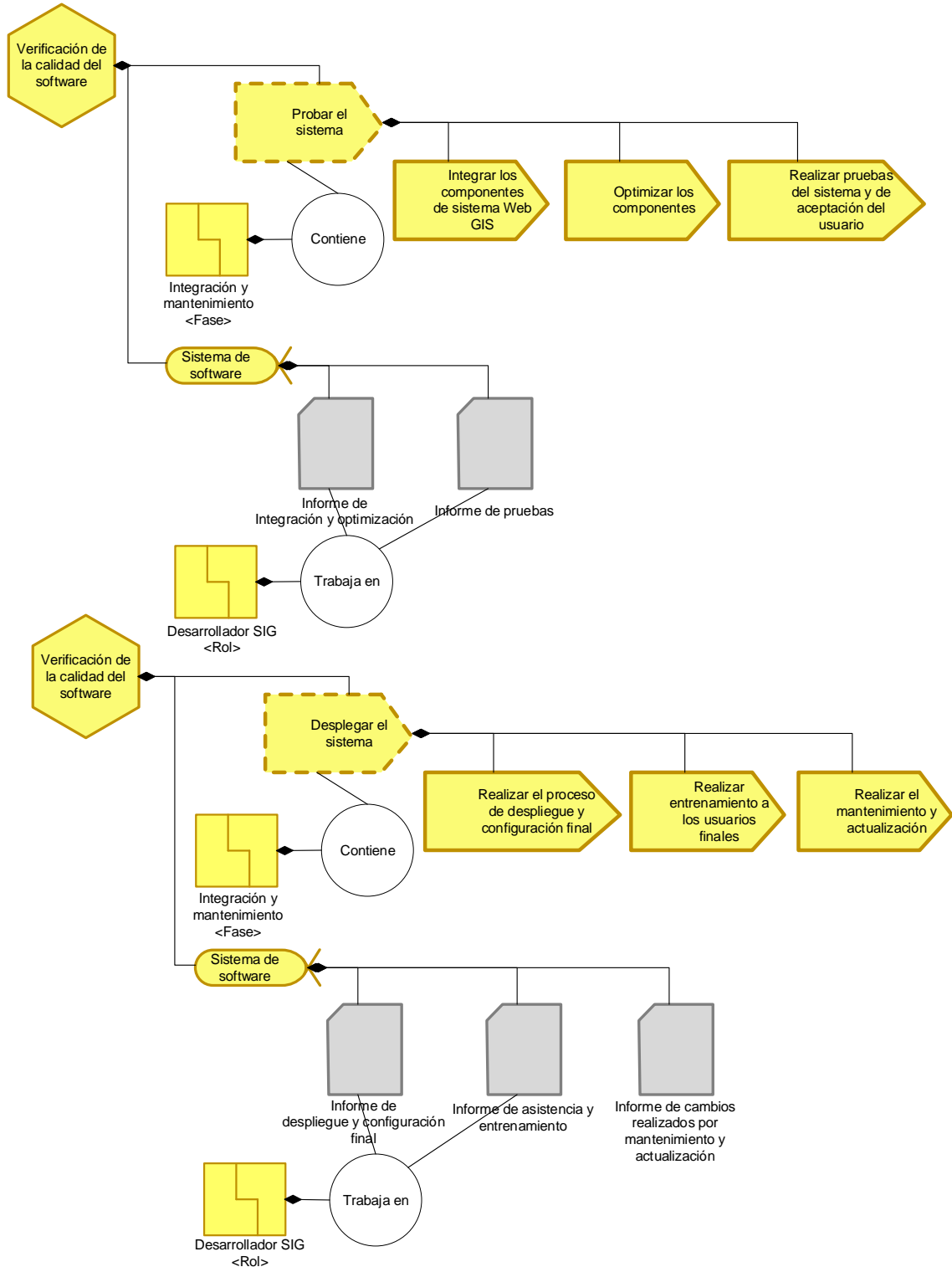


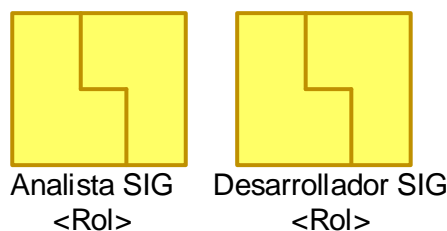
Figura 4-53. Fase: Integración y mantenimiento del método YWDM  
Elaboración propia

En las representaciones se puede observar que el método YWDM carece de buenas prácticas propias para el ciclo de desarrollo del proyecto GIS, debido a que las fases y las actividades son similares a las existentes en las buenas prácticas PMBOK® y RUP® (véase la Figura 4-54). Además, los productos de trabajo tienen nombres que hacen alusión a los existentes en métodos de desarrollo de sistemas de información tradicionales dando poca importancia a la complejidad del geodato.



**Figura 4-54. Buenas prácticas del método YWDM**  
Elaboración propia

Aunque, los autores no proponen roles específicos para el método, se observa que roles involucrados en el método tienen funciones similares a las existentes en un equipo de desarrollo de sistemas de información tradicional, faltando definir los roles y las competencias del equipo de desarrollo del proyecto GIS (véase la Figura 4-55).



**Figura 4-55. Roles del equipo de desarrollo del método YWDM**  
Elaboración propia

En la Tabla 4-7 se presentan los principales problemas que se evidencian en los métodos DISIG-CF, MDS-IGAC, YWDM y los propuestos por las organizaciones ESRI, URISA y SARA.

**Tabla 4-7. Resumen de métodos de representados en el núcleo de la Esencia de Semat**  
**Elaboración propia**

Método	DISIG-CF	MDS-IGAC	Org. ESRI	Org. URISA	Org. SARA	YWDM
Prácticas propias	No	No	No	No	No	No
PMBOK®	0	0	8	2	2	2
RUP®	3	5	1	4	5	4
Competencias de los Geousuarios	No	No	No	Habilidades Técnicas	No	No
Consideran las características especiales del geodato	No	No	No	No	No	No

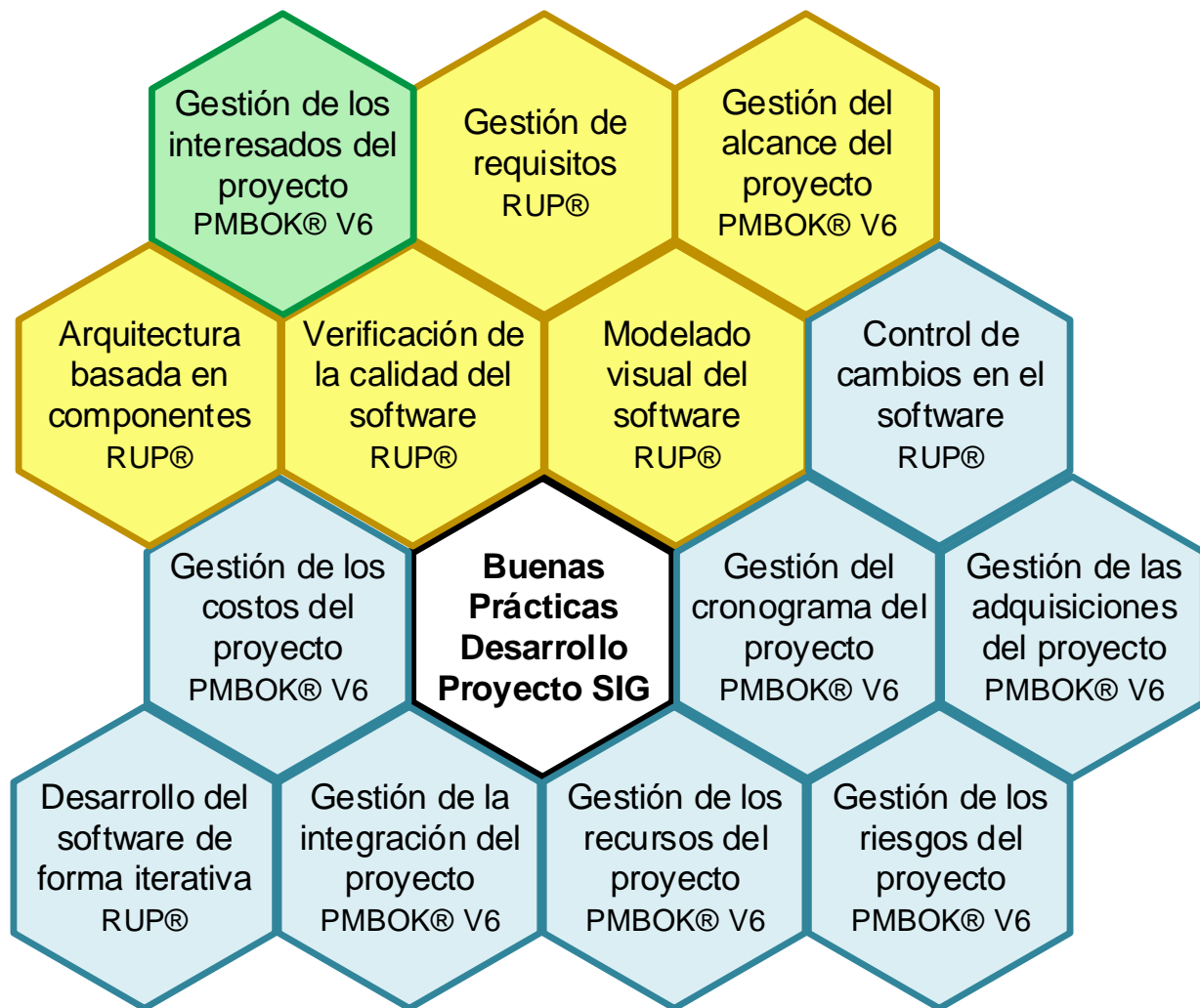
En conclusión, los métodos SIG están incompletos por no incluir prácticas propias, existen problemas con los geousuarios por desconocimiento de las competencias y hace falta considerar las competencias según el rol de la práctica en el método SIG, los geodatos son complejos generando poca atención a la educación de requisitos y a la geovisualización del geodato. Además, se identifican dificultades en la adquisición y en la documentación sobre el proceso de análisis del modelo geoinformático.



## 5. Solución Propuesta

En este Capítulo se define una representación basada en el núcleo de la Esencia de *Semat* de las buenas prácticas de los métodos de desarrollo de Sistemas de Información Geográfica. Para lograrlo, se consideran todas las buenas prácticas identificadas en las representaciones en el núcleo de la Esencia de *Semat* de los métodos DISIG-CF, MDS-IGAC, YWDM y los métodos propuesto por las organizaciones ESRI, URISA y SARA. En estas representaciones se identifican los siguientes problemas:

- Los métodos de desarrollo de proyectos SIG incluyen ocho buenas prácticas de PMBOK® y seis buenas prácticas de RUP® (véase la Figura 5-1). Así, se evidencia que los métodos de desarrollo de proyectos SIG están incompletos, porque les falta incluir prácticas propias.
- En el ciclo de desarrollo de los proyectos SIG se consideran dos elementos importantes: el geodato y el geousuario (véase la Figura 2-9). Sin embargo, se observa que los métodos SIG representados carecen de buenas prácticas enfocadas en estos dos elementos, generando:
  - Problemas con los geousuarios, debido al desconocimiento de las competencias propias de los equipos de desarrollo, y problemas para conformar equipos de desarrollo, porque falta considerar las competencias y niveles de competencia requeridos según el rol del geousuario en el equipo de desarrollo para ejecutar las actividades propias de los proyectos SIG.
  - Problemas con el geodato, que es un elemento complejo al cual le asignan poca importancia en los métodos SIG representados. Aunque se evidencian actividades y productos de trabajo para la gestión del geodato, falta considerar las características propias del geodato como: la adquisición del geodato, la documentación del proceso de análisis del modelo geoinformático y el proceso de geovisualización del geodato.



**Figura 5-1. Buenas prácticas de los métodos de desarrollo de proyectos SIG**  
Elaboración propia

Por lo anterior, en esta Tesis de Doctorado se proponen tres buenas prácticas que se pueden incluir en el ciclo de desarrollo de los proyectos SIG: análisis de geousuarios basado en competencias, educación geoespacial de requisitos y análisis geoespacial de información. Estas buenas prácticas se enfocan en mejorar dos elementos diferenciadores de los proyectos SIG: el geodato y el geousuario (véase la Figura 5-2).



Figura 5-2. Buenas prácticas propuestas en el desarrollo de proyectos SIG  
Elaboración propia

## 5.1 Análisis de Geousuarios basado en Competencias

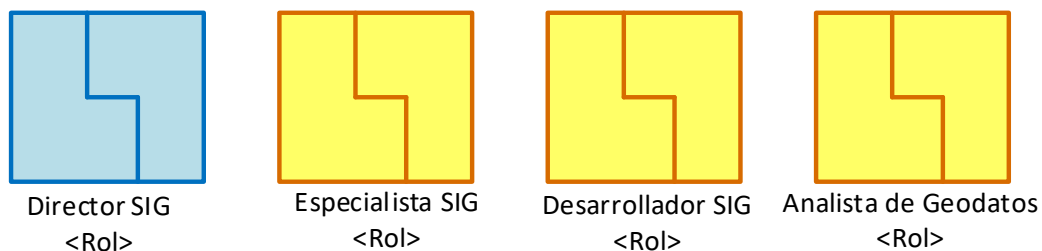
Se propone para ayudar a establecer equipos de desarrollo de proyectos SIG de alto rendimiento y con disposición de afrontar nuevos desafíos para solucionar problemas geográficos. Para lograrlo, se integra la teoría de competencias de la psicología organizacional con los aportes de competencias de un equipo de desarrollo de software del núcleo de la Esencia de *Semat*. El proceso de integración se realiza identificando y comparando las competencias específicas de un equipo de desarrollo de software y de un equipo de desarrollo de proyectos SIG. Esto se realiza porque existen similitudes entre estos dos tipos de equipos de desarrollo (Durango-Vanegas *et al.*, 2019). Posteriormente, se identifican los principales roles, las competencias y los niveles de competencia de un equipo de desarrollo de proyectos SIG y se representan en el núcleo de la Esencia de *Semat*.

### 5.1.1 Roles de un equipo de desarrollo de proyectos SIG

La definición de rol se aborda desde dos perspectivas: antropológico-social y psicosocial. Desde el punto de vista antropológico-social se define como la combinación de valores, actitudes y comportamientos asignados a una persona que ocupa una posición social (red social) asociada con un estatus social específico (las funciones asignadas a esa persona). Desde el punto de vista psicosocial se define como el reconocimiento y el comportamiento esperado que se asocia con una posición específica de una persona. También, se define como el conjunto de

responsabilidades a cumplir en un tipo de trabajo, en el cual una persona puede ocupar uno o varios roles o un rol puede contar con varias personas. Así, la asignación de una persona a un rol depende del propósito del proyecto, las actividades a ejecutar y los productos de trabajo esperados (Casas, 2019; Huxhold, 2000; URISA, 2000a; Aritzeta *et al.*, 2007; Wikle, 2012; Rodríguez *et al.*, 2013; URISA, 2010; URISA, 2014; Mirzoev *et al.*, 2015; Keshav *et al.*, 2016, Durango *et al.*, 2017; Albrecht, 2018; Durango-Vanegas *et al.*, 2018a; Durango-Vanegas *et al.*, 2019). A continuación, se proponen los principales roles para conformar un equipo de desarrollo de proyectos SIG (véase la Figura 5-3):

- **Director SIG:** es el responsable de definir los objetivos y metas del proyecto SIG, garantizando su continuidad y gestionando los recursos necesarios para la culminación del proyecto. El director SIG establece los planes, políticas, programas y cronograma para negociar y financiar el procesamiento de los geodatos, los servicios computacionales, las redes de comunicación y la gestión de los servicios de información que requiere el proyecto SIG (Albrecht, 2018).
- **Especialista SIG:** es el responsable de entender las necesidades específicas del SIG: diseñando, desarrollando, personalizando y manteniendo los geodatos para generar los productos de trabajo (Huxhold, 2000).
- **Desarrollador SIG:** es el responsable de asistir en el análisis del SIG: asigna las prioridades y los objetivos, evalúa y desarrolla el SIG, coordina la instalación y pruebas de la aplicación SIG y mantiene y gestiona el software y hardware SIG (Mirzoev *et al.*, 2015; Durango-Vanegas *et al.*, 2019).
- **Analista de Geodatos:** es el responsable de generar, analizar y convertir los geodatos, coordinando la adquisición y supervisando la integración de estos con la información existente en la organización. Además, ayuda a implementar estrategias para generar análisis espaciales y los productos de trabajo esperados en el proyecto SIG (Mirzoev *et al.*, 2015).



**Figura 5-3. Principales roles de un equipo de desarrollo de proyectos SIG**  
Elaboración propia

### 5.1.2 Competencias de un equipo de desarrollo de proyectos SIG

Las competencias organizacionales se definen según las habilidades y las capacidades fundamentales del individuo para un buen desempeño laboral. También, son construcciones sociales de aprendizaje significativo útiles para un alto desempeño. Por ello, las competencias organizacionales se refieren al desempeño de una persona en su rol para alcanzar un rendimiento superior en su trabajo, aplicando conocimientos, habilidades, experiencias, aptitudes y motivaciones en acciones que permitan resolver problemas en su entorno laboral. También, se refieren a la eficiente utilización de los recursos disponibles para cumplir satisfactoriamente el proyecto (Suárez y Castellanos, 2006). La identificación de las competencias organizacionales se obtiene de un proceso investigativo mediante análisis factorial para identificar rasgos de personalidad, destrezas, habilidades, actitudes y aptitudes de las personas. Para obtener cada competencia se evalúa un grupo de ingenieros con experiencia en el desarrollo de proyectos informáticos y SIG, considerados empleados exitosos. Además, se utilizan indicadores conductuales para medir el nivel de presencia y ausencia en la persona evaluada, según los resultados de pruebas psicotécnicas. Las pruebas psicotécnicas incluyen indicadores bajos, medios y altos para clasificar la persona con un desempeño sobresaliente (Spencer y Spencer, 1993; de Sánchez y de Faria, 2012; Bano *et al.*, 2016; Durango *et al.*, 2017; Durango-Vanegas *et al.*, 2019).

En la Figura 5-4 se observan las competencias *Semat* que proponen Jacobson *et al.* (2013b, 2014) y OMG (2015): representación del interesado, análisis, desarrollo, pruebas, liderazgo y gestión. Jacobson *et al.* (2013b, 2014) consideran que estas competencias se requieren para realizar actividades de interacción con el cliente, implementar el software y gestionar el trabajo del equipo de desarrollo. Luego, Durango-Vanegas *et al.* (2019) consideran que estas competencias no son suficientes para describir las habilidades de una persona para ejercer un rol en un equipo de desarrollo de software, proponiendo siete nuevas competencias *Semat*: comunicación, orientación al servicio, pensamiento sistémico, gestión del conocimiento, orientación al servicio, gestión del cambio y trabajo colaborativo. De igual manera, Durango-Vanegas *et al.* (2018a) en el proyecto de investigación titulado “Competencias *Semat* para un equipo de desarrollo de proyectos SIG” con participación de la Universidad de San Buenaventura y la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, proponen una nueva competencia para ejercer un rol en un equipo de desarrollo de proyectos SIG denominada pensamiento espacial

(Escobar *et al.*, 2008; Solem *et al.*, 2008; Lei *et al.*, 2009; Chun, 2010; Bednarz y Lee, 2011; Wakabayashi e Ishikawa, 2011; Hong, 2015; Mirzoev *et al.*, 2015).

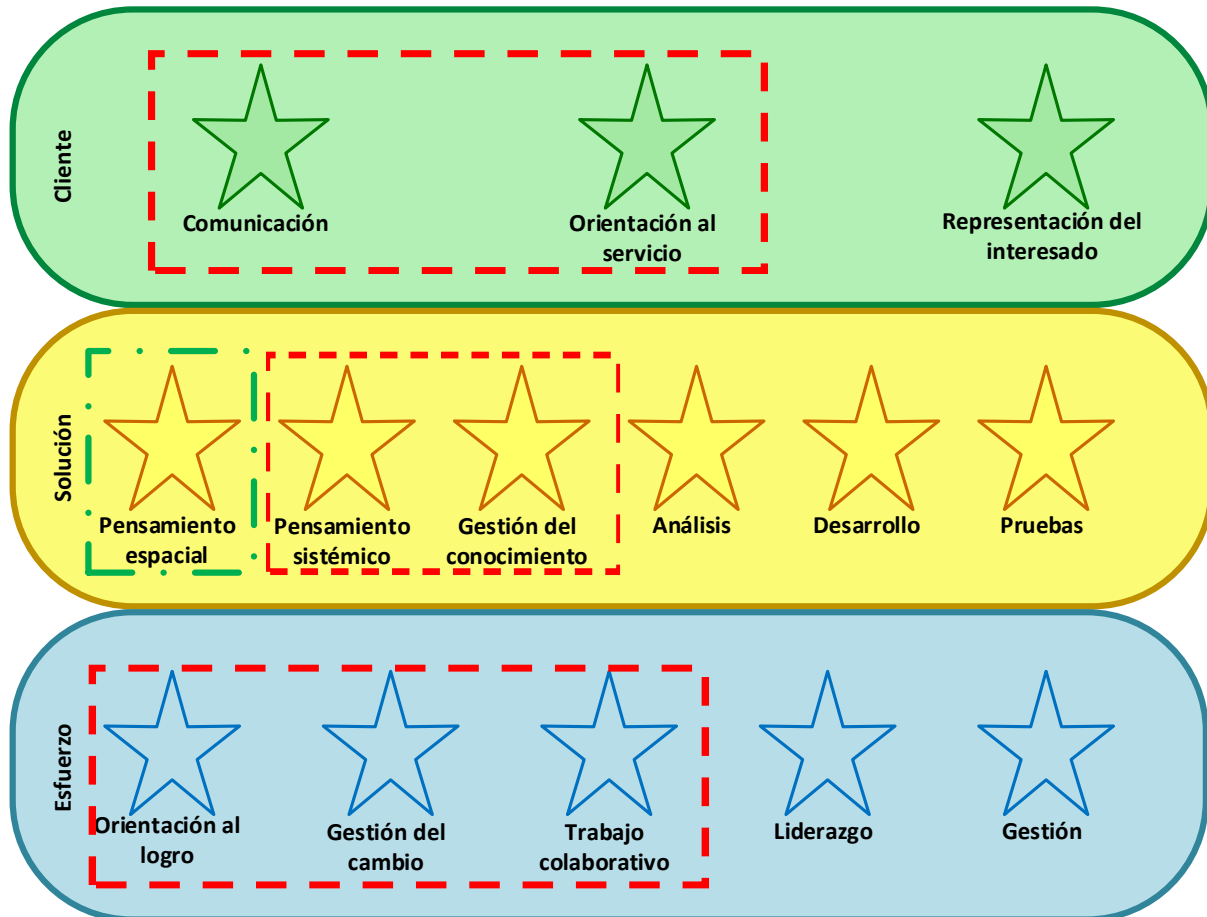


Figura 5-4. Competencias de un equipo de desarrollo de proyectos SIG  
Adaptada de Durango-Vanegas *et al.* (2018a, 2019)

En las Figuras 5-5 a 5-22 se presentan las tarjetas *Semat* de cada competencia y los niveles de competencia.

**Comunicación**

Capacidad para comunicarse oportunamente con las personas mediante habilidades de escucha, construcción de preguntas y exposición de aspectos. Esta competencia implica la intervención acertada, la comprensión de las necesidades del otro y el establecimiento de relaciones cordiales y recíprocas que faciliten el nivel de respuesta y la negociación.

Las personas con esta competencia ayudan al equipo a:

- Identificar los momentos y la forma adecuada para exponer diferentes situaciones en las políticas de la organización.
- Diseñar y preparar la mejor estrategia de comunicación.
- Comprender diferentes situaciones y manejar reuniones.

Involucrado en:

- 

Patrones: Rol Recursos:

- 

**Figura 5-5. Tarjeta de la competencia: Comunicación**  
Elaboración propia

**Nivel 1: Apoyar**

- Es capaz de comunicarse oportunamente con las personas.
- Es capaz de responder correctamente a preguntas básicas dentro de su dominio.

1 / 5

**Nivel 2: Aplicar**

- Es capaz de construir conversaciones en torno del contexto.
- Es capaz de aplicar conceptos simples y llegar a conclusiones específicas en la comunicación.

2 / 5

**Nivel 3: Dominar**

- Es capaz de usar el lenguaje del dominio con facilidad y precisión.
- Es capaz de dar y recibir retroalimentación en una conversación constructiva.

3 / 5

**Nivel 4: Adaptar**

- Es capaz de comunicarse con personas que trabajan fuera del dominio.
- Es capaz de encontrar el contexto y llevarlo a un lenguaje común de comunicación. Esto le permite elaborar argumentos de acuerdo con el contexto.

4 / 5

**Nivel 5: Innovar**

- Es capaz de escuchar argumentos para construir intervenciones acertadas.
- Es capaz de favorecer la negociación y llegar a acuerdos con las personas.

5 / 5

**Figura 5-6. Tarjeta de nivel de competencia: Comunicación**  
Tomada de Durango-Vanegas *et al.*, 2019

**Orientación al servicio**

Disposición para comprender, anticipar y satisfacer las necesidades de las personas con un servicio oportuno, que supere las expectativas de calidad. Esta competencia implica la respuesta a los requisitos de las personas, para generar valor en la búsqueda de su satisfacción y el mejoramiento continuo del servicio.

---

Las personas con esta competencia ayudan al equipo a:

- Escuchar con respeto a las personas, incluso en situaciones críticas o de contingencia.
- Identificar necesidades y, en ocasiones, anticiparse a ellas aportando soluciones a la medida de los requisitos presentados.
- Responder y buscar los medios para satisfacer las necesidades de las personas en los tiempos esperados.

---

Involucrado en:

- 

---

Patrones: Recursos:

- Rol
-

**Figura 5-7. Tarjeta de la competencia: Orientación al servicio**  
Elaboración propia

**Orientación al servicio**

**Nivel 1: Apoyar**

- Es capaz de comprender y conducir las necesidades de las personas hacia una respuesta oportuna.

**1 / 5**

**Orientación al servicio**

**Nivel 2: Aplicar**

- Es capaz de satisfacer solicitudes rutinarias y requisitos simples de trabajo.

**2 / 5**

**Orientación al servicio**

**Nivel 3: Dominar**

- Es capaz de satisfacer solicitudes y requisitos específicos del trabajo.

**3 / 5**

**Orientación al servicio**

**Nivel 4: Adaptar**

- Es capaz de reconocer necesidades y solicitudes para transformarlas en nuevos servicios.

**4 / 5**

**Orientación al servicio**

**Nivel 5: Innovar**

- Es capaz de proponer soluciones efectivas e innovadoras para los actuales desafíos del dominio.

**5 / 5**

**Figura 5-8. Tarjeta de nivel de competencia: Orientación al servicio**  
Elaboración propia



## Pensamiento espacial

Capacidad de organizar e integrar visualmente elementos inexistentes, mediante la creación y manipulación del "espacio" para representar la realidad. Esta competencia implica la percepción intuitiva o racional de las personas para representar el entorno por medio de objetos espaciales.

Innovar

Adaptar

Dominar

Aplicar

Apoyar

Las personas con esta competencia ayudan al equipo a:

- Utilizar la percepción intuitiva y racional del entorno propio de los objetos espaciales.
- Organizar e integrar los componentes del mundo real para representarlos en objetos espaciales.
- Manipular y crear objetos espaciales existentes para visualizarlos virtualmente.

Involucrado en:

-

Patrones:

- Rol

Recursos:

-

**Figura 5-9. Tarjeta de la competencia: Pensamiento espacial**  
Elaboración propia

### Pensamiento espacial

**Nivel 1: Apoyar**

- Es capaz de visualizar distancias y distribución espacial mediante figuras geométricas.

**1 / 5**

### Pensamiento espacial

**Nivel 2: Aplicar**

- Es capaz de analizar componentes del espacio y sus propiedades básicas para asociar elementos reales del espacio geográfico.

**2 / 5**

### Pensamiento espacial

**Nivel 3: Dominar**

- Es capaz de establecer conexiones lógicas por medio del ordenamiento y la clasificación jerárquica para obtener relaciones espaciales.

**3 / 5**

### Pensamiento espacial

**Nivel 4: Adaptar**

- Es capaz de manejar información espacial para resolver problemas de ubicación, orientación y distribución del espacio bidimensional.

**4 / 5**

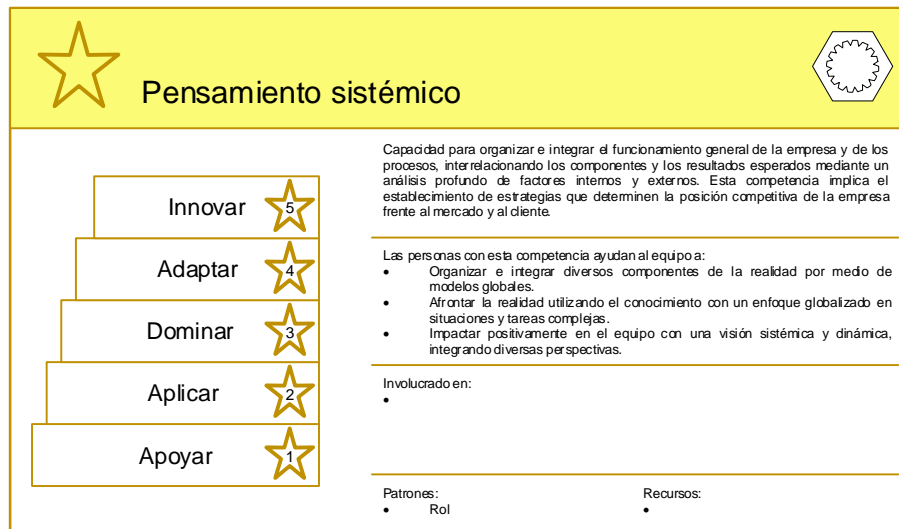
### Pensamiento espacial

**Nivel 5: Innovar**

- Es capaz de transformar representaciones espaciales bidimensionales para representar relaciones espaciales tridimensionales, completando la percepción del espacio imaginario.

**5 / 5**

**Figura 5-10. Tarjeta de nivel de competencia: Pensamiento espacial**  
Elaboración propia



**Figura 5-11. Tarjeta de la competencia: Pensamiento sistémico**  
Elaboración propia



**Figura 5-12. Tarjeta de nivel de competencia: Pensamiento sistémico**  
Elaboración propia

## Gestión de conocimiento

Capacidad para aplicar los conocimientos mediante estrategias y dominio tecnológico, investigando y compartiendo información útil para la resolución de problemas. Esta competencia implica la identificación de los objetivos del negocio, a partir del análisis de riesgos y de las oportunidades para la gestión de los proyectos.

Innovar

Adaptar

Dominar

Aplicar

Apoyar

Las personas con esta competencia ayudan al equipo a:

- Captar, estructurar y transmitir el conocimiento.
- Construir colectivamente el conocimiento e incrementar la capacidad de respuesta.
- Reconocer el potencial transformador del compromiso colectivo.
- Tolerar el pensamiento y la experiencia no convencional de otras personas.

Involucrado en:

-

Patrones:

- Rol

Recursos:

-

**Figura 5-13. Tarjeta de la competencia: Gestión de conocimiento**  
Elaboración propia

### Gestión de conocimiento

**Nivel 1: Apoyar**

- Es capaz de identificar conocimientos aprendidos.

**1 / 5**

### Gestión de conocimiento

**Nivel 2: Aplicar**

- Es capaz de mostrar dominio tecnológico, facilitando la comprensión de diversas situaciones.

**2 / 5**

### Gestión de conocimiento

**Nivel 3: Dominar**

- Es capaz de planear estrategias basadas en la información obtenida y analizada.

**3 / 5**

### Gestión de conocimiento

**Nivel 4: Adaptar**

- Es capaz de proponer y modificar propuestas, analizando los riesgos de un esfuerzo de ingeniería de software.

**4 / 5**

### Gestión de conocimiento

**Nivel 5: Innovar**

- Es capaz de identificar nuevas oportunidades para la gestión de esfuerzos en ingeniería de software, aplicando los conocimientos adquiridos.

**5 / 5**

**Figura 5-14. Tarjeta de nivel de competencia: Gestión de conocimiento**  
Elaboración propia

## Orientación al logro

Capacidad de encaminar los actos a la consecución de las metas propuestas por medio de la administración de los procesos que se establecen. Esta competencia implica la creación de un ambiente de trabajo que estimule la mejora, oriente la eficacia y genere una conciencia permanente sobre los tiempos de entrega.

---

Las personas con esta competencia ayudan al equipo a:

- Buscar soluciones frente a problemas complejos y en escenarios cambiantes, aportando soluciones con valor agregado para la organización.
- Empezar acciones de mejora hacia la optimización de recursos y considerando diferentes variables.
- Mejorar el desempeño, introduciendo los cambios necesarios en los procesos.
- Apoyar el seguimiento de los proyectos, mejorando la capacidad de respuesta ante diferentes situaciones que se presentan en la búsqueda de los objetivos planteados.

---

Involucrado en:

- 

---

Patrones: Recursos:

- Rol •

**Figura 5-15. Tarjeta de la competencia: Orientación al logro**  
Elaboración propia

### Orientación al logro

**Nivel 1: Apoyar**

- Es capaz de comprender las oportunidades de los esfuerzos de ingeniería de software de manera profesional. Requiere ayuda cuando se presenta alguna complicación o dificultad.

**1 / 5**

### Orientación al logro

**Nivel 2: Aplicar**

- Es capaz de realizar funciones básicas de un esfuerzo de ingeniería de software, teniendo en cuenta su conocimiento del dominio.

**2 / 5**

### Orientación al logro

**Nivel 3: Dominar**

- Es capaz de identificar las oportunidades de los esfuerzos de ingeniería de software, conociendo los límites de su dominio.

**3 / 5**

### Orientación al logro

**Nivel 4: Adaptar**

- Es capaz de satisfacer demandas complejas y requisitos de los esfuerzos de ingeniería de software.
- Es capaz de dirigir y ayudar a otras personas que trabajan en el esfuerzo de ingeniería de software.

**4 / 5**

### Orientación al logro

**Nivel 5: Innovar**

- Es capaz de innovar y adaptar su forma de trabajo para obtener mejores resultados dentro de su dominio.

**5 / 5**

**Figura 5-16. Tarjeta de nivel de competencia: Orientación al logro**  
Elaboración propia

## Gestión de cambio

Habilidad para iniciar e impulsar el cambio de manera proactiva frente a los nuevos retos y necesidades del entorno. Esta competencia implica la capacidad de ajustar el comportamiento ante nuevas situaciones que generan los factores internos y externos a los proyectos.

Innovar	★ 5
Adaptar	★ 4
Dominar	★ 3
Aplicar	★ 2
Apoyar	★ 1

Las personas con esta competencia ayudan al equipo a:

- Diagnosticar, diseñar y dirigir procesos de cambio específicos que contribuyan significativamente a la productividad grupal y empresarial.
- Implementar y gestionar cambios para mejorar los proyectos.
- Apoyar al equipo en adquirir permanentemente nuevos conocimientos, destrezas y habilidades.
- Identificar fortalezas individuales y grupales para afrontar nuevos retos.

Involucrado en:

- 

---

Patrones:

- Rol

Recursos:

-

**Figura 5-17. Tarjeta de la competencia: Gestión de cambio**  
Elaboración propia

### Gestión de cambio

**Nivel 1: Apoyar**

- Es capaz de asumir con creatividad nuevos escenarios de cambio, ajustándolos a las oportunidades del momento.

**1 / 5**

### Gestión de cambio

**Nivel 2: Aplicar**

- Es capaz de enfrentar en forma proactiva las oportunidades del entorno, aplicando sus conocimientos en promover el cambio.

**2 / 5**

### Gestión de cambio

**Nivel 3: Dominar**

- Es capaz de identificar y actuar en nuevos retos, aplicando técnicas de cambio en el dominio.

**3 / 5**

### Gestión de cambio

**Nivel 4: Adaptar**

- Es capaz de proponer adaptaciones exitosas en pro de mejorar los esfuerzos de ingeniería de software en ejecución.

**4 / 5**

### Gestión de cambio

**Nivel 5: Innovar**

- Es capaz de innovar en situaciones complejas, generando nuevas dinámicas y/o tendencias de gestión de esfuerzos en ingeniería de software.

**5 / 5**

**Figura 5-18. Tarjeta de nivel de competencia: Gestión de cambio**  
Elaboración propia

## Trabajo colaborativo

Capacidad para formar un grupo y trabajar en conjunto, participando activamente y movilizand o aspectos positivos que favorezcan la conducción y el logro de las metas propuestas. Esta competencia implica la colaboración y desarrollo de actividades en conjunto hacia un objetivo común, considerando los conocimientos y las habilidades de todo el grupo.

Innovar

Adaptar

Dominar

Aplicar

Apoyar

Las personas con esta competencia ayudan al equipo a:

- Fortalecer el espíritu de trabajo en equipo.
- Desarrollar un ambiente de trabajo amistoso y con espíritu de cooperación.
- Promover la colaboración de los distintos miembros del equipo.

Involucrado en:

- 

Patrones:

- Rol

Recursos:

-

**Figura 5-19. Tarjeta de la competencia: Trabajo colaborativo**  
Elaboración propia

### Trabajo colaborativo

**Nivel 1: Apoyar**

- Es capaz de colaborar con otras persona, apoyando el trabajo en equipo.

**1 / 5**

### Trabajo colaborativo

**Nivel 2: Aplicar**

- Es capaz de razonar con otras personas sobre un contexto, para llegar a metas conjuntas del equipo de trabajo.

**2 / 5**

### Trabajo colaborativo

**Nivel 3: Dominar**

- Es capaz de dar y recibir retroalimentación constructiva de otras personas, buscando el beneficio colectivo del equipo de trabajo.

**3 / 5**

### Trabajo colaborativo

**Nivel 4: Adaptar**

- Es capaz de satisfacer demandas complejas y requisitos de los esfuerzos de ingeniería de software.
- Es capaz de dirigir y ayudar a otras personas que trabajan en el dominio.

**4 / 5**

### Trabajo colaborativo

**Nivel 5: Innovar**

- Es capaz de apoyar a otras personas en el dominio, logrando conformar equipos de trabajo eficientes y con rendimientos excepcionales.

**5 / 5**

**Figura 5-20. Tarjeta de nivel de competencia: Trabajo colaborativo**  
Elaboración propia

### 5.1.3 Niveles de competencia de un equipo de desarrollo de proyectos SIG

Considerando los roles y las competencias se proponen los niveles de competencia de cada rol identificado para conformar un equipo de desarrollo de proyectos SIG de alto rendimiento (véanse las Figuras 5-21 a 5-24)

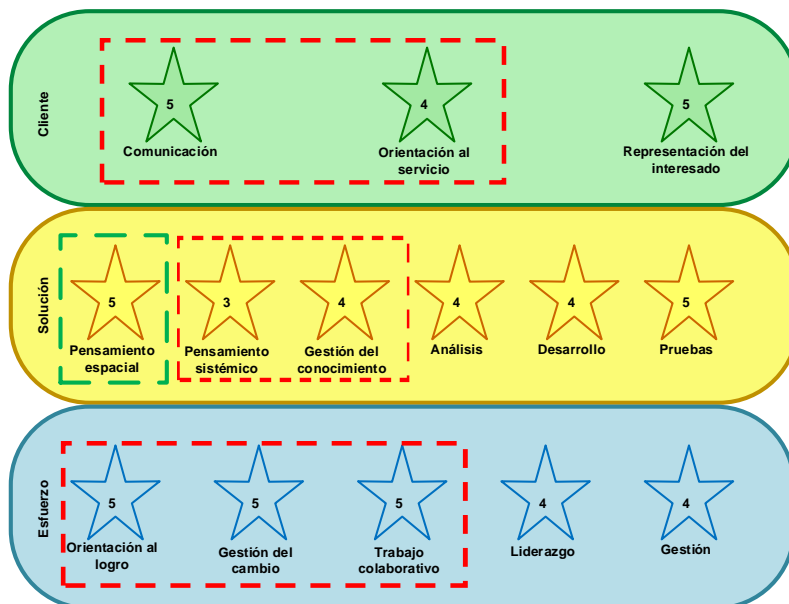


Figura 5-21. Competencias y niveles de competencia del rol: Director SIG  
Elaboración propia

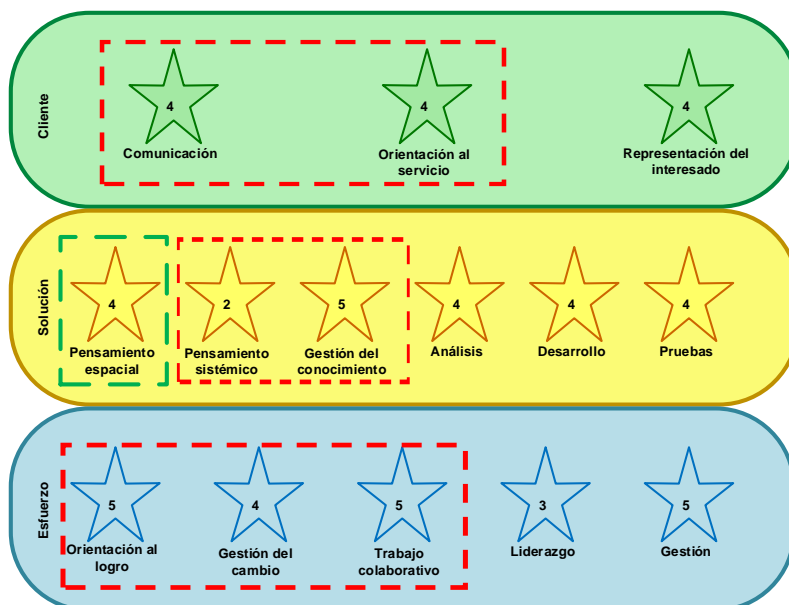


Figura 5-22. Competencias y niveles de competencia del rol: Especialista SIG  
Elaboración propia

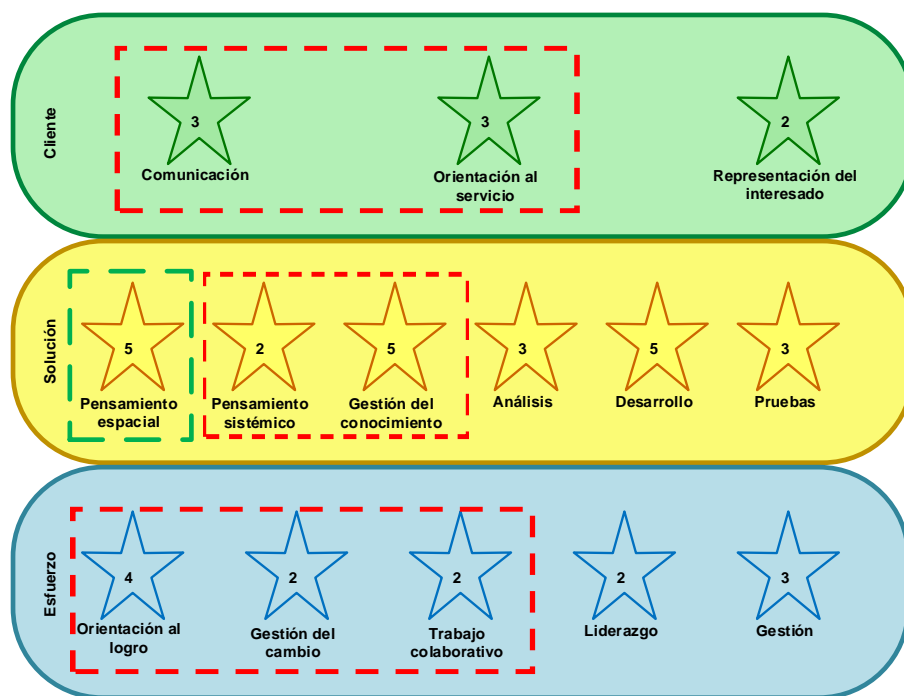


Figura 5-23. Competencias y niveles de competencia del rol: Desarrollador SIG  
Elaboración propia

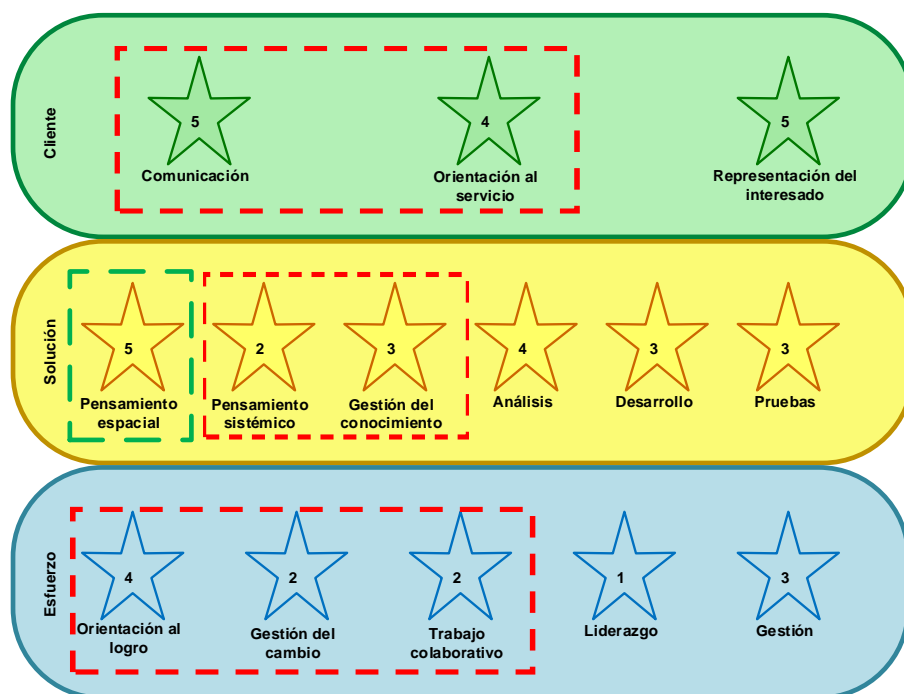
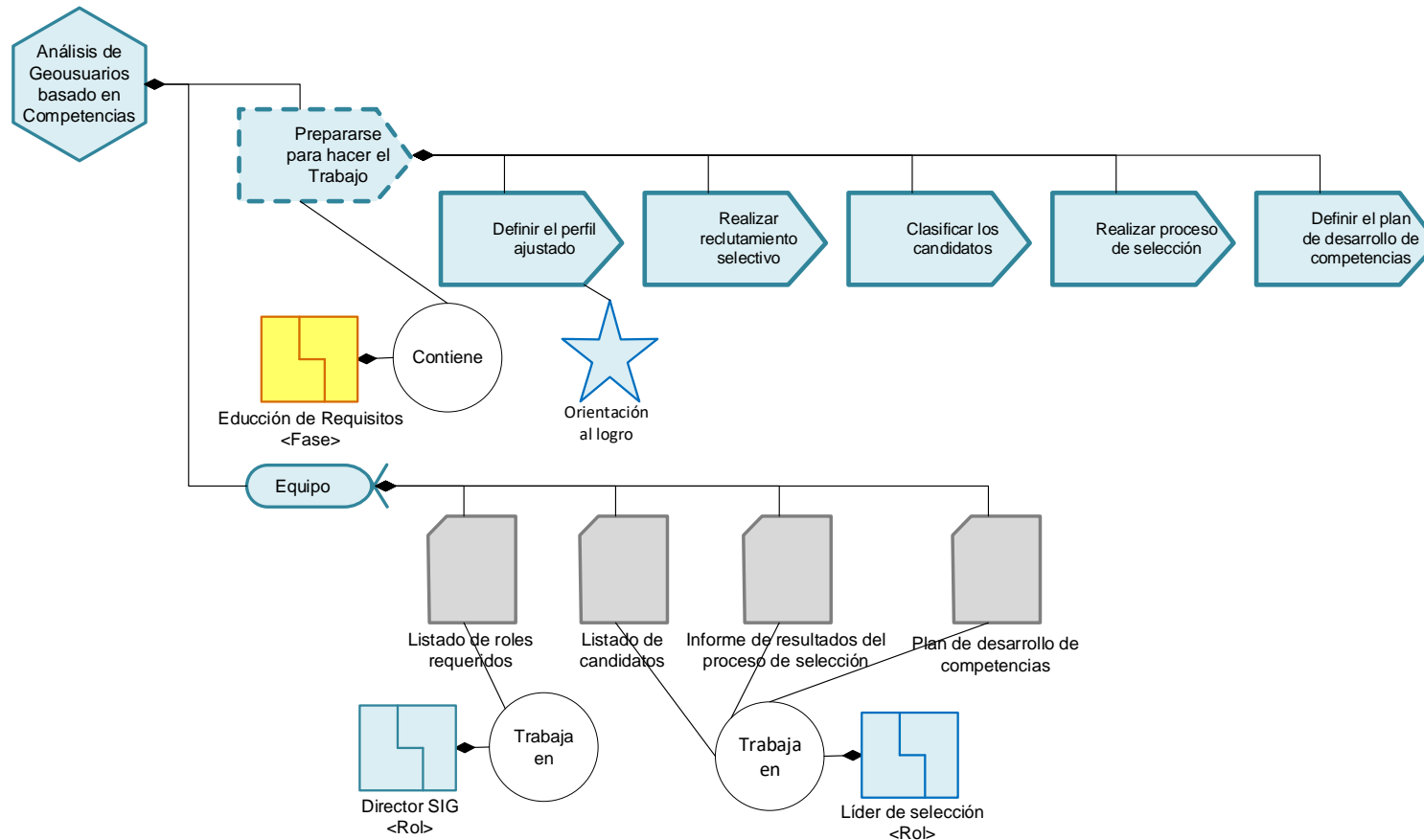


Figura 5-24. Competencias y niveles de competencia del rol: Analista de geodatos  
Elaboración propia



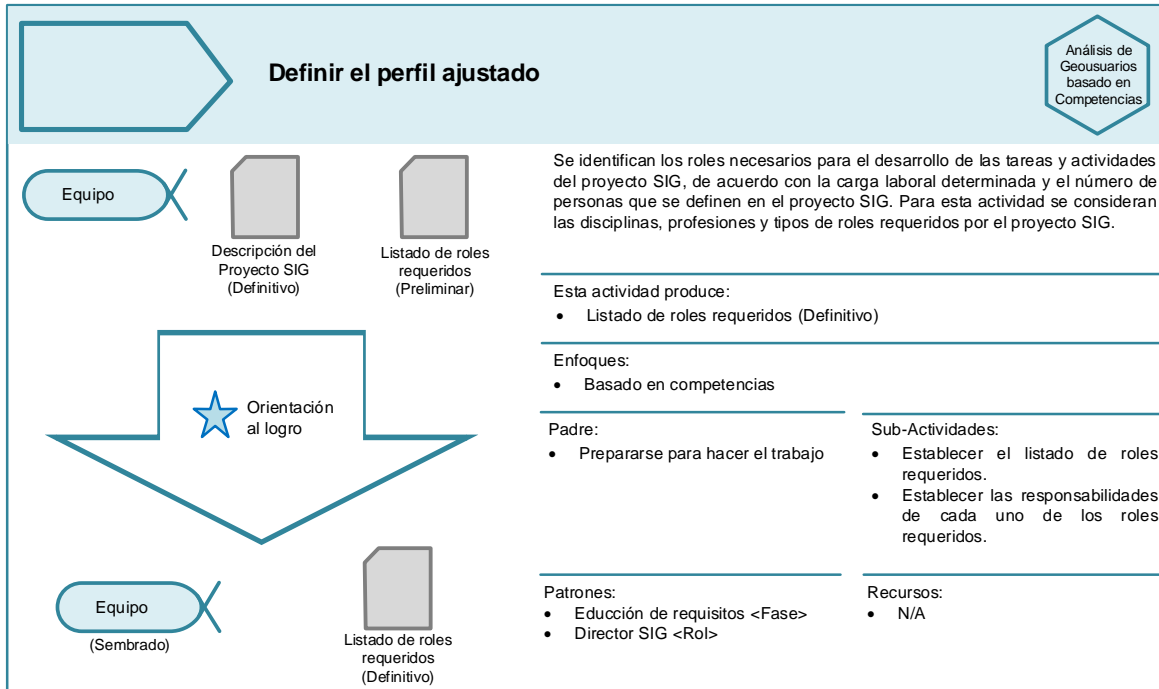
### 5.1.4 Elementos de la práctica análisis de geousuarios basado en competencias

En la Figura 5-25 se proponen los elementos de la práctica análisis de geousuarios basado en competencias representados en el núcleo de la Esencia de *Semat*.

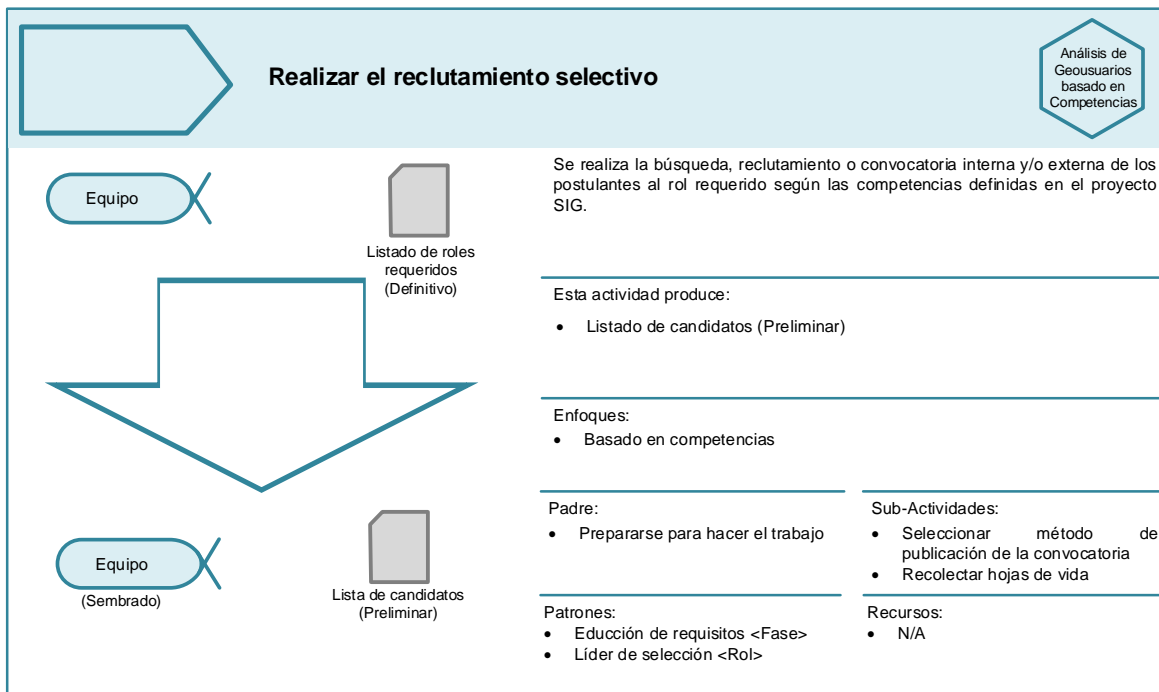


**Figura 5-25. Práctica: Análisis de geousuarios basado en competencias**  
Elaboración propia

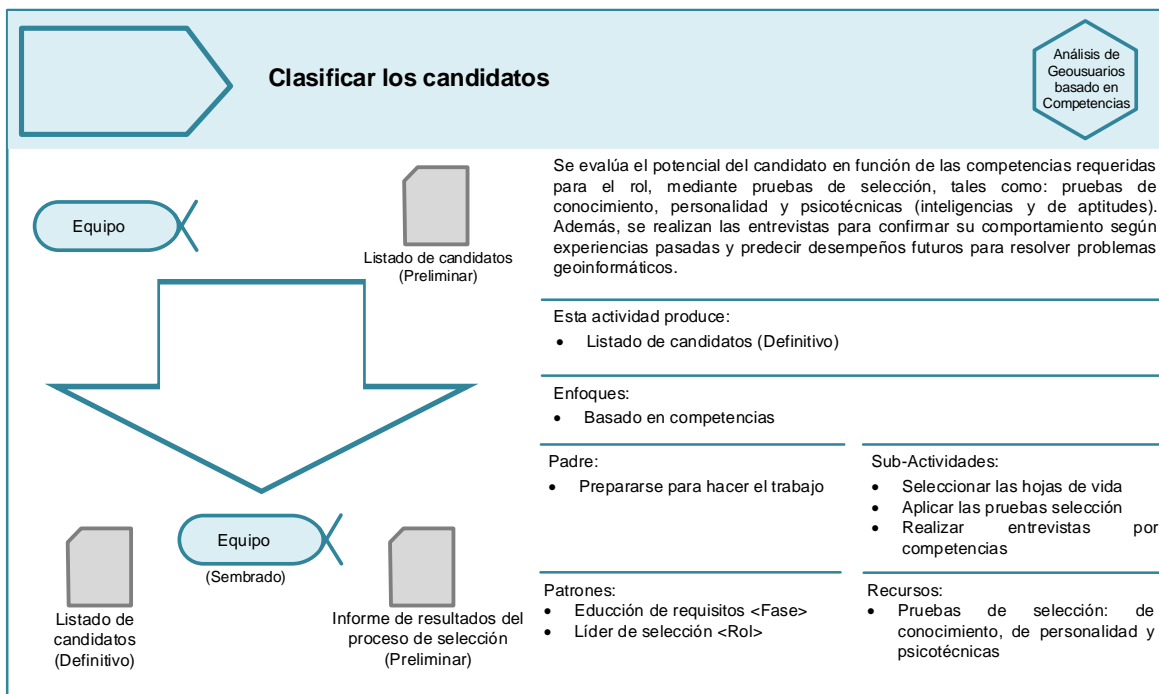
A continuación, se proponen las tarjetas de definición de las actividades de la práctica análisis de geousuarios basado en competencias (véanse las Figuras 5-26 a 5-30).



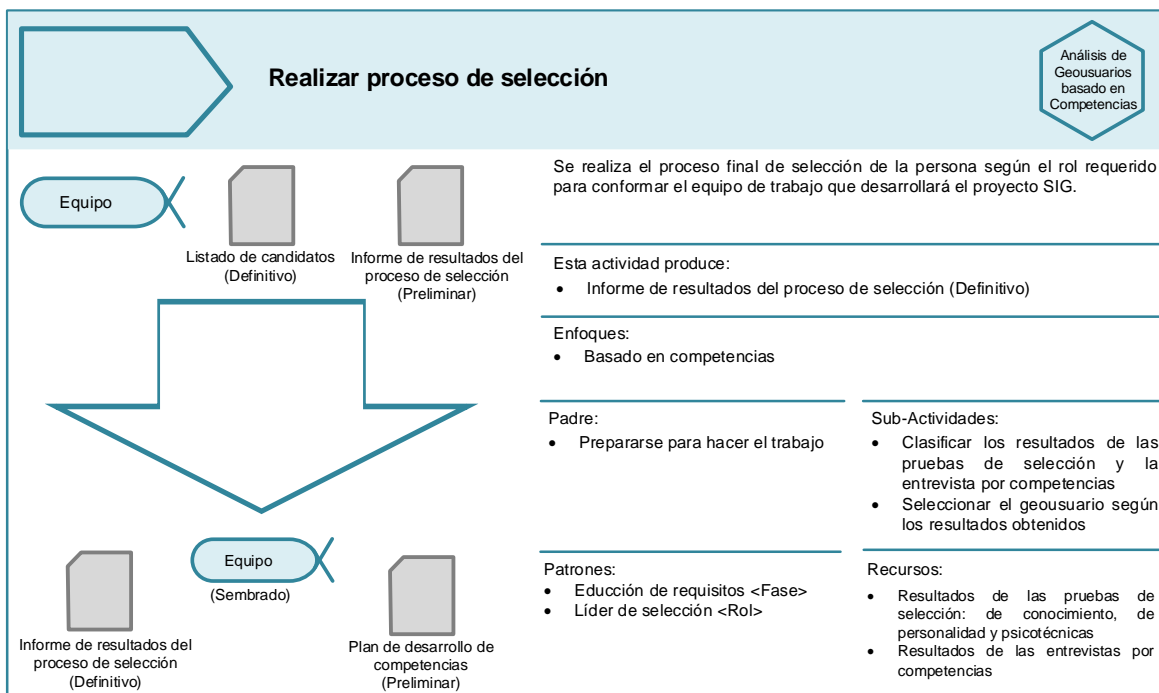
**Figura 5-26. Tarjeta de definición de actividad: Definir el perfil ajustado**  
Elaboración propia



**Figura 5-27. Tarjeta de definición de actividad: Realizar reclutamiento selectivo**  
Elaboración propia



**Figura 5-28. Tarjeta de definición de actividad: Clasificar los candidatos**  
Elaboración propia



**Figura 5-29. Tarjeta de definición de actividad: Realizar proceso de selección**  
Elaboración propia

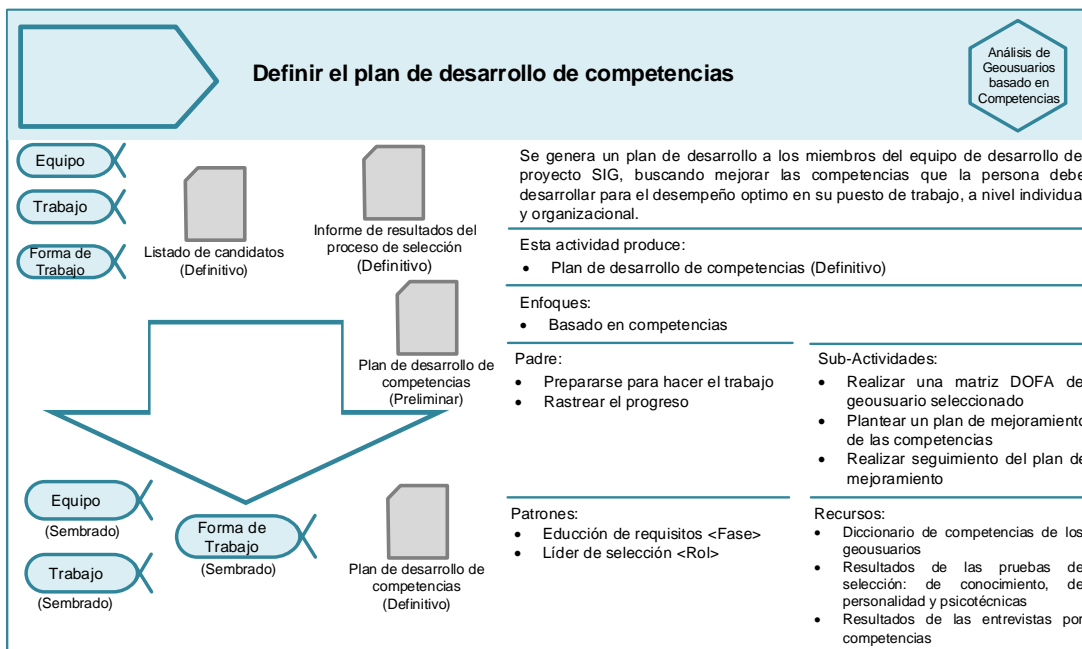


Figura 5-30. Tarjeta de definición de actividad: Definir el plan de desarrollo de competencias  
Elaboración propia

A continuación, se proponen las tarjetas de definición de los productos de trabajo de la práctica análisis de geousuarios basado en competencias (véanse las Figuras 5-31 a 5-34).

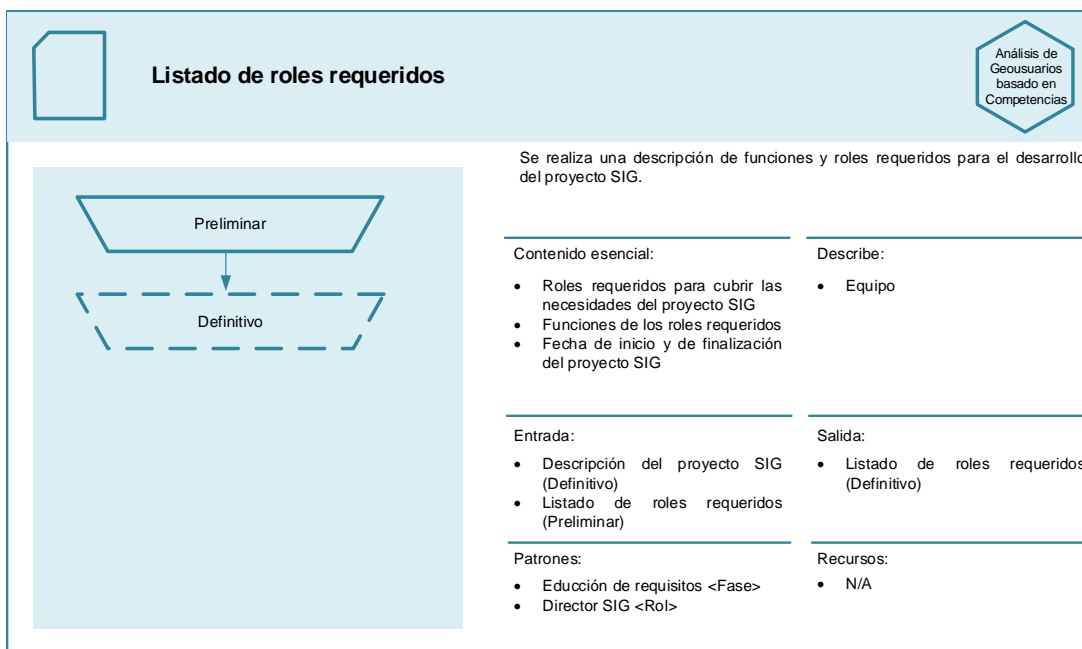
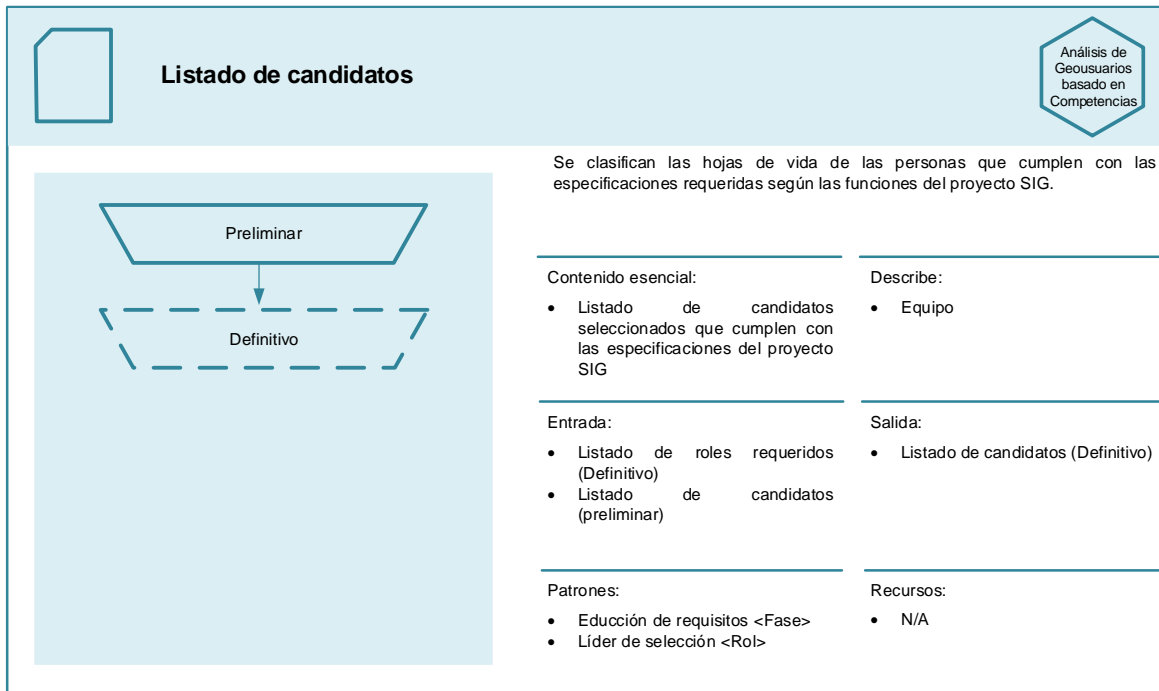
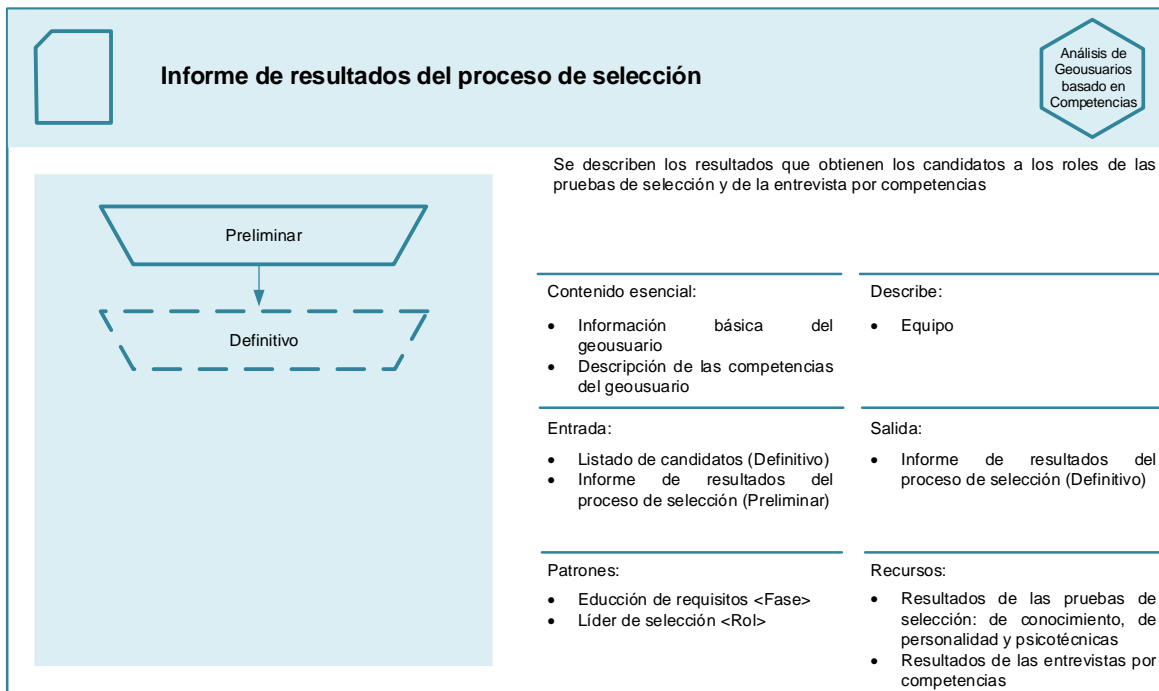


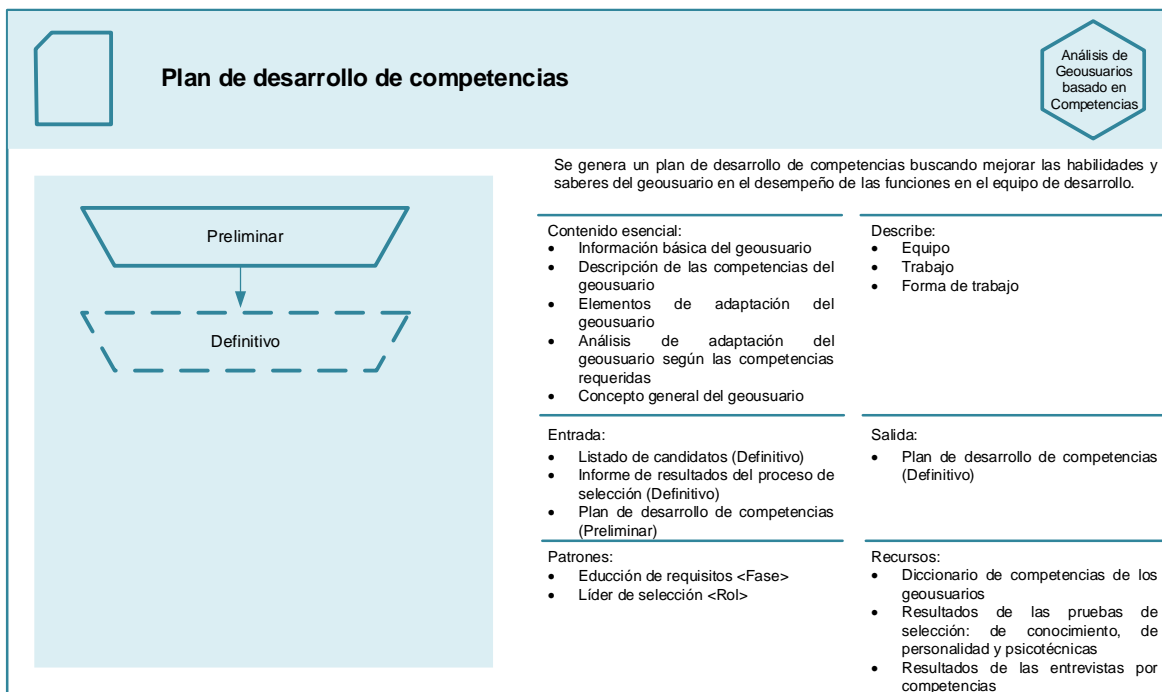
Figura 5-31. Tarjeta de definición de producto de trabajo: Listado de roles requeridos  
Elaboración propia



**Figura 5-32. Tarjeta de definición de producto de trabajo: Listado de candidatos**  
Elaboración propia



**Figura 5-33. Tarjeta de definición de producto de trabajo: Informe de resultados del proceso de selección**  
Elaboración propia



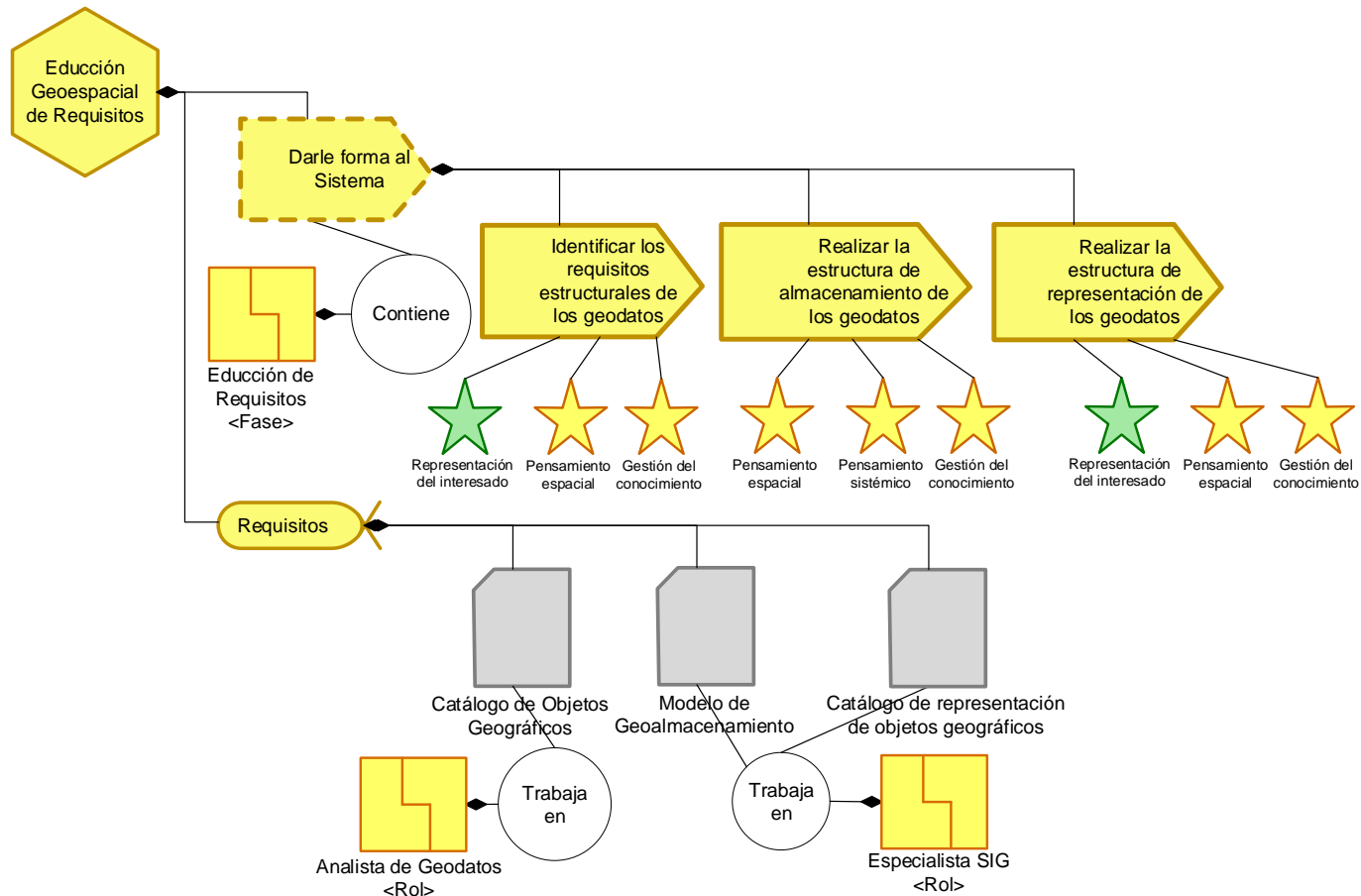
**Figura 5-34. Tarjeta de definición de producto de trabajo: Plan de desarrollo de competencias**  
Elaboración propia

## 5.2 Educción Geoespacial de Requisitos

La educción de requisitos de software es una fase de la ingeniería de requisitos que busca identificar las necesidades del *stakeholder* para construir una solución informática (Kont y Sommerville, 2000). En el caso de los proyectos SIG, la educción geoespacial de requisitos permite identificar un terreno común de las cosas que se deben atender en el ciclo de desarrollo de los proyectos SIG para modelar conceptual, física y lógicamente las entidades y fenómenos geográficos requeridos para los proyectos SIG. Además, ayuda a identificar los elementos que se requieren en la abstracción de geodatos para representar eventos espacio-temporales y generar los productos de trabajo requeridos según las fases de educción de requisitos y de planeación y diseño del proyecto SIG (Durango-Vanegas *et al.*, 2018b; Arias y Durango, 2018; Castrillón *et al.*, 2019).

### 5.2.1 Elementos de la práctica educación geoespacial de requisitos

En la Figura 5-35 se proponen los elementos de la práctica educación geoespacial de requisitos representados en el núcleo de la Esencia de *Semat*.



**Figura 5-35. Práctica: Educación Geoespacial de Requisitos**  
Elaboración propia

A continuación, se proponen las tarjetas de definición de las actividades de la práctica educación geoespacial de requisitos (véanse las Figuras 5-36 a 5-38).

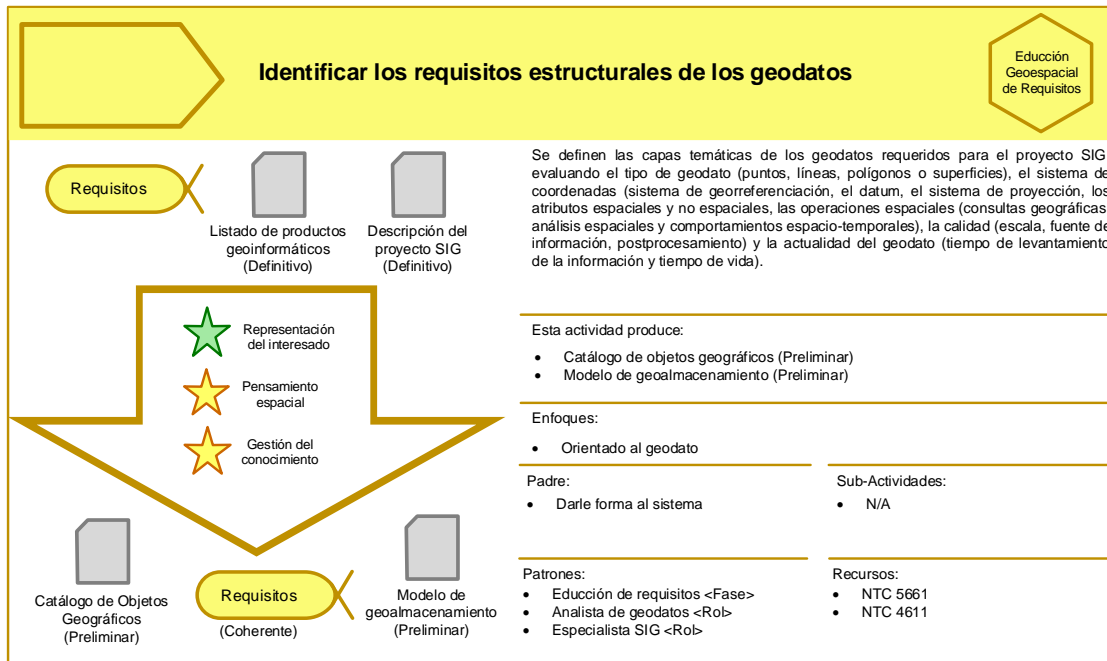


Figura 5-36. Tarjeta de definición de actividad: Identificar los requisitos estructurales de los geodatos  
Elaboración propia

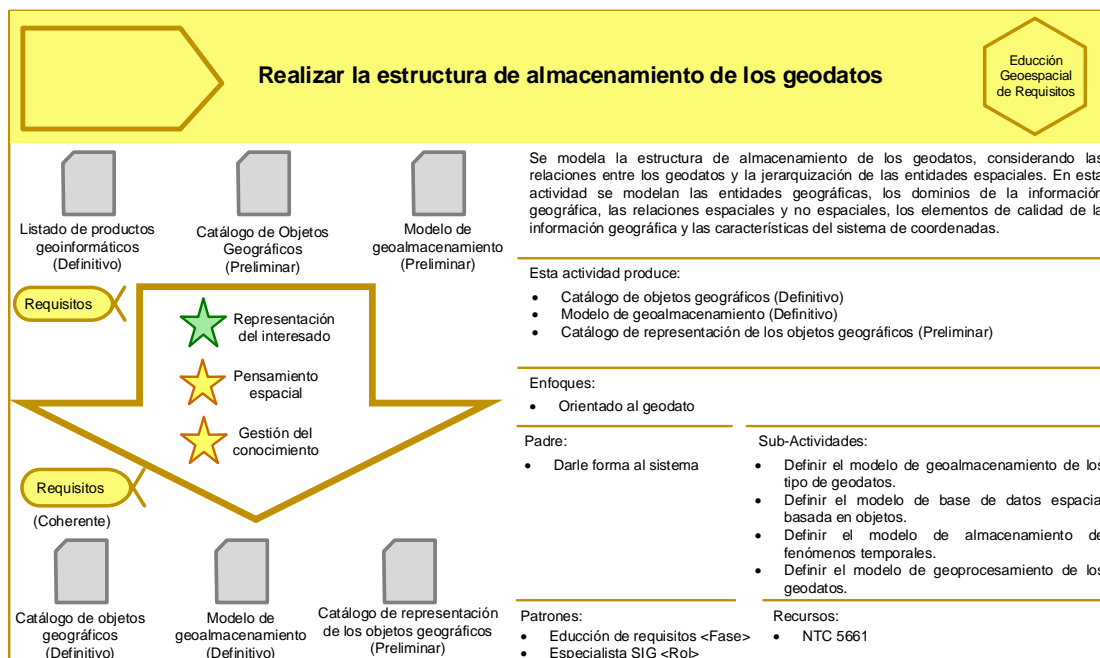


Figura 5-37. Tarjeta de definición de actividad: Realizar la estructura de almacenamiento de los geodatos  
Elaboración propia



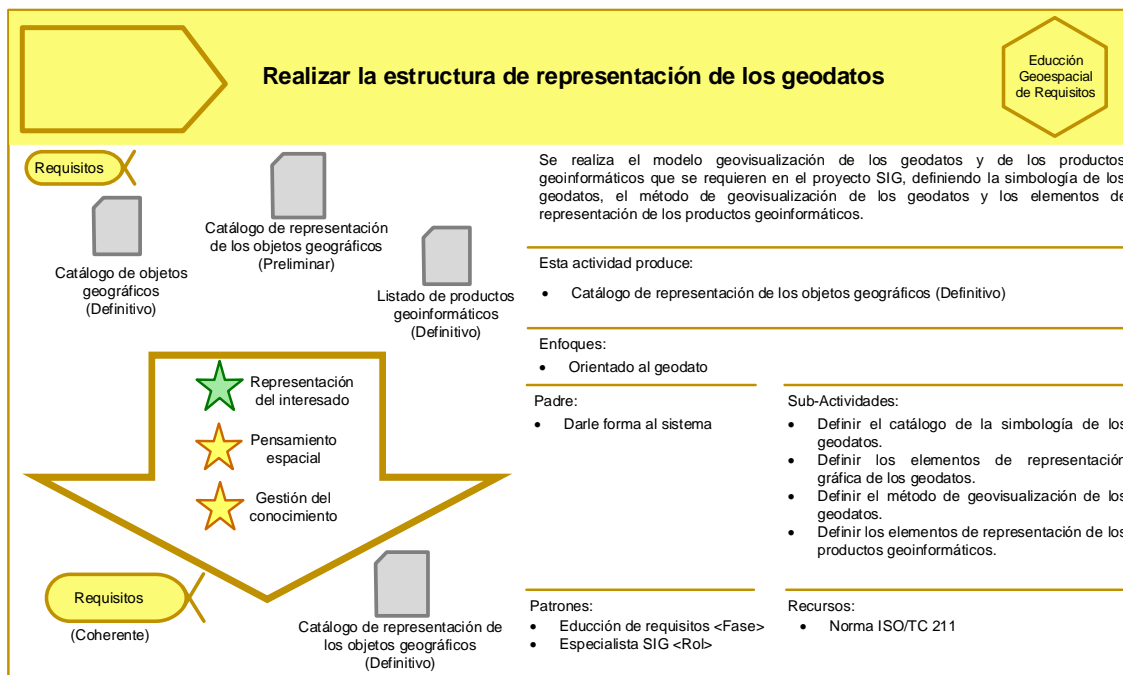


Figura 5-38. Tarjeta de definición de actividad: Realizar la estructura de representación de los geodatos  
Elaboración propia

A continuación, se presentan las tarjetas de definición de los productos de trabajo de la práctica análisis de geousuario basado en competencias (véanse las Figuras 5-39 a 5-41).

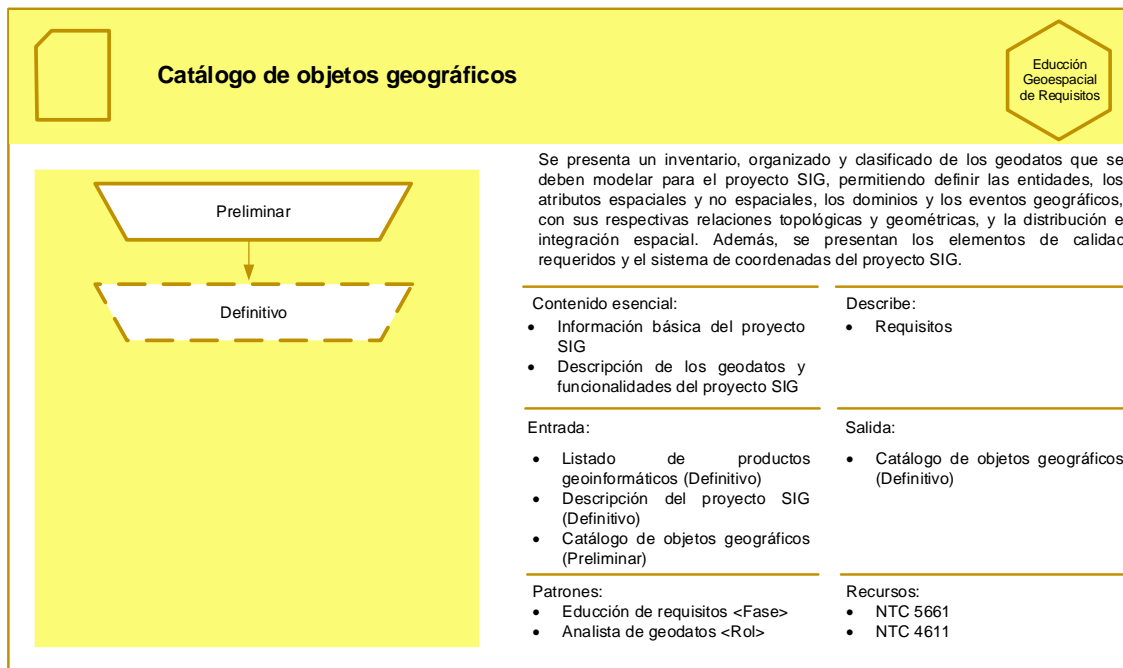


Figura 5-39. Tarjeta de definición de producto de trabajo: Catálogo de objetos geográficos  
Elaboración propia

### Modelo de geoalmacenamiento

Educación Geoespacial de Requisitos

Se presenta el modelo de geoalmacenamiento de los objetos geográficos, manteniendo la integridad espacial de los atributos temáticos y temporales. Además, el producto de trabajo contiene el modelo de las herramientas de geoprocésamiento requeridas por el proyecto SIG, como Toolbox y ModelBuilder.

<b>Contenido esencial:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Información básica del proyecto SIG</li> <li>Descripción del modelo de almacenamiento</li> <li>Modelo relacional de la base de datos espacial</li> </ul>	<b>Describe:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Requisitos</li> </ul>
<b>Entrada:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Listado de productos geoinformáticos (Definitivo)</li> <li>Catálogo de objetos geográficos (Definitivo)</li> <li>Modelo de geoalmacenamiento (Preliminar)</li> </ul>	<b>Salida:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Modelo de geoalmacenamiento (Definitivo)</li> </ul>
<b>Patrones:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Educación de requisitos &lt;Fase&gt;</li> <li>Especialista SIG &lt;Rol&gt;</li> </ul>	<b>Recursos:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>NTC 5661</li> </ul>

**Figura 5-40. Tarjeta de definición de producto de trabajo: Modelo de geoalmacenamiento**  
Elaboración propia

### Catálogo de representación de objetos geográficos

Educación Geoespacial de Requisitos

Se presenta el modelo de geovisualización de la información geográfica, mediante la representación temática, dinámica y estática de los geodatos. Además, se presentan las plantillas de los mapas que definen los productos entregables del proyecto SIG.

<b>Contenido esencial:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Información básica del proyecto SIG</li> <li>Descripción de la representación gráfica de los geodatos: símbolos y colores, entre otros.</li> </ul>	<b>Describe:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Requisitos</li> </ul>
<b>Entrada:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Catálogo de objetos geográficos (Definitivo)</li> <li>Catálogo de representación de objetos geográficos (Preliminar)</li> <li>Listado de productos geoinformáticos (Definitivo)</li> </ul>	<b>Salida:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Catálogo de representación de objetos geográficos (Definitivo)</li> </ul>
<b>Patrones:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Educación de requisitos &lt;Fase&gt;</li> <li>Especialista SIG &lt;Rol&gt;</li> </ul>	<b>Recursos:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Norma ISO/TC 211</li> </ul>

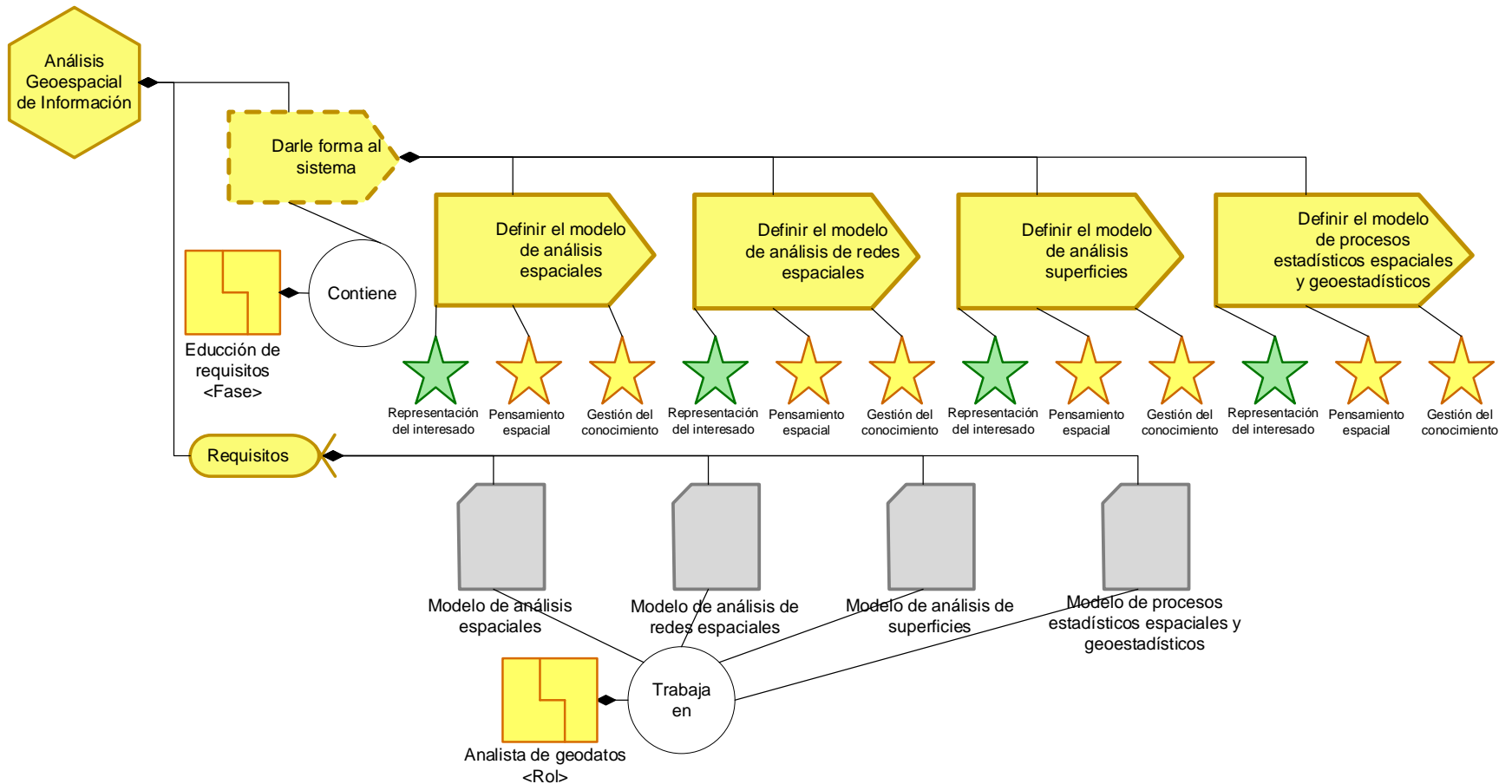
**Figura 5-41. Tarjeta de definición de producto de trabajo: Catálogo de representación de objetos geográficos**  
Elaboración propia

### **5.3 Análisis Geoespacial de Información**

Inicialmente, los proyectos SIG se enfocaban en realizar mapas automatizados con alta calidad gráfica y comparaciones de geodatos mediante manipulación matemática de capas temáticas. En la actualidad, la evolución de los proyectos SIG requiere nuevos procesos enfocados en el manejo de estándares estadísticos que permiten simular comportamiento del geodato mediante análisis espaciales, de redes espaciales, de superficies, estadísticos y geoestadísticos para verificar hipótesis relacionadas con el comportamiento geoespacial (Burrough, 2001; Kiehle, 2006). Por ello, es importante considerar en el ciclo de desarrollo de los proyectos SIG una buena práctica que incluya los análisis espaciales para representar, modelar y simular las características dinámicas de los geodatos y los eventos espacio-temporales que se presentan en el territorio.

### 5.3.1 Elementos de la práctica análisis geoespacial de información

En la Figura 5-42 se proponen los elementos de la práctica análisis geoespacial de información representados en el núcleo de la Esencia de *Semat*.



**Figura 5-42. Práctica: Análisis Geoespacial de Información.**  
Elaboración propia

A continuación, se presentan las tarjetas de definición de las actividades de la práctica análisis geoespacial de información (véanse las Figuras 5-43 a 5-46).

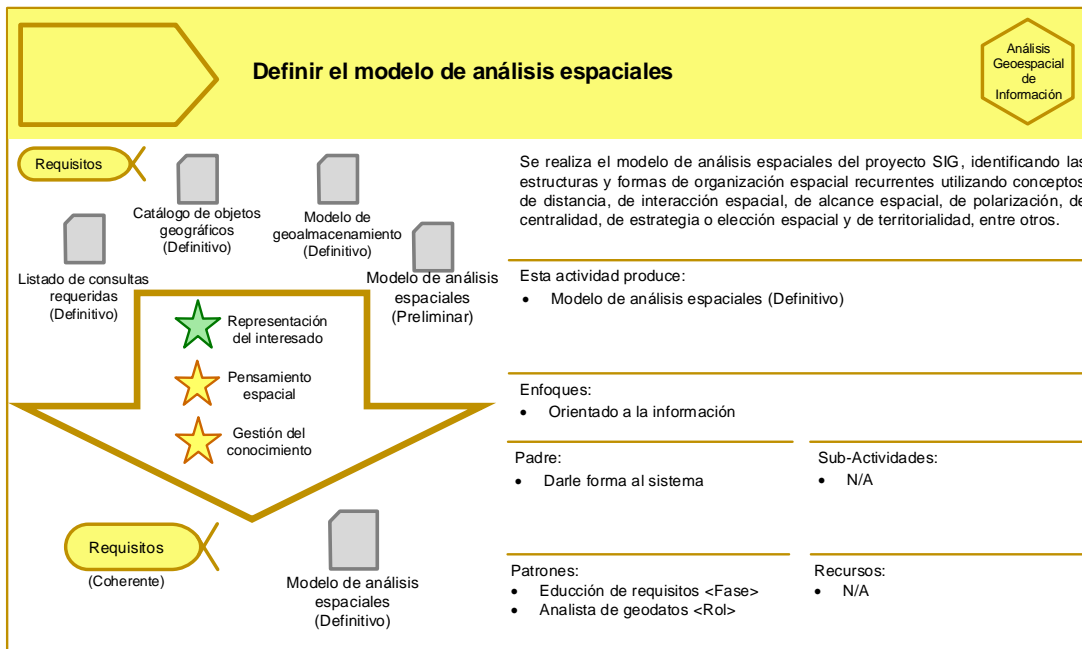


Figura 5-43. Tarjeta de definición de actividad: Definir el modelo de análisis espaciales  
Elaboración propia

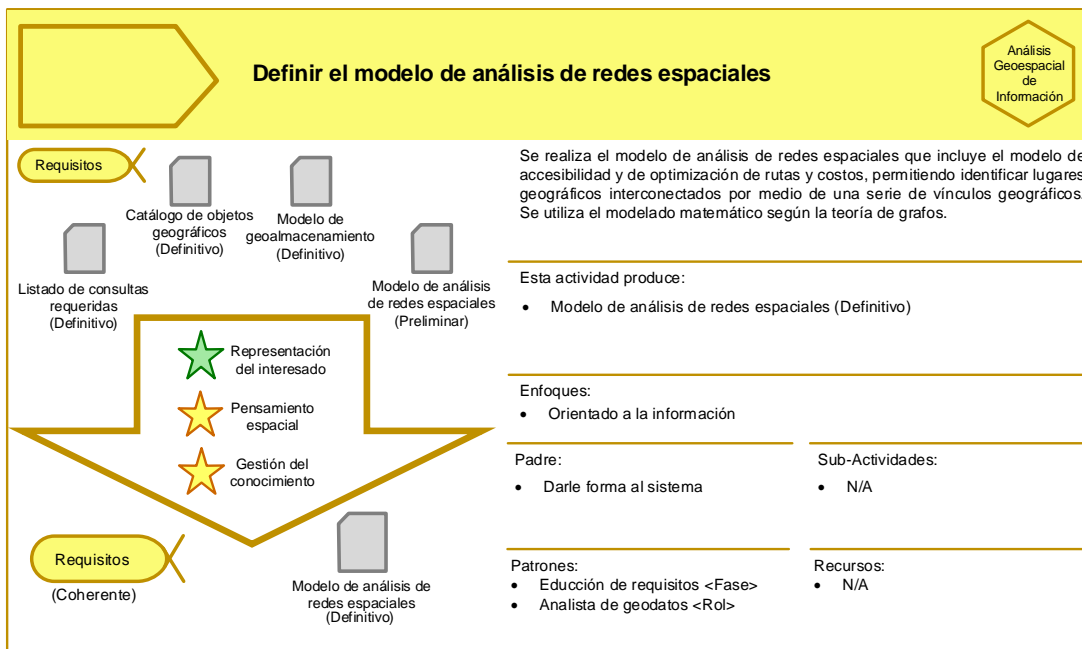


Figura 5-44. Tarjeta de definición de actividad: Definir el modelo de análisis de redes espaciales  
Elaboración propia

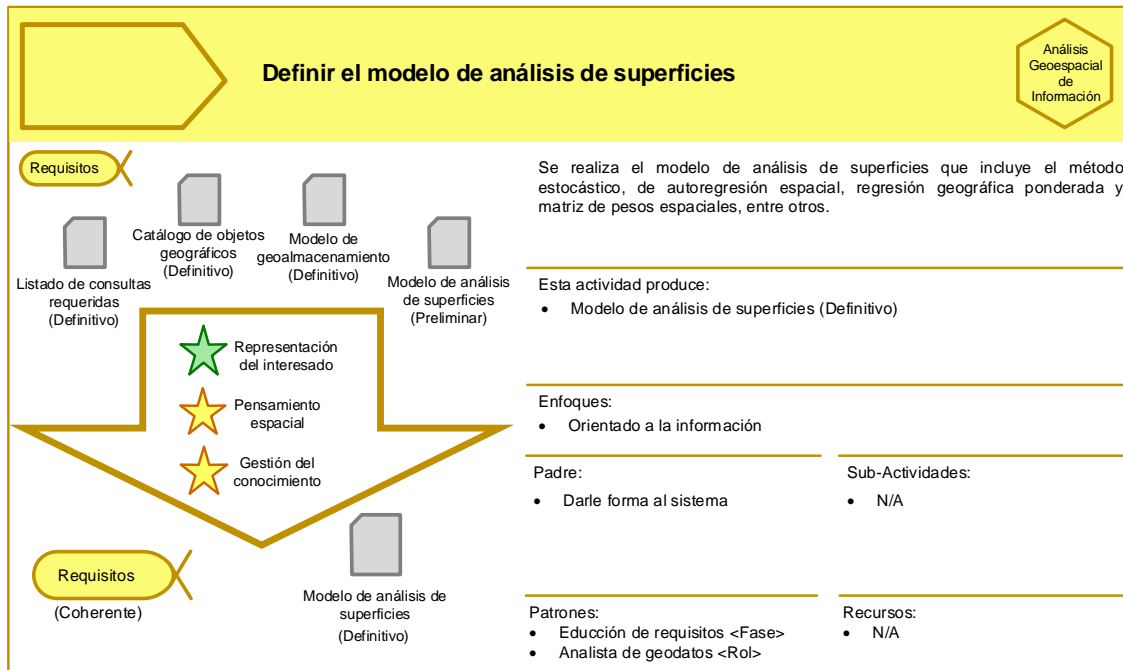


Figura 5-45. Tarjeta de definición de actividad: Definir el modelo de análisis de superficies  
Elaboración propia

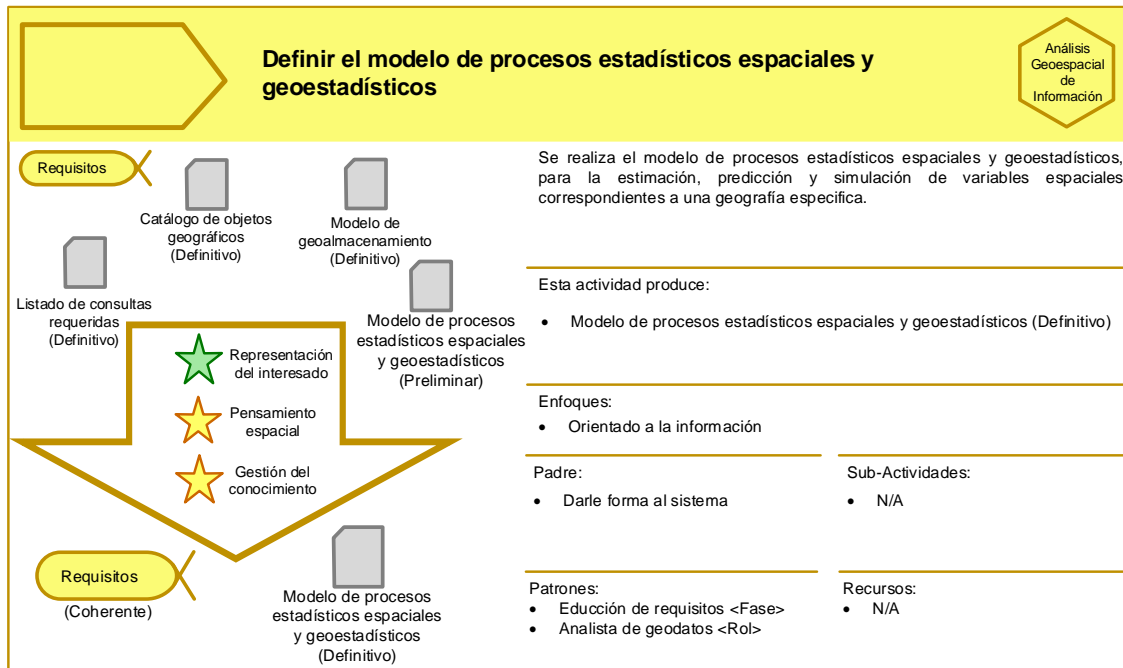


Figura 5-46. Tarjeta de definición de actividad: Definir el modelo de procesos estadísticos espaciales y geostatísticos  
Elaboración propia

A continuación, se proponen las tarjetas de definición de los productos de trabajo de la práctica análisis geoespacial de información (véanse las Figuras 5-47 a 5-50).

### Modelo de análisis espaciales

Análisis Geoespacial de Información

Preliminar

↓

Definitivo

Se presenta el modelo de estructuras y formas de organización espacial recurrentes, teniendo en cuenta los conceptos de distancia, de interacción espacial, de alcance espacial, de polarización, de centralidad, de estrategia o elección espacial y de territorialidad, entre otros.

---

<b>Contenido esencial:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Descripción de las operaciones y métodos de análisis espaciales requeridos al proyecto SIG.</li> </ul>	<b>Describe:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Requisitos</li> </ul>
<b>Entrada:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Listado de consultas requeridas (Definitivo)</li> <li>Catálogo de objetos geográficos (Definitivo)</li> <li>Modelo de geocalmacenamiento (Definitivo)</li> <li>Modelo de análisis espaciales (Preliminar)</li> </ul>	<b>Salida:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Modelo de análisis espaciales (Definitivo)</li> </ul>
<b>Patrones:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Educción de requisitos &lt;Fase&gt;</li> <li>Analista de geodatos &lt;Ro&gt;</li> </ul>	<b>Recursos:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>N/A</li> </ul>

**Figura 5-47. Tarjeta de definición de producto de trabajo: Modelo de análisis espaciales**  
Elaboración propia

### Modelo de análisis de redes espaciales

Análisis Geoespacial de Información

Preliminar

↓

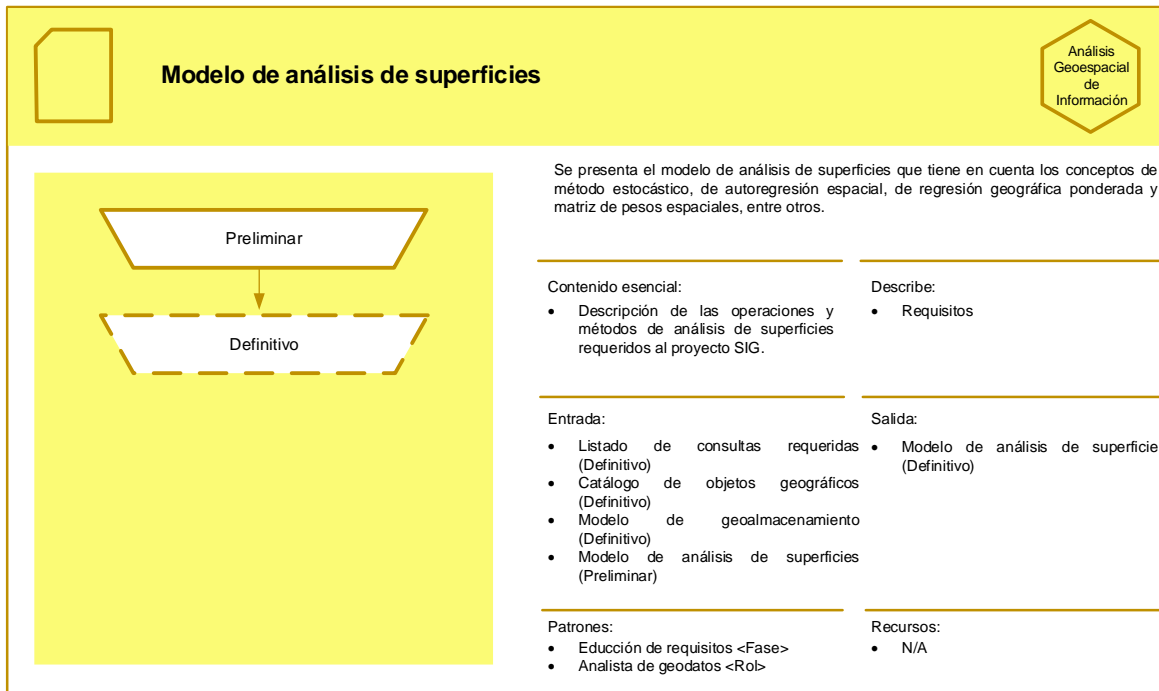
Definitivo

Se presenta el modelo de análisis de redes espacial para trasladar información geoespacial, mediante el modelado matemático según teoría de grafos, herramientas computacionales y geográficas para el proyecto SIG.

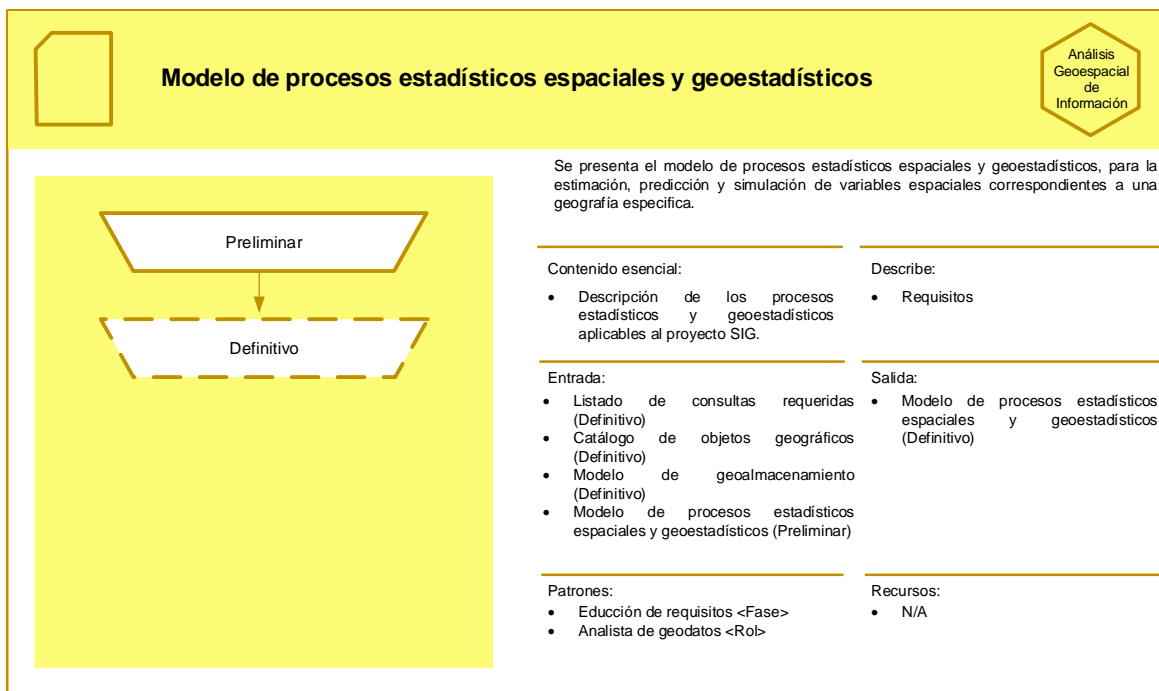
---

<b>Contenido esencial:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Descripción de los operaciones y procesos de redes espaciales aplicables al proyecto SIG.</li> </ul>	<b>Describe:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Requisitos</li> </ul>
<b>Entrada:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Listado de consultas requeridas (Definitivo)</li> <li>Catálogo de objetos geográficos (Definitivo)</li> <li>Modelo de geocalmacenamiento (Definitivo)</li> <li>Modelo de análisis de redes espaciales (Preliminar)</li> </ul>	<b>Salida:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Modelo de análisis de redes espaciales (Definitivo)</li> </ul>
<b>Patrones:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Educción de requisitos &lt;Fase&gt;</li> <li>Analista de geodatos &lt;Ro&gt;</li> </ul>	<b>Recursos:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>N/A</li> </ul>

**Figura 5-48. Tarjeta de definición de producto de trabajo: Modelo de análisis de redes espaciales**  
Elaboración propia



**Figura 5-49. Tarjeta de definición de producto de trabajo: Modelo de análisis de superficies**  
Elaboración propia



**Figura 5-50. Tarjeta de definición de producto de trabajo: Modelo de procesos estadísticos espaciales y geoestadísticos**  
Elaboración propia



## 6. Validación de las buenas prácticas

Para la validación de las buenas prácticas representadas en el núcleo de la Esencia de *Semat*, se realizan casos de estudio comparativos de los métodos de desarrollo de proyectos SIG identificados, incorporando las buenas prácticas que se proponen. De igual manera, se valida con estudiantes de pregrado y posgrado mediante casos prácticos aplicados. Además, se valida con expertos mediante la generación de proyectos de investigación y publicación de artículos científicos, capítulo de libro, ponencias y un poster.

### 6.1 Casos de estudio comparativo

Los estudios comparativos se destacan por el valor de las descripciones, explicaciones o interpretaciones de la realidad que se realizan a partir de ellos. Por ello, se considera que la comparación es un acto de observación de dos o más cosas para descubrir sus relaciones o estimar sus diferencias y semejanzas (Piovani y Krawczyk, 2017). Según lo anterior, en esta Tesis de Doctorado se proponen tres buenas prácticas que se basan en los problemas encontrados en los principales métodos de desarrollo de proyectos SIG identificados y representados en el núcleo de la Esencia de *Semat*: el geousuario y el geodato. A continuación, se proponen las nuevas representaciones en el núcleo de la Esencia de *Semat* de los métodos SIG identificados, incorporando las nuevas prácticas de desarrollo de proyectos SIG.

#### 6.1.1 Método DISIG-CF

DISIG-CF se enfoca en aspectos técnicos del ciclo de desarrollo de los proyectos SIG. Lo anterior se evidencia en las representaciones en el núcleo de la Esencia de *Semat* del método DISIG-CF (véase la Sección 4.5) donde las actividades y productos de trabajo se incluyen en el área de interés solución y se enfocan en RUP®. De igual manera, se evidencia que el método DISIG-CF carece de actividades y productos de trabajo propios. A continuación, se presentan los cambios que se proponen para mejorar el método:

En la fase de análisis se propone eliminar la actividad identificar los requisitos y necesidades del SIG y el producto de trabajo educación de requisito porque se incluye en la buena práctica educación geoespacial de requisitos. Además, se propone cambiar la actividad identificar el contexto de la implementación del SIG por describir el proyecto SIG y el producto de trabajo modelado del negocio por contexto del SIG para obtener un producto de trabajo con la descripción general del problema, los riesgos del proyecto y el listado de productos geoinformáticos, entre otros. De igual manera, se propone cambiar la actividad realizar casos de uso a partir de los requisitos y el producto de trabajo especificación de requisitos por realizar diagramas de modelado de requisitos y el producto de trabajo diagramas UML porque se realizan productos de trabajo enfocados a diagramas UML: casos de uso del negocio, diagramas de actividades, diagrama de relación entre paquetes, diagrama de clases y modelo del dominio, entre otros (véase la Figura 6-1).

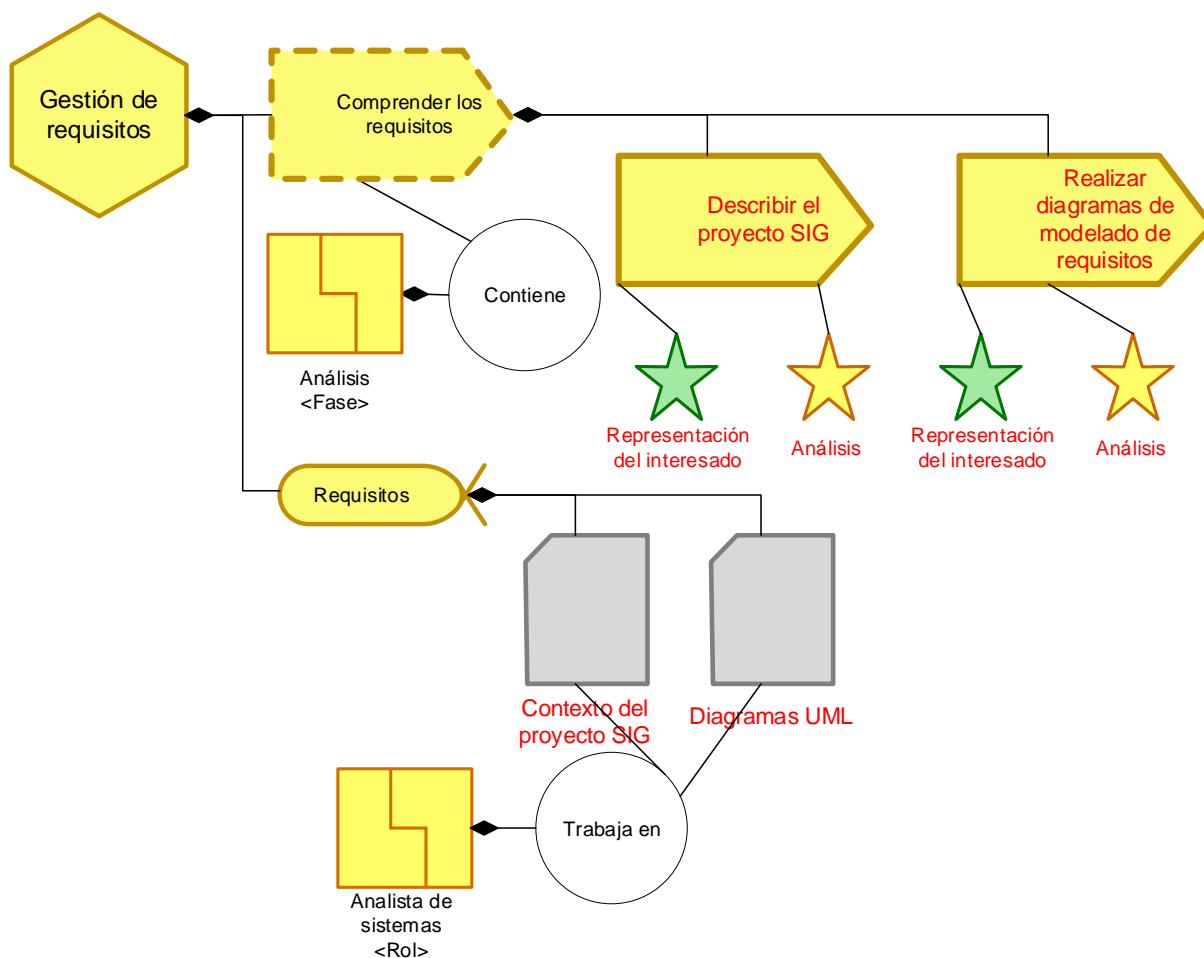
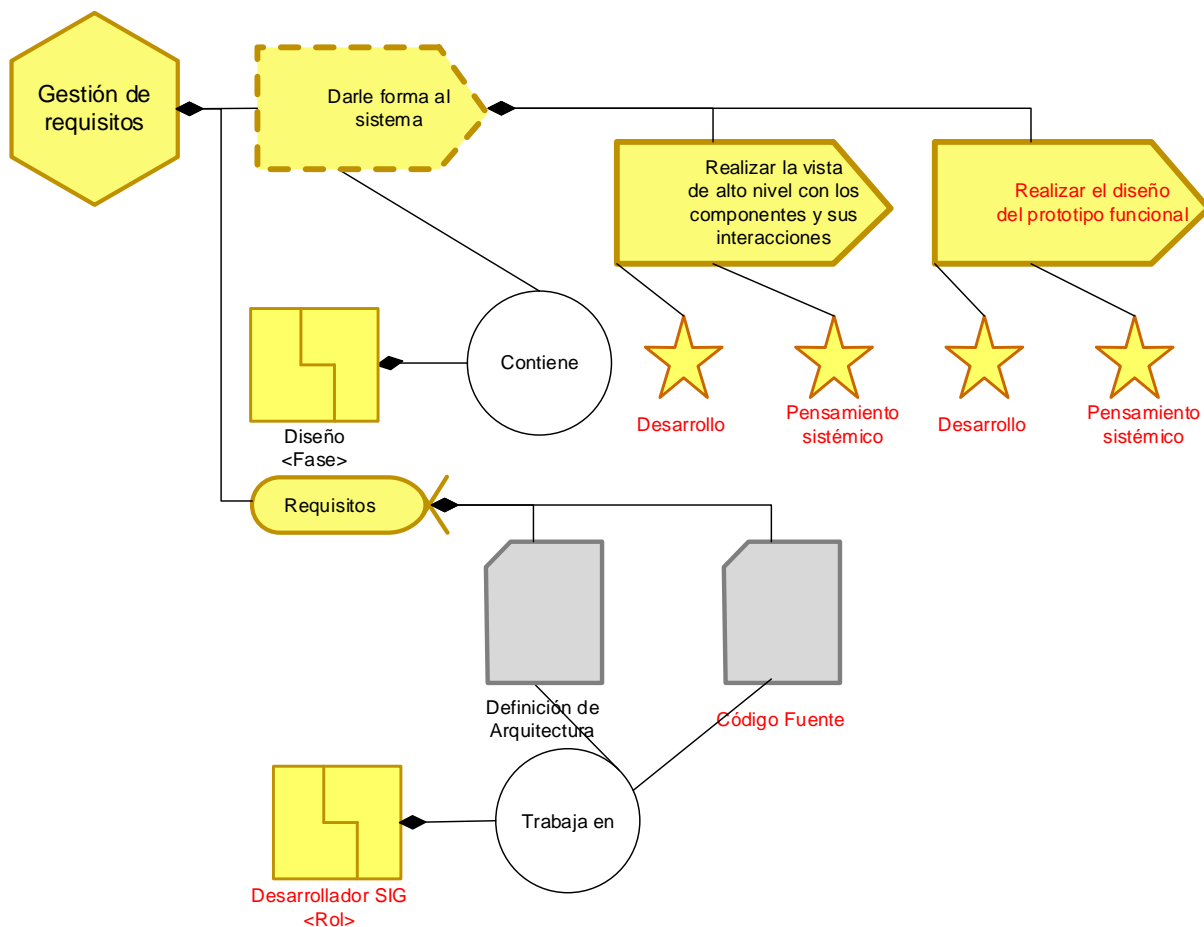


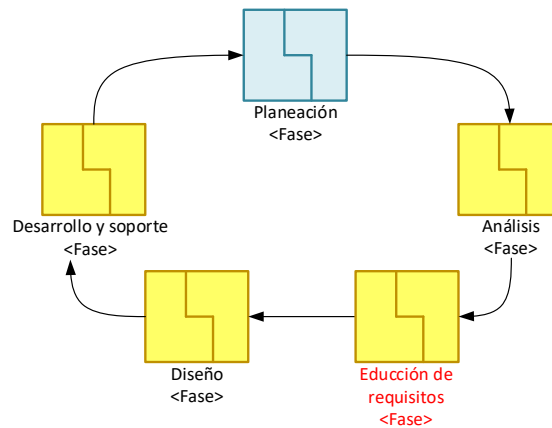
Figura 6-1. Propuesta fase: Análisis del método DISIG-CF  
Elaboración propia

En la fase de diseño se propone eliminar la actividad realizar la especificación del diseño estructural del SIG y el producto de trabajo diseño del SIG porque se incluye en la buena práctica educación geoespacial de requisitos. También, se propone cambiar la actividad realizar el diseño del prototipo de interfaz gráfica por realizar el diseño de un prototipo funcional porque los productos de trabajo son herramientas programadas para realizar funcionalidades de análisis espacial, edición y visualización del geodato y mantenimiento y actualización de la base de datos, entre otras. Mientras que las actividades de representación de los geodatos en la interfaz gráfica se consideran en la buena práctica educación geoespacial de requisitos (véase la Figura 6-2).

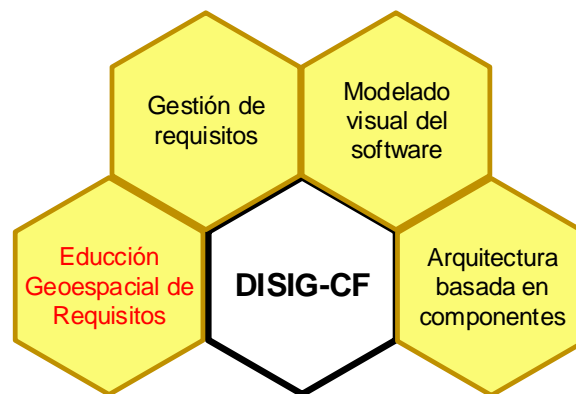


**Figura 6-2. Propuesta fase: Diseño del método DISIG-CF**  
Elaboración propia

En la Figura 6-3 se proponen las fases del método DISIG-CF, incorporando la fase educación de requisitos para atender la buena práctica educación geoespacial de requisitos y en la Figura 6-4 se proponen las buenas prácticas del método DISIG-CF.



**Figura 6-3. Propuesta: Fases del método DISIG-CF**  
Elaboración propia



**Figura 6-4. Propuesta: Buenas prácticas del método DISIG-CF**  
Elaboración propia

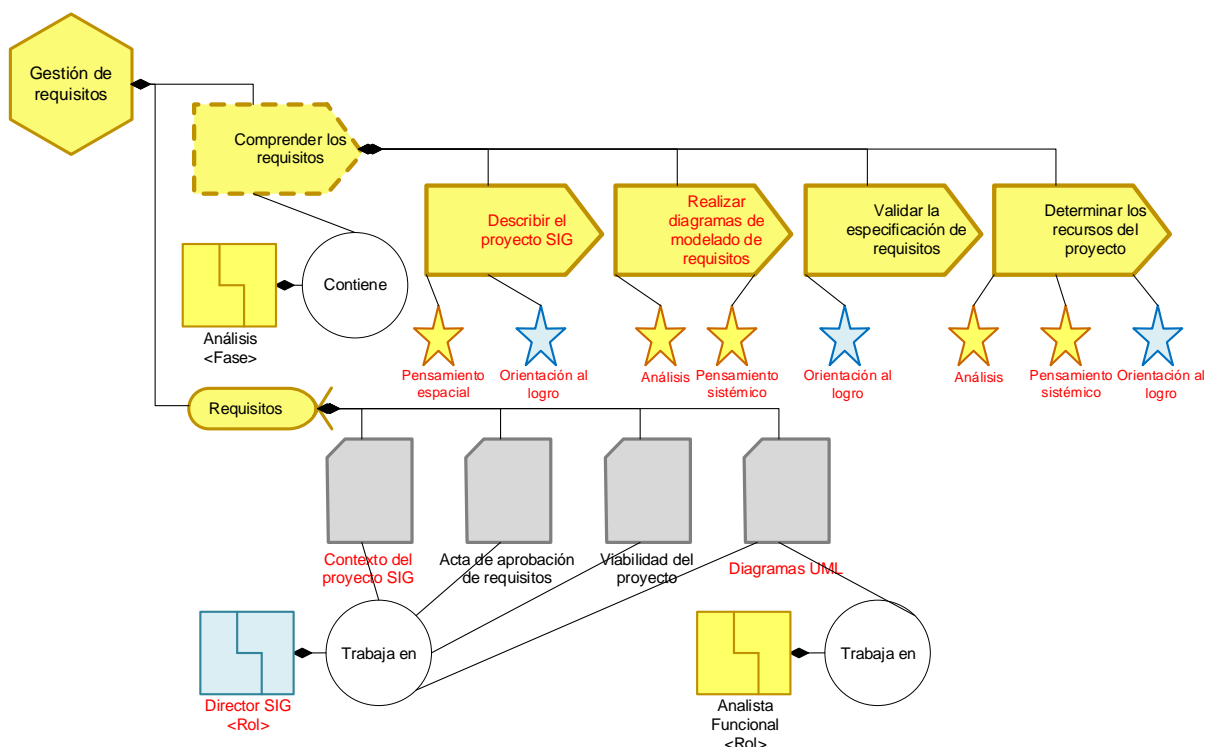
Para concluir, el método DISIG-CF se mejora al incorporar la práctica educación geoespacial de requisitos porque se identifican los elementos que se requieren en la abstracción de geodatos para representar eventos espacio-temporales y generar los productos de trabajo del proyecto SIG. Lo anterior permite incrementar la satisfacción del cliente y reducir costos y tiempo. Sin embargo, se recomienda incluir el modelo de geovisualización del geodato y los productos geoinformáticos adicionales de la buena práctica educación geoespacial de requisitos. Además, se recomienda incorporar la práctica análisis geoespacial de información que incluye los análisis espaciales para representar, modelar y simular las características dinámicas de los geodatos y los eventos espacio-temporales que se presentan en el territorio. También, se recomienda incorporar la buena práctica gestión de geousuarios basado en competencias para identificar los principales roles, las competencias y los niveles de competencia de un equipo de desarrollo de proyectos SIG.

### 6.1.2 Método MDS-IGAC

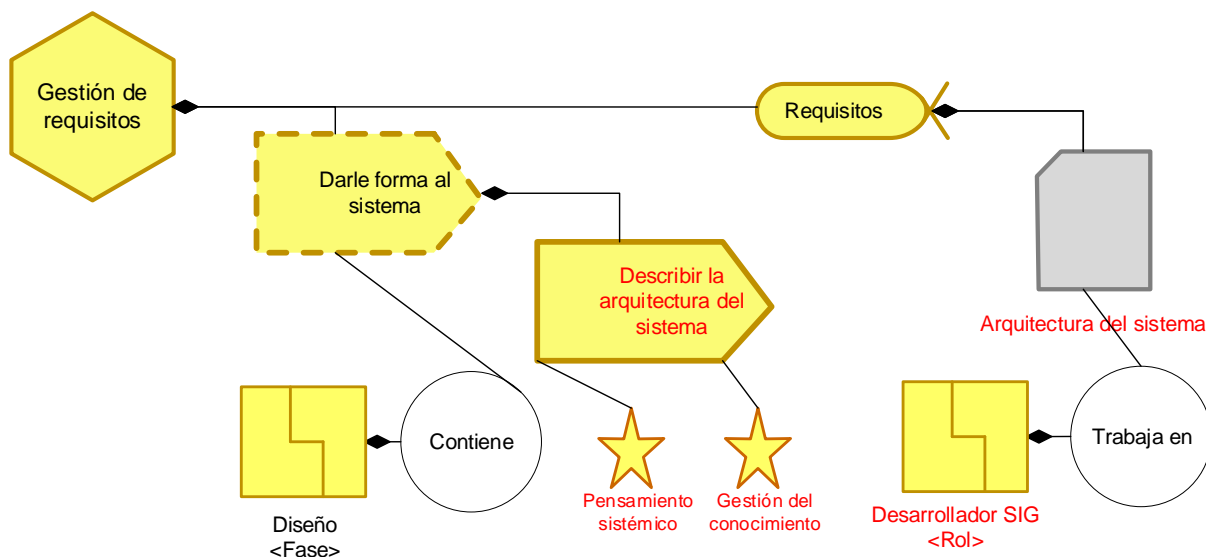
MDS-IGAC se enfoca en aspectos técnicos del ciclo de desarrollo de los proyectos SIG. Lo anterior se evidencia en las representaciones en el núcleo de la Esencia de *Semat* del método MDS-IGAC (véase la Sección 4.6) donde las buenas prácticas se enfocan en RUP® y el área de interés solución y algunas actividades de las primeras fases se enfocan en el área de interés esfuerzo. A pesar de que el método MDS-IGAC cuenta con un producto de trabajo relacionado con el modelado de la base de datos espaciales, se requiere incorporar productos de trabajo relacionados con los proyectos SIG. También, se propone estandarizar las actividades y los productos de trabajo similares con el método DISIG-CF. A continuación, se presentan los cambios que se proponen para mejorar el método:

En la fase de análisis se presentan seis actividades que se relacionan con el espacio de actividad comprender los requisitos; sin embargo, se propone reducir y cambiar algunas actividades para estandarizar con el método DISIG-CF y RUP®. Por ello, se propone cambiar la actividad educir los requisitos y el producto de trabajo modelado del negocio por describir el proyecto SIG y el producto de trabajo diagramas UML para estandarizar con el método DISIG-CF. Además, se propone eliminar la actividad identificar los riesgos, debido a que se incluye en la actividad describir el proyecto SIG. Finalmente, se propone cambiar la actividad esquematizar los requisitos y el producto de trabajo modelado de requisitos por realizar diagramas de modelado de requisitos y el producto de trabajo diagramas UML porque se enfoca en diagramas UML similares a los que se realizan en el método DISIG-CF (véase la Figura 6-5).

En la fase de diseño se propone eliminar la actividad esquematizar los requisitos y el producto de trabajo diagramas de clases y de secuencias debido a que son diagramas UML que se incluyen en la fase análisis. De igual forma, se propone eliminar la actividad diseñar la base de datos espacial debido a que se incluye en la buena práctica educación geoespacial de requisitos. Finalmente, se propone cambiar la actividad diseñar la arquitectura del sistema por describir la arquitectura del sistema debido a que, generalmente, no es necesario diseñar una nueva, lo habitual es adoptar una arquitectura conocida en función de sus ventajas y desventajas según el tipo de proyecto SIG que se implementa (véase la Figura 6-6).

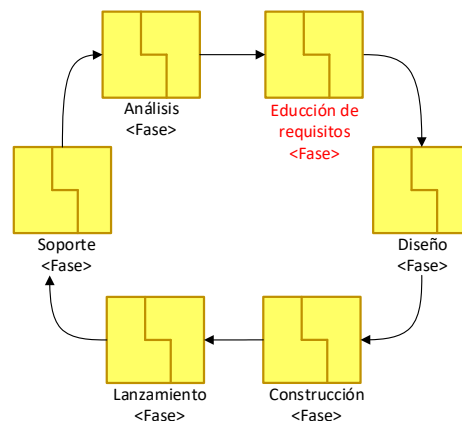


**Figura 6-5. Propuesta fase: Análisis del método MDS-IGAC**  
Elaboración propia



**Figura 6-6. Propuesta fase: Diseño del método MDS-IGAC**  
Elaboración propia

En la Figura 6-7 se proponen las fases del método MDS-IGAC, incorporando la fase educación de requisitos para atender la buena práctica educación geoespacial de requisitos y en la Figura 6-8 se proponen las buenas prácticas del método MDS-IGAC.



**Figura 6-7. Propuesta: Fases del método MDS-IGAC**  
Elaboración propia



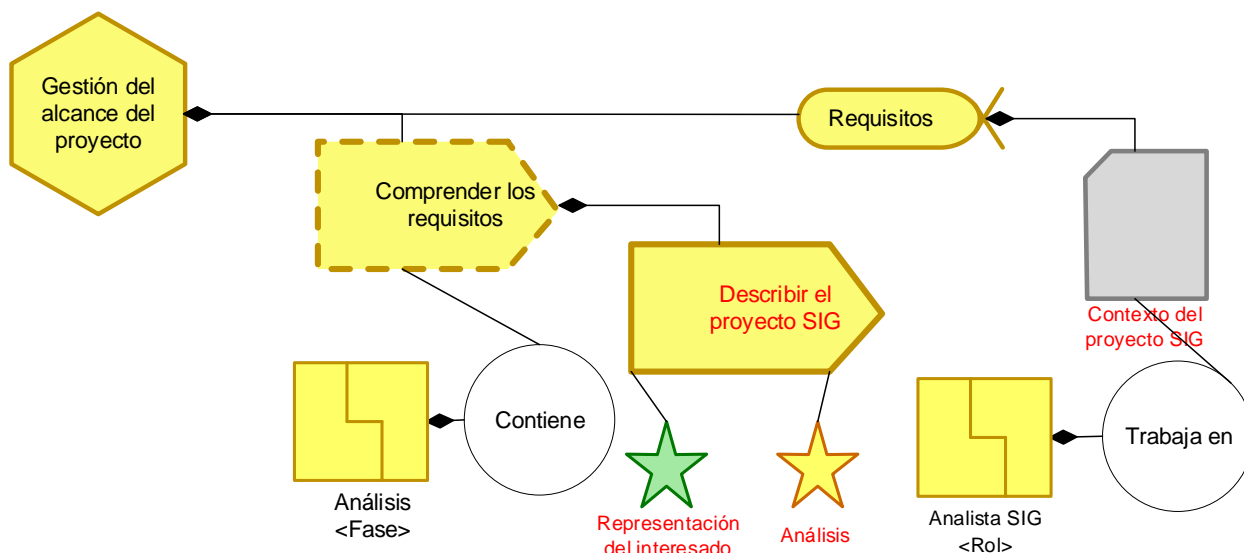
**Figura 6-8. Propuesta: Buenas prácticas del método MDS-IGAC**  
Elaboración propia

Para concluir, el método MDS-IGAC se mejora al incorporar la práctica educación geoespacial de requisitos porque se identifican los elementos que se requieren en la abstracción de geodatos para representar eventos espacio-temporales y generar los productos de trabajo requeridos según del proyecto SIG. Lo anterior permite incrementar la calidad y el rendimiento, reducir tiempo y costos y atender aspectos específicos de proyecto SIG. Sin embargo, se recomienda incluir los productos geoinformáticos adicionales de la buena práctica educación geoespacial de requisitos. Además, incorporar la práctica análisis geoespacial de información que incluye los análisis espaciales para representar, modelar y simular las características dinámicas de los geodatos y los eventos espacio-temporales que se presentan en el territorio. También, se recomienda incorporar la buena práctica gestión de geousuarios basado en competencias para identificar los principales roles, las competencias y los niveles de competencia de un equipo de desarrollo de proyectos SIG.

### 6.1.3 Método propuesto por la organización ESRI

ESRI se enfoca en aspectos técnicos y de planeación del ciclo de desarrollo de proyectos SIG. Lo anterior, se evidencia en las representaciones en el núcleo de *Semat* del método propuesto por la organización ESRI (véase la Sección 4.7) donde las actividades y los productos de trabajo se enfocan en la planeación del proyecto mediante buenas prácticas de PMBOK®. Por ello, se propone estandarizar las actividades y los productos de trabajo debido a la similitud con los métodos DISIG-CF y MDS-IGAC. A continuación, se describen los cambios que se proponen para mejorar el método:

En la fase de análisis se propone cambiar la actividad planificar el proyecto y el producto de trabajo listado de productos SIG necesarios por la actividad describir el proyecto SIG y el producto de trabajo contexto del proyecto SIG, buscando mejorar el producto de trabajo y estandarizar con los métodos DISIG-CF y MDS-IGAC. De igual manera, se propone eliminar la actividad evaluar las necesidades de información y el producto de trabajo modelado de flujo de trabajo de negocio, debido a que se incluye en la buena práctica educación geoespacial de requisitos (véase la Figura 6-9).

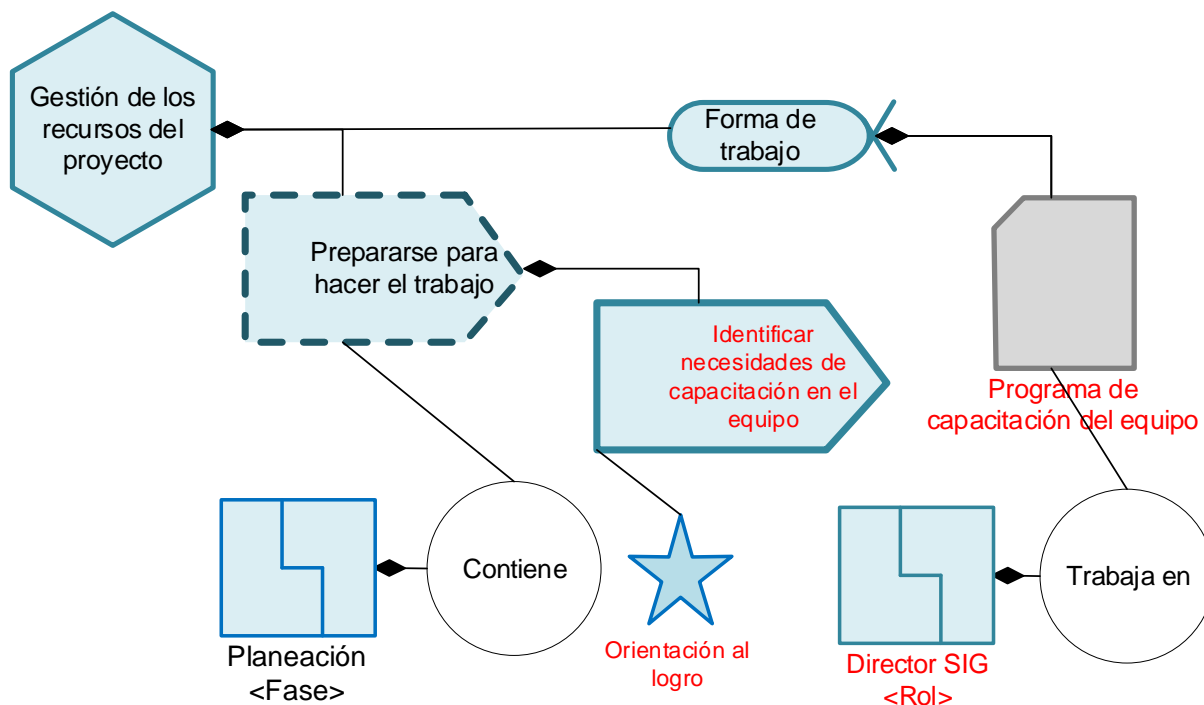


**Figura 6-9. Propuesta fase: Análisis del método propuesto por la organización ESRI**  
Elaboración propia

En la fase de planeación se propone eliminar la actividad definir participantes, funciones y responsabilidades y el producto de trabajo listado de participantes, funciones y responsabilidades porque se incluye en la práctica análisis de geousuarios basada en competencias. Además, se

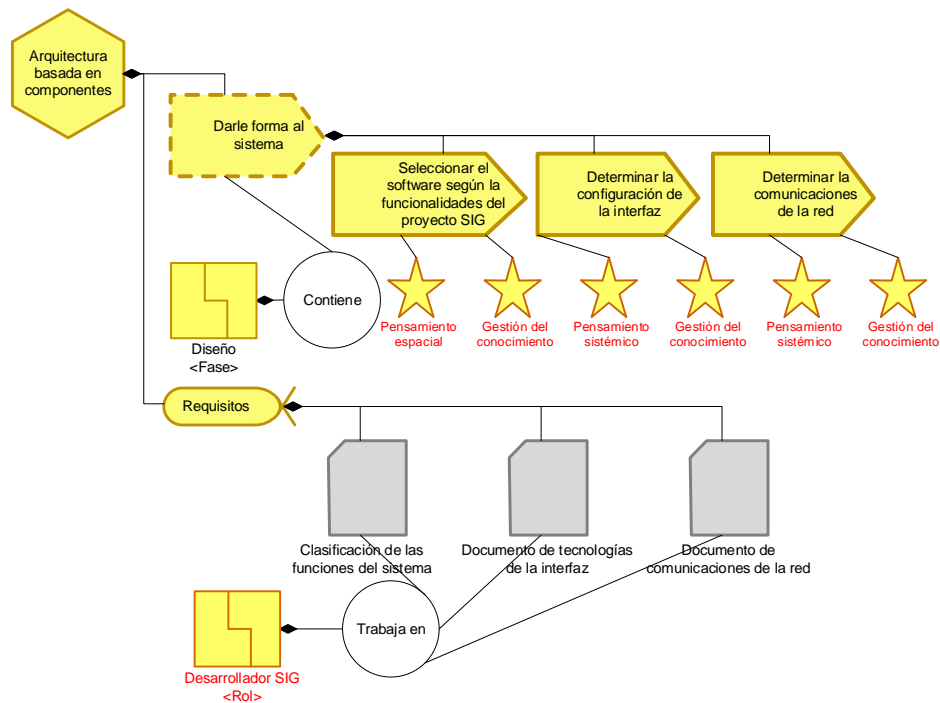


propone cambiar la actividad capacitar al personal involucrado por identificar necesidades de capacitación en el equipo y el producto de trabajo programa de capacitación del equipo, buscando mejorar el plan de desarrollo de competencias. De igual manera, se propone eliminar la buena práctica gestión de las adquisiciones del proyecto debido a que el producto de trabajo es similar al catálogo de objetos geográficos de la buena práctica educación geoespacial de requisitos (véase la Figura 6-10).



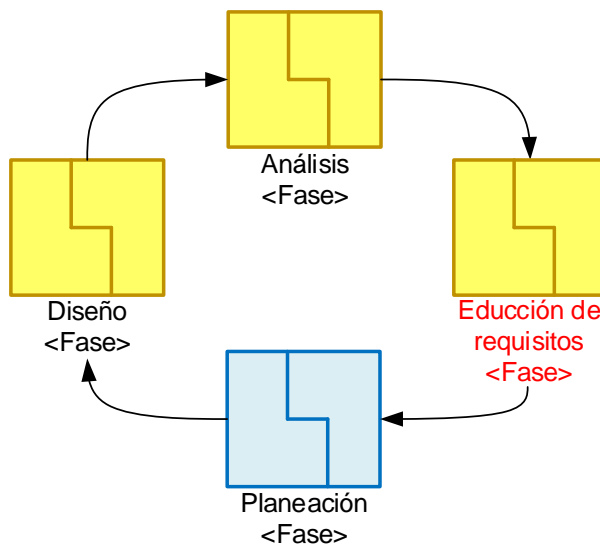
**Figura 6-10. Propuesta fase: Planeación del método propuesto por la organización ESRI**  
Elaboración propia

En la fase de diseño se sugiere eliminar la buena práctica gestión de alcance porque se incluye en la buena práctica gestión de alcance del proyecto con cinco actividades que hacen alusión al espacio de actividad comprender los requisitos. Sin embargo, algunas actividades se incluyen en la fase de análisis y en la buena práctica educación geoespacial de requisitos. Por otro lado, se propone eliminar la buena práctica arquitectura basada en componentes de RUP® debido a que el producto de trabajo esperado se incluye en la buena práctica educación geoespacial de requisitos (véase la Figura 6-11).

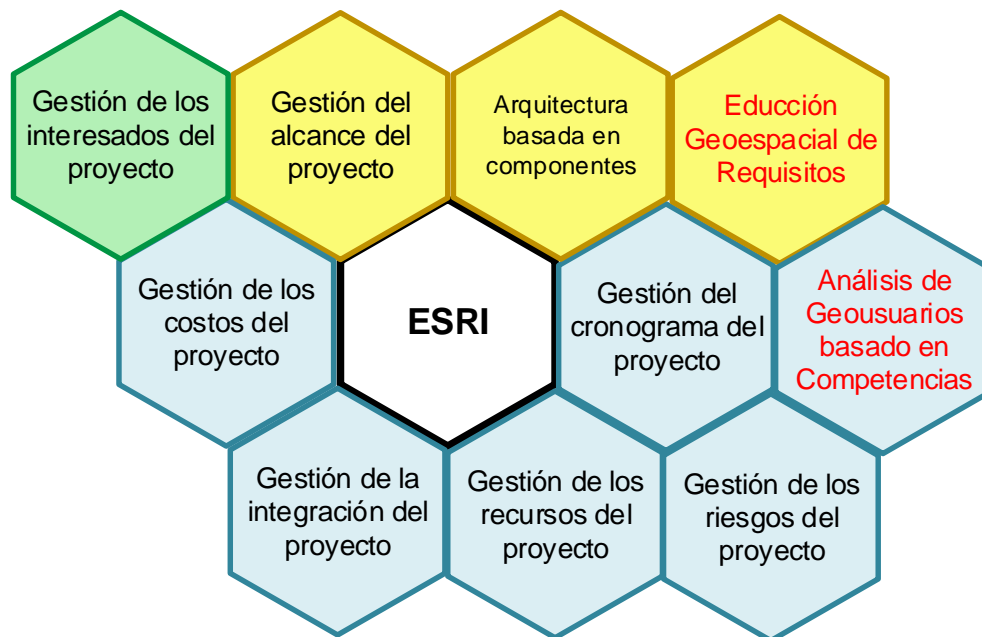


**Figura 6-11. Propuesta fase: Diseño del método propuesto por la organización ESRI**  
Elaboración propia

Finalmente, se propone adicionar la fase educación de requisitos para incorporar las buenas prácticas educación geoespacial de requisitos y análisis de geousuarios basada en competencias (véase la Figura 6-12). En la Figura 6-13 se proponen las buenas prácticas del método propuesto por la organización ESRI.



**Figura 6-12. Propuesta: Fases del método propuesto por la organización ESRI**  
Elaboración propia



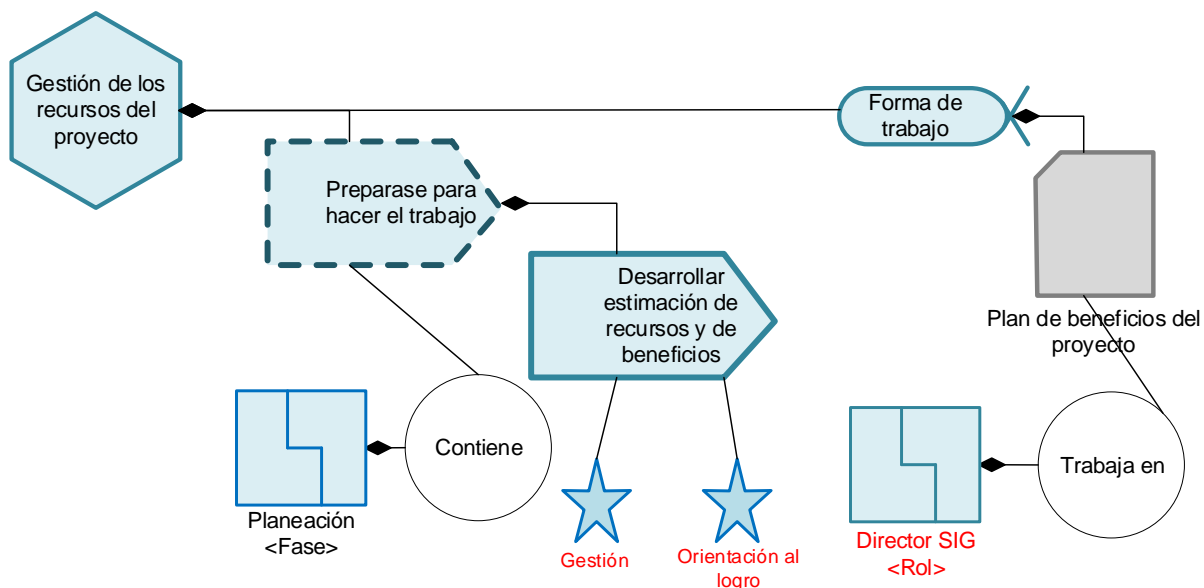
**Figura 6-13. Propuesta: Buenas prácticas del método propuesto por la organización ESRI**  
Elaboración propia

En conclusión, el método propuesto por la organización ESRI se mejora al incorporar elementos que no se contemplan en la educación de requisitos del geodato. Sin embargo, se observa que el método propuesto por la organización ESRI carece de otras fases como desarrollo, mantenimiento y operación debido a que sólo hace alusión a las fases de análisis, planificación y diseño. Además, se recomienda incorporar la práctica análisis geoespacial de información que incluye los análisis espaciales para representar, modelar y simular las características dinámicas de los geodatos y los eventos espacio-temporales que se presentan en el territorio.

#### 6.1.4 Método propuesto por la organización URISA

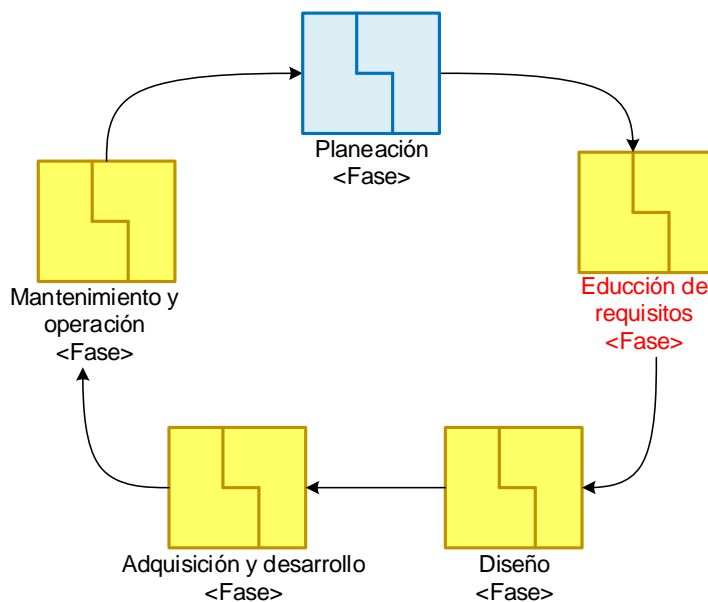
El método propuesto por la organización URISA es un método enfocado en aspectos técnicos de los proyectos SIG que incluye buenas prácticas de gestión de proyectos de PMBOK® y buenas prácticas de RUP® (véase la Sección 4.8). A continuación, se describen los cambios que se proponen:

En la fase de planeación se propone eliminar las actividades identificar los participantes y los recursos requeridos e identificar competencias del equipo de desarrollo y los productos de trabajo plan de recursos humanos y plan de competencias, debido a que se incluyen en la buena práctica análisis de geousuarios basado en competencias (véase la Figura 6-14).



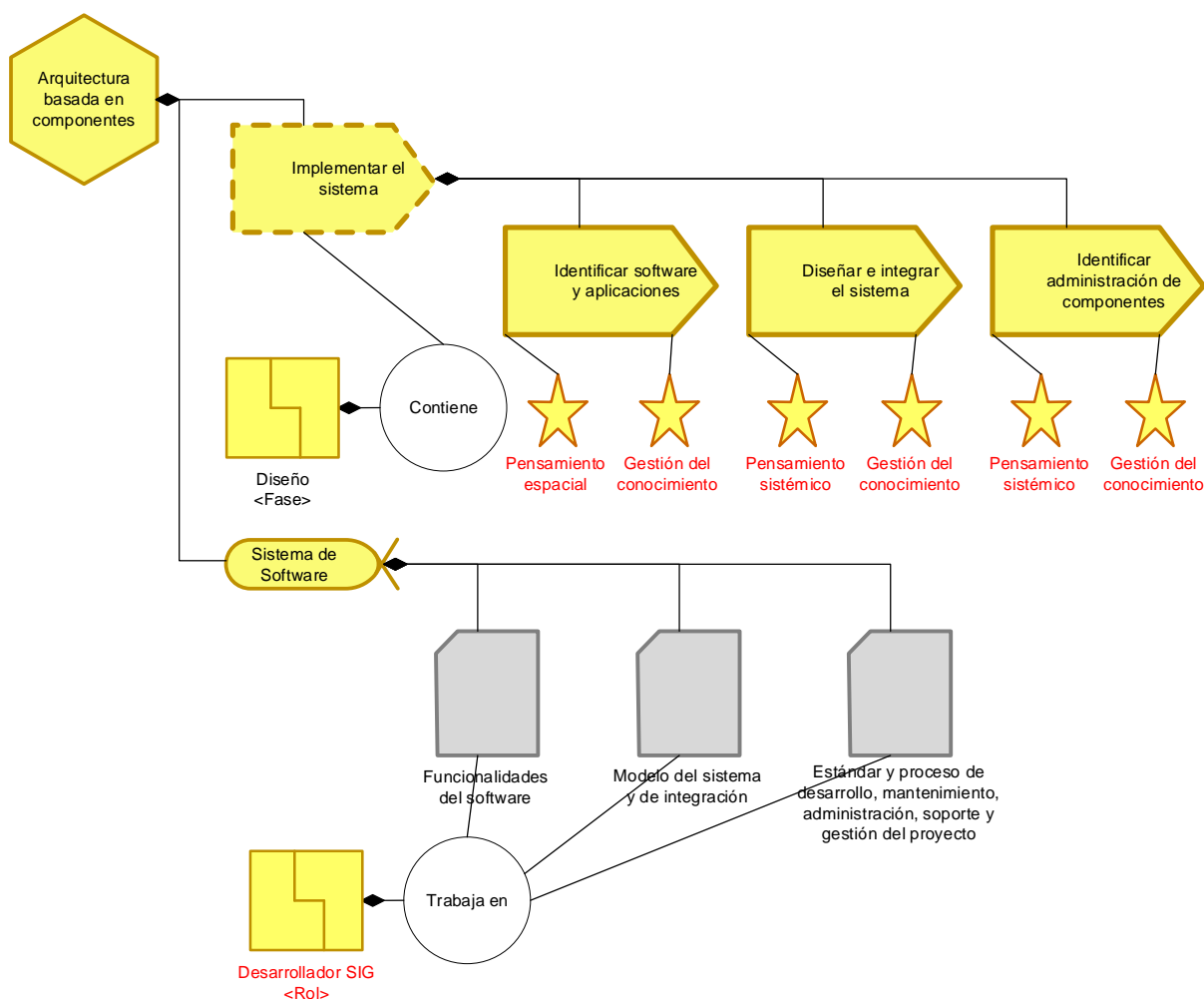
**Figura 6-14. Propuesta fase: Planeación del método propuesto por la organización URISA  
Elaboración propia**

En la fase de análisis se presenta la buena práctica gestión de requisitos con tres actividades y productos de trabajo que hacen alusión a las buenas prácticas educación geoespacial de requisitos y análisis geoespacial de información. Por ello, se sugiere cambiar la fase análisis por la fase educación de requisitos (véase la Figura 6-15).



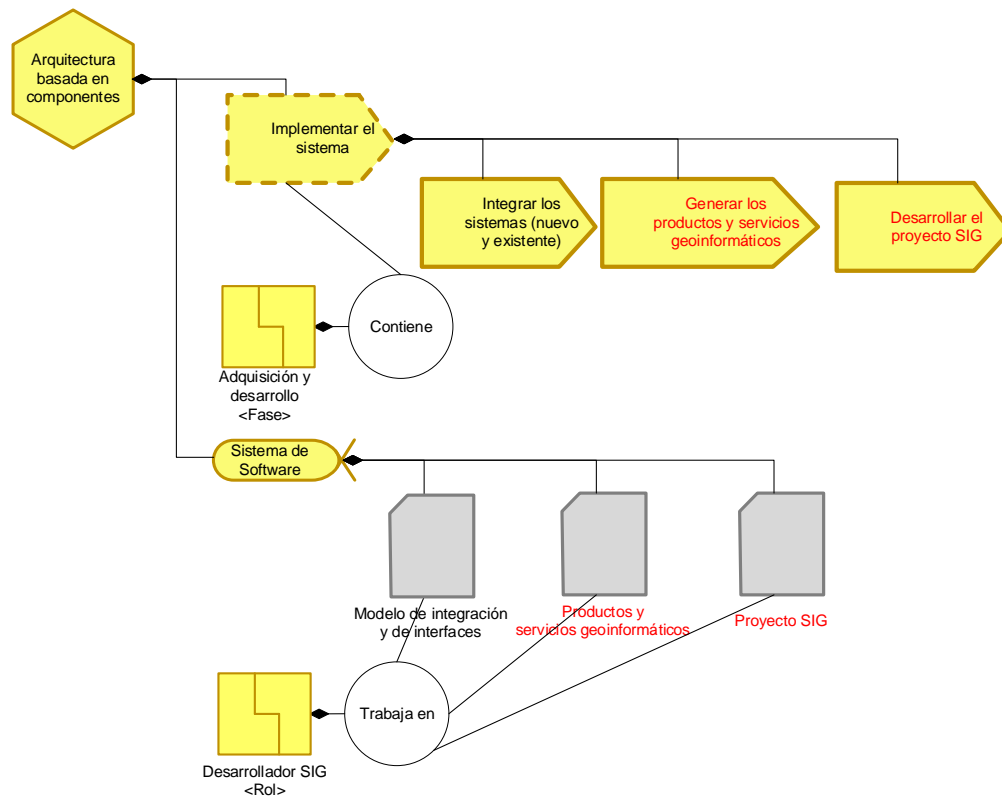
**Figura 6-15. Propuesta: Fases del método propuesto por la organización URISA  
Elaboración propia**

En la fase de diseño se propone eliminar las actividades diseñar la base de datos y diseñar los productos finales y los productos de trabajo modelado de base de datos y plan de implementación de los productos finales, debido a que hacen alusión a actividades y productos de trabajo de la buena práctica educación geoespacial de requisitos (véase la Figura 6-16).



**Figura 6-16. Propuesta fase: Diseño del método propuesto por la organización URISA**  
Elaboración propia

En la fase de adquisición y desarrollo se propone unificar las actividades implementar la base de datos espacial e implementar el SIG y los productos de trabajo base de datos espacial y SIG definitivo por la actividad desarrollar el proyecto SIG y el producto de trabajo proyecto SIG, debido a que el desarrollo del proyecto SIG incluye el desarrollo de la base de datos espacial (véase la Figura 6-17).



**Figura 6-17. Propuesta fase: Adquisición y desarrollo del método propuesto por la organización URISA**  
 Elaboración propia

En la Figura 6-18 se proponen las buenas prácticas del método propuesto por la organización URISA.



**Figura 6-18. Propuesta: Buenas prácticas del método propuesto por la organización URISA**  
 Elaboración propia

---

Para concluir, el método propuesto por la organización URISA se mejora al incorporar las buenas prácticas educación geoespacial de requisitos y análisis de geousuarios basado en competencias debido a que se incorporan actividades y productos de trabajo propios de la planificación del geodato, ayudando a incrementar la satisfacción del cliente, porque se obtienen mejores resultados para el equipo de desarrollo. A pesar de que el método propuesto por la organización URISA incluye competencias se identifica que son competencias técnicas del equipo de desarrollo, faltando considerar las competencias organizacionales que se incluyen en la buena práctica análisis de geousuarios basado en competencias. Finalmente, se sugiere incorporar la buena práctica análisis geoespacial de información que incluye los análisis espaciales para representar, modelar y simular las características dinámicas de los geodatos y los eventos espacio-temporales que se presentan en el territorio.

### **6.1.5 Método propuesto por la organización SARA**

El método propuesto por la organización SARA incluye buenas prácticas de gestión de proyectos de PMBOK® y buenas prácticas de desarrollo de software tradicional de RUP®. El método propuesto por la organización SARA se enfoca en aspectos técnicos, dando poca importancia a la complejidad del geodatos, a los análisis espaciales y a las competencias del equipo de desarrollo (véase la Sección 4.9). Además, incluye actividades que se sugiere estandarizar debido a la similitud con los métodos DISIG-CF, MDS-IGAC y el método propuesto por la organización ESRI. A continuación, se describen los cambios que se proponen:

En la fase de análisis se propone cambiar la actividad evaluar la necesidad del proyecto SIG por describir el proyecto SIG y el producto de trabajo análisis de requisitos SIG por contexto del proyecto SIG, buscando mejorar el producto de trabajo y estandarizar con los métodos DISIG-CF, MDS-IGAC y el método propuesto por la organización ESRI. De igual manera, se propone eliminar el producto de trabajo lista maestra de datos porque se incluye en la buena práctica educación geoespacial de requisitos (véase la Figura 6-19).

En la fase de diseño se propone eliminar la buena práctica modelado visual del software debido a que se incluye en la buena práctica educación geoespacial de requisitos. Además, se propone eliminar la actividad verificar los datos disponibles y los productos de trabajo inventario de datos y metadatos porque se incluyen en la buena práctica educación geoespacial de requisitos (véase la Figura 6-20).

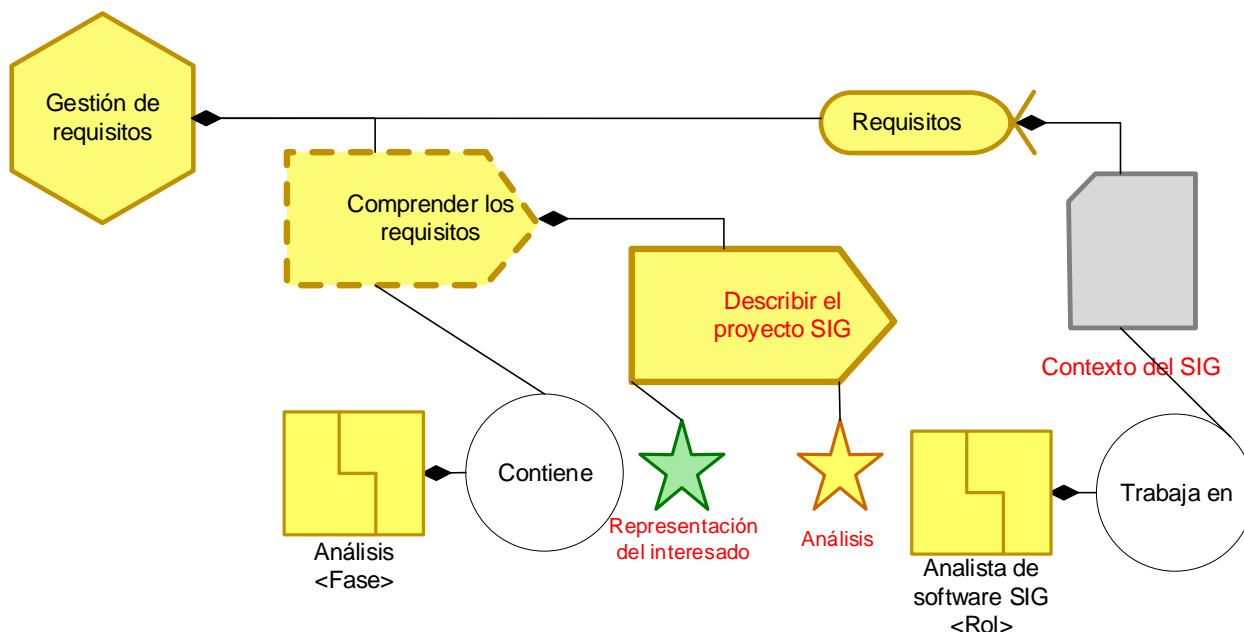


Figura 6-19. Propuesta fase: Análisis del método propuesto por la organización SARA  
Elaboración propia

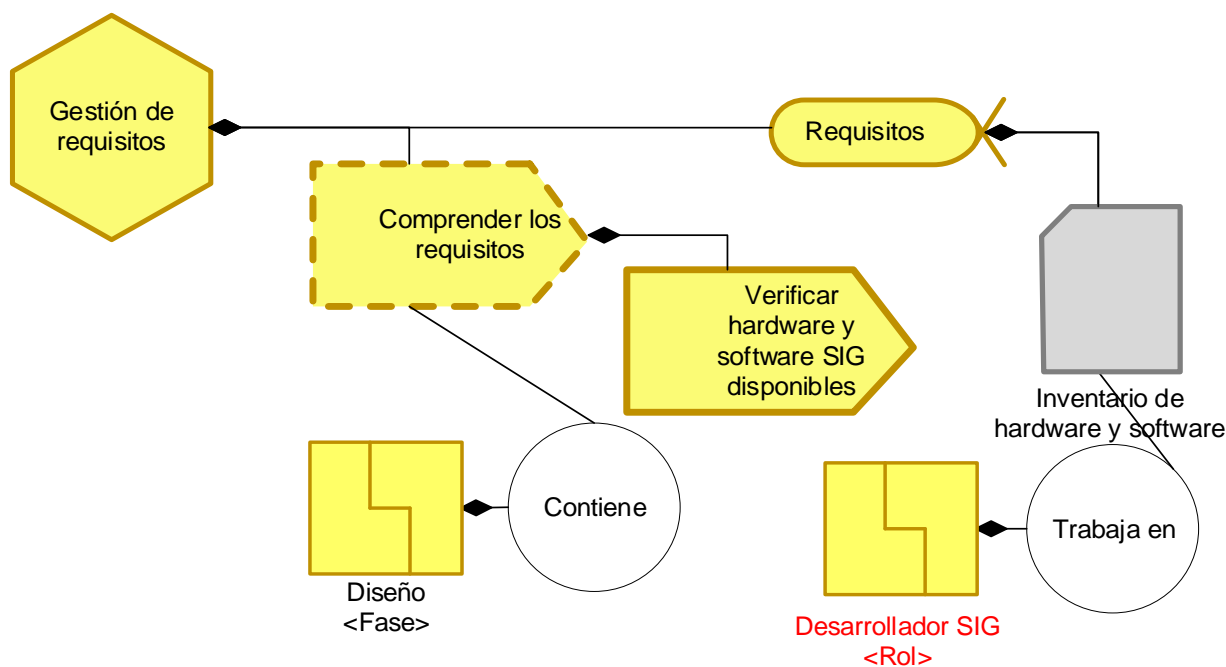
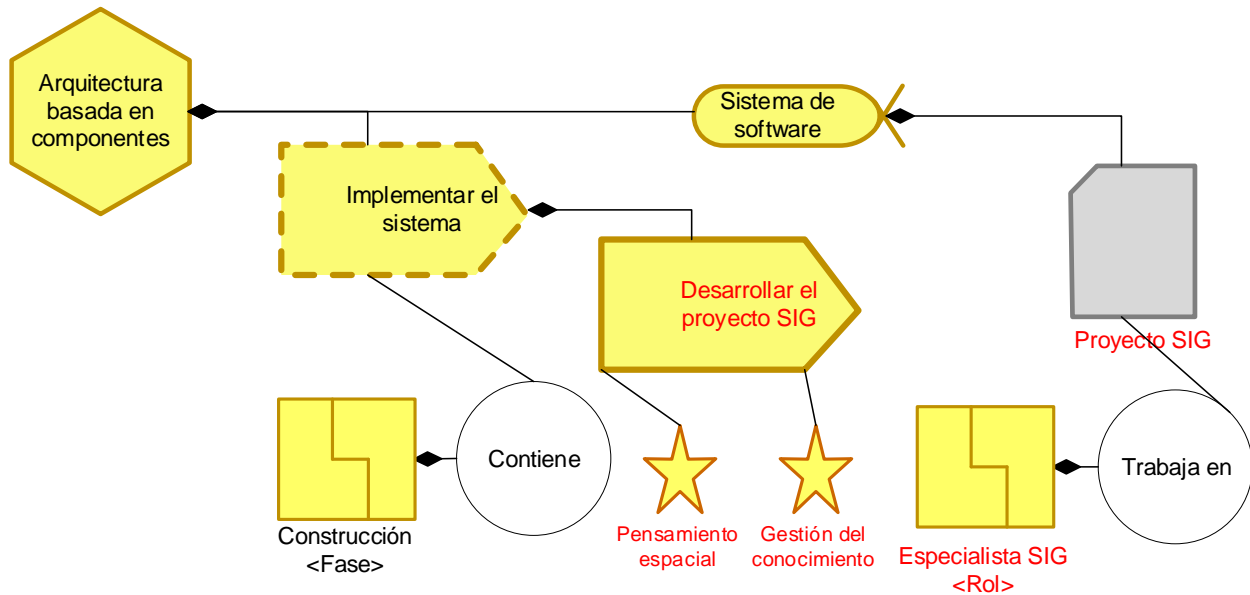


Figura 6-20. Propuesta fase: Diseño del método propuesto por la organización SARA  
Elaboración propia

En la fase de construcción se propone unificar las actividades desarrollar el sistema SIG y construir la base de datos SIG y los productos de trabajo sistema SIG final y base de datos SIG por la actividad desarrollar el proyecto SIG y el producto de trabajo proyecto SIG porque el

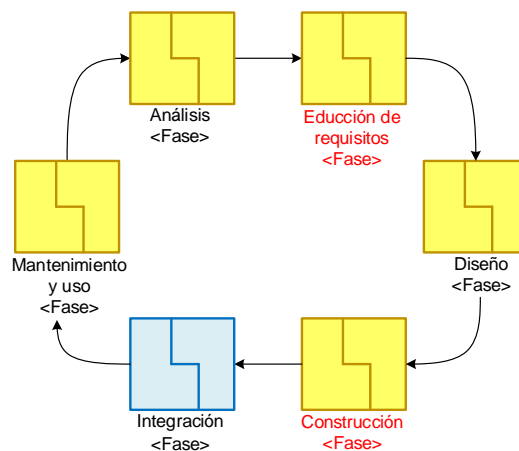


desarrollo del proyecto SIG incluye la construcción de la base de datos espacial. También, se observa que el método propuesto por la organización SARA tiene dos fases (construcción y desarrollo) que incluyen actividades similares entre ambas fases, por lo que se sugiere unificar en una fase denominada construcción (véase la Figura 6-21).



**Figura 6-21. Propuesta fase: Construcción del método propuesto por la organización SARA**  
Elaboración propia

En la Figura 6-22 se proponen las fases del método propuesto por la organización SARA, incorporando la fase educación de requisitos y la buena práctica educación geoespacial de requisitos y se unifican las fases construcción y desarrollo en la fase construcción. En la Figura 6-23 se proponen las buenas prácticas del método propuesto por la organización SARA.



**Figura 6-22. Propuesta: Fases del método propuesto por la organización SARA**  
Elaboración propia



**Figura 6-23. Propuesta: Buenas prácticas del método propuesto por la organización SARA**  
**Elaboración propia**

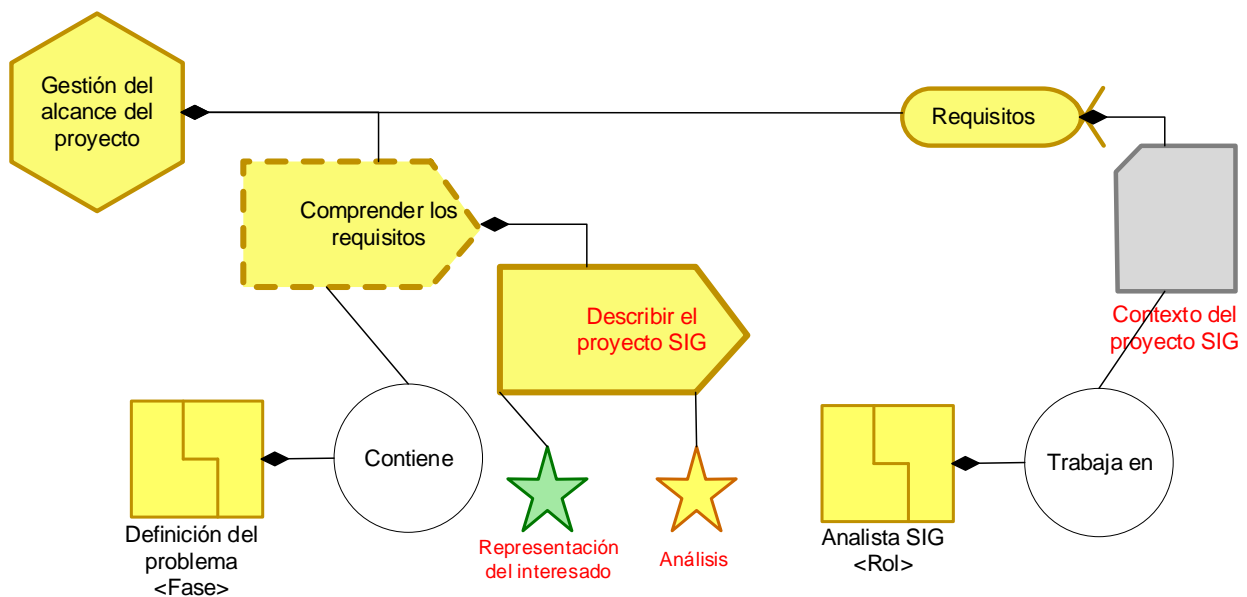
Para concluir, el método propuesto por la organización SARA se mejora al incorporar la práctica educación geoespacial de requisitos porque se identifican los elementos que se requieren en la abstracción de geodatos para representar eventos espacio-temporales y generar los productos de trabajo requeridos en el proyecto SIG. Lo anterior permite mejorar la estandarización, incrementar la satisfacción del cliente y reducir costos y tiempo de ejecución del proyecto SIG. Sin embargo, se recomienda incluir el modelo de geovisualización del geodato de la buena práctica educación geoespacial de requisitos. Además, se recomienda incorporar la buena práctica análisis geoespacial de información, que incluye los análisis espaciales para representar, modelar y simular las características dinámicas de los geodatos y los eventos espacio-temporales que se presentan en el territorio. También, se recomienda incorporar la buena práctica gestión de geousuarios basado en competencias para identificar los principales roles, las competencias y los niveles de competencia de un equipo de desarrollo de proyectos SIG.

### 6.1.6 Método YWDM

YWDM incluye buenas prácticas de RUP® y una buena práctica de PMBOK® y se enfoca en aspectos técnicos que tienen poca relación con buenas prácticas propias de los proyectos SIG, como la planificación del geodato y las competencias del equipo de desarrollo (véase la Sección 4.10). De igual forma, se observa que el método YWDM incluye actividades que se pueden estandarizar, debido a la similitud con los métodos DISIG-CF, MDS-IGAC y el método propuesto

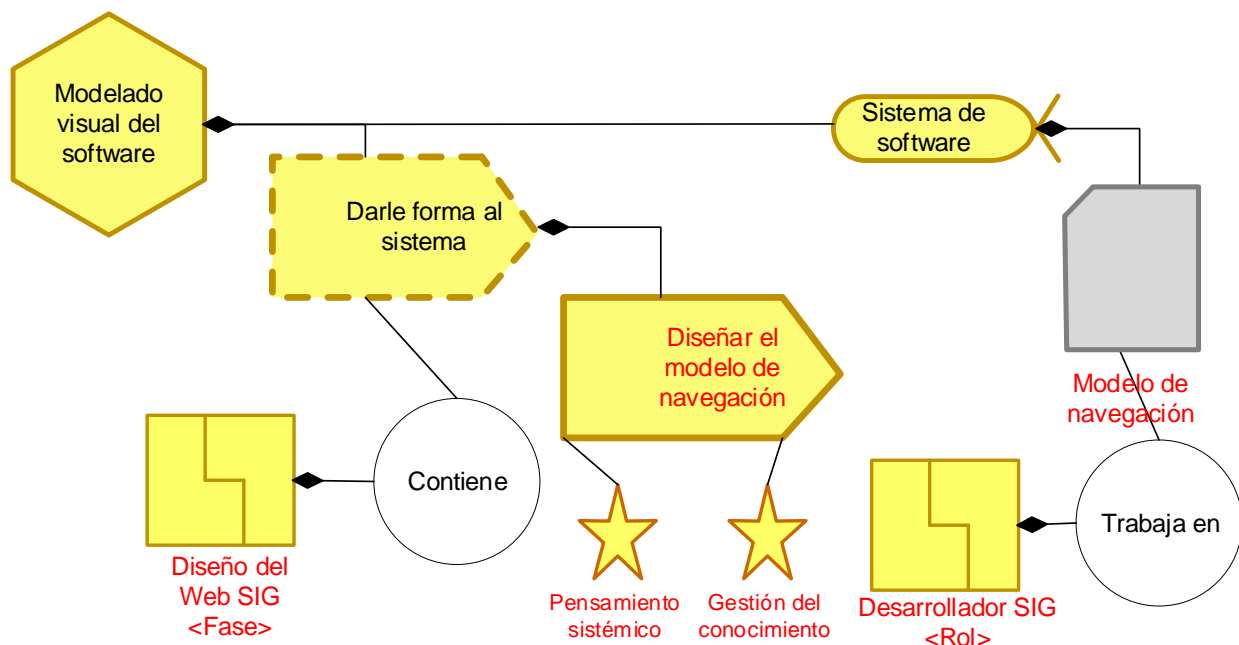
por la organización ESRI. A continuación, se describen los cambios que se proponen para mejorar el método:

En la fase de definición del problema se propone cambiar la actividad planear y definir el problema y los productos de trabajo plan de desarrollo del SIG e identificar y definir el problema por la actividad describir el proyecto SIG y el producto de trabajo contexto del proyecto SIG, mejorando el producto de trabajo y estandarizando con los métodos DISIG-CF, MDS-IGAC y el método propuesto por la organización ESRI (véase la Figura 6-24).



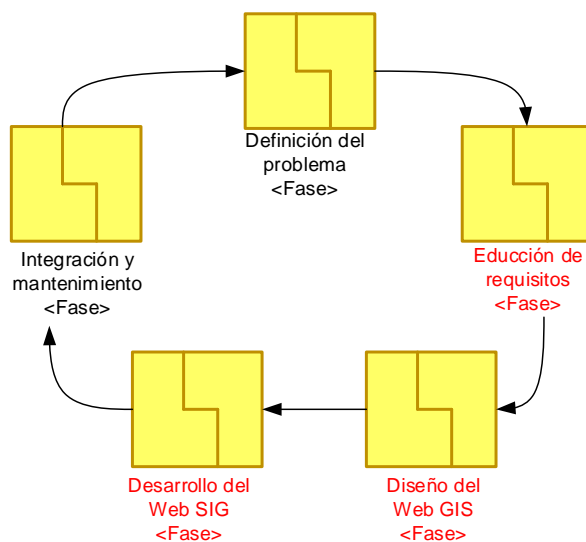
**Figura 6-24. Propuesta fase: Definición del problema del método YWDM**  
Elaboración propia

En la fase de diseño se propone eliminar la actividad diseñar la base de datos y el producto de trabajo modelo de base de datos, debido a que se incluye en la buena práctica educación geoespacial de requisitos. También, se propone separar la actividad diseñar el modelo conceptual y de navegación, debido a que el modelo conceptual se incluye en la buena práctica educación geoespacial de requisitos, mientras que el modelo de navegación es propio del Web GIS. Además, se propone cambiar el nombre de la fase por diseño del Web GIS (véase la Figura 6-25).



**Figura 6-25. Propuesta fase: Diseño del método YWDM**  
Elaboración propia

Por otro lado, se propone eliminar la actividad identificar los requisitos SIG y el producto de trabajo especificación de requisitos, elementos que se incluyen en la buena práctica educación geoespacial de requisitos. Además, se propone reemplazar la fase análisis por educación de requisitos y cambiar el nombre de la fase desarrollo línea del SIG por desarrollo del Web GIS (véase la Figura 6-26). En la Figura 6-27 se proponen las buenas prácticas del método YWDM.



**Figura 6-26. Propuesta: Fases del método YWDM**  
Elaboración propia



**Figura 6-27. Propuesta: Buenas prácticas del método YWDM**  
Elaboración propia

Para concluir, el método YWDM se mejora al incorporar la práctica educación geoespacial de requisitos porque se identifican los elementos que se requieren en la abstracción de geodatos para representar eventos espacio-temporales y generar los productos de trabajo requeridos en el proyecto SIG. Lo anterior permite mejorar la estandarización, incrementar la satisfacción del cliente y reducir costos y tiempo de ejecución del proyecto SIG. Sin embargo, se recomienda incorporar la buena práctica análisis geoespacial de información que incluye los análisis espaciales para representar, modelar y simular las características dinámicas de los geodatos y los eventos espacio-temporales que se presentan en el territorio. También, se recomienda incorporar la buena práctica gestión de geousuarios basado en competencias para identificar los principales roles, las competencias y los niveles de competencia de un equipo de desarrollo de proyectos SIG.

## 6.2 Validación con estudiantes

La validación de las buenas prácticas se propone con estudiantes mediante asesorías de trabajo de grado y tesis de maestría, aplicando los métodos identificados y las buenas prácticas que se proponen. Estos proyectos de investigación se asocian con el semillero de investigación de la línea de investigación de ingeniería de software para aplicaciones geoinformáticas y el grupo de investigación de geoinformática aplicada en la Universidad de San Buenaventura. A continuación, se presentan los trabajos de validación con los estudiantes.

### 6.2.1 Web GIS para generar mapas de ruido de densidad de tráfico en tiempo-real

Murillo *et al.* (2017) proponen generar un Web GIS para capturar en tiempo-real geodatos de tráfico vehicular en diferentes vías de Medellín utilizando *Google Maps*, correlacionando el número de vehículos y su distribución (ligeros/pesados). El Web GIS incluye una herramienta para transformar los geodatos capturados y almacenar en una base de datos espacial, considerando los atributos que requiere el software de simulación de ruido para generar los mapas de ruido de densidad de tráfico vehicular (Murillo *et al.*, 2017). Para el desarrollo del Web GIS, Castrillón *et al.*, (2019) utilizan las fases (véase la Figura 6-26) y buenas prácticas (véase la Figura 6-27) del método YWDM, incorporando la buena práctica análisis geoespacial de información para identificar las estructuras y formas de organización espacial recurrentes utilizando los conceptos de distancia, interacción espacial y estrategia o elección espacial. En conclusión, se observa que al incorporar las buenas prácticas de desarrollo de proyectos SIG y del método YWDM se mejora la planificación de geodato, la educación de requisitos y la identificación de los análisis espaciales requeridos para generar los productos geoinformáticos del proyecto Web GIS. Con ello se logra incrementar la comprensión del problema geoinformático, la calidad de los resultados esperados, la comprensión de las fases y se valida la implementación de las buenas prácticas en el ciclo de desarrollo de proyectos SIG.

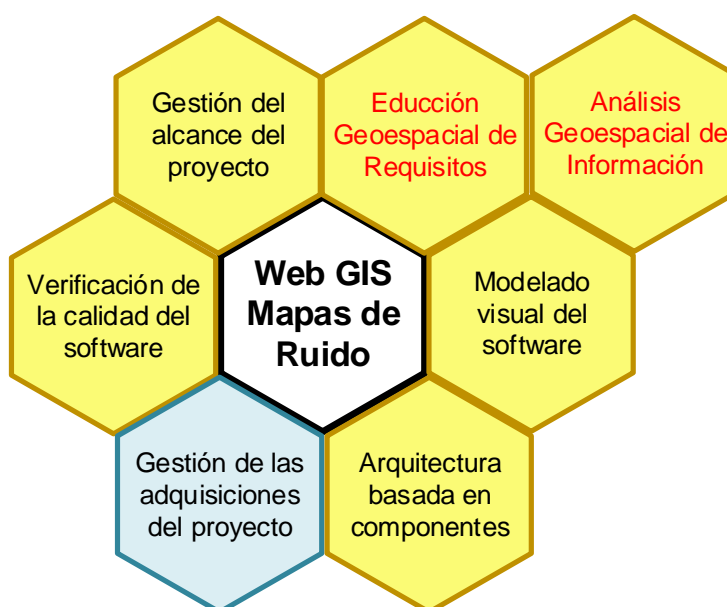


Figura 6-28. Buenas prácticas: Web GIS mapas de ruido de densidad de tráfico en tiempo-real Tomado de Murillo *et al.* (2019)

### 6.2.2 Web GIS para administrar los bienes inmuebles que se consideran patrimonio cultural e histórico en Medellín

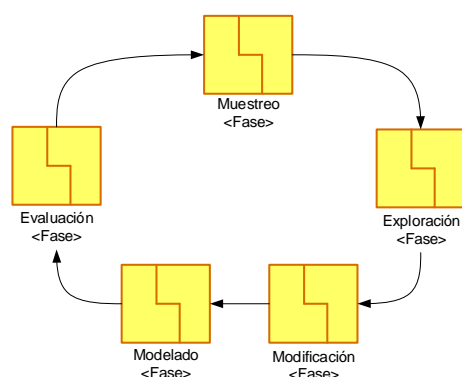
Vergara y Durango (2019) proponen un Web GIS para la administración del patrimonio cultural e histórico en Medellín, utilizando el método propuesto por la organización URISA. Los autores proponen un Web GIS para proporcionar información relevante sobre actividades turísticas, culturales, de mantenimiento y preservación de los bienes inmuebles que se consideran patrimonio cultural e histórico en Medellín. Para el desarrollo del proyecto, los autores combinan las buenas prácticas del método propuesto por la organización URISA y las buenas prácticas educación geoespacial de requisitos y análisis geoespacial de información (véase la Figura 6-29; Vergara y Durango, 2019). Además, se valida el uso del método propuesto por la organización URISA para desarrollar Web GIS, especialmente en la fase de adquisición y desarrollo donde se generan los productos y servicios geoinformáticos del proyecto Web GIS. Así, se evidencia que las buenas prácticas que se proponen para la educación de requisitos y comprensión de los análisis espaciales requeridos en el proyecto Web GIS se adaptan a las avances de las tecnologías de información Web.



Figura 6-29. Buenas prácticas: Web GIS Patrimonio cultural e histórico  
Tomado de Vergara y Durango (2019)

### 6.2.3 Web GIS para identificar los centros hospitalarios con atención primaria

González y Durango (2019) proponen un Web GIS para identificar los centros hospitalarios con mayor capacidad de respuesta en atención primaria, considerando la ubicación geográfica, la entidad promotora de salud (EPS) y la institución prestadora de salud (IPS). Los autores proponen el desarrollo del proyecto Web GIS con el método YWDM y el método SEMMA (*Sample, Explore, Modify, Model, Assess*) para enriquecer con minería de datos los patrones de búsqueda de información significativa en la base de datos. Para identificar los elementos del método SEMMA, los autores proponen la representación en el núcleo de la Esencia de *Semat* de las cinco fases (véase la Figura 6-30): muestreo, exploración, modificación, modelado y evaluación y las buenas prácticas del método SEMMA (véase la Figura 6-31). Además, combinan las buenas prácticas educación geoespacial de requisitos y análisis geoespacial de información con las existentes en los métodos YWDM y SEMMA (véase la Figura 6-32; González y Durango, 2019). Como resultado, se identifica que las buenas prácticas del método YWDM y las buenas prácticas de desarrollo de proyectos SIG mejoran la planificación de geodato, la educación de requisitos y la identificación de los análisis espaciales requeridos para generar los productos geoinformáticos del proyecto Web GIS. Además, se valida el uso de las buenas prácticas educación geoespacial de requisitos y análisis geoespacial de información, evidenciando la capacidad su adaptación con otros métodos como minería de datos para búsqueda de patrones del negocio en los geodatos.



**Figura 6-30. Fases del método SEMMA**  
Elaboración propia



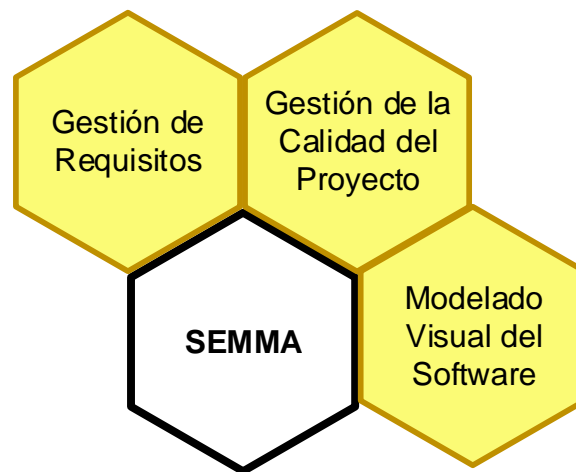


Figura 6-31. Buenas prácticas del método SEMMA  
Tomado de Hernández y Durango (2019)

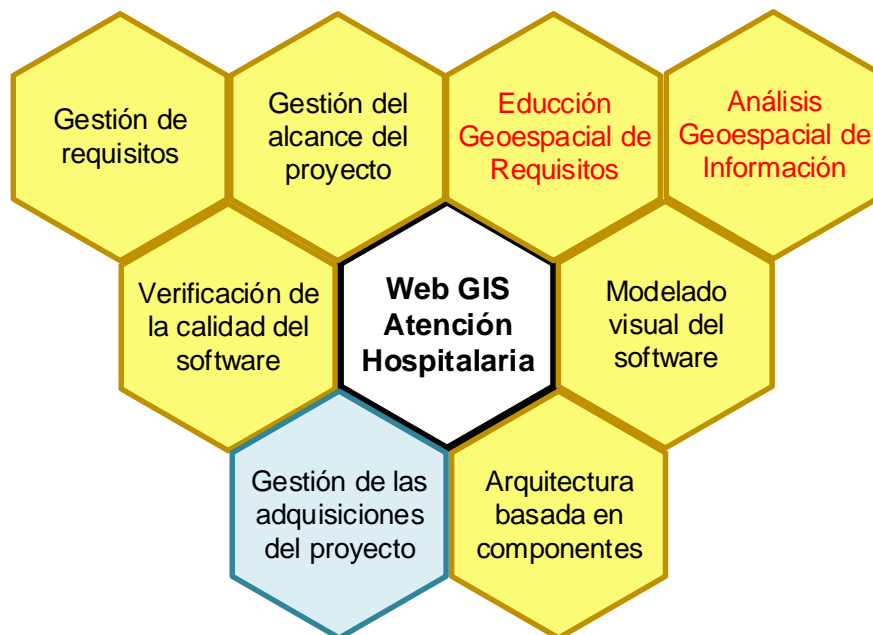
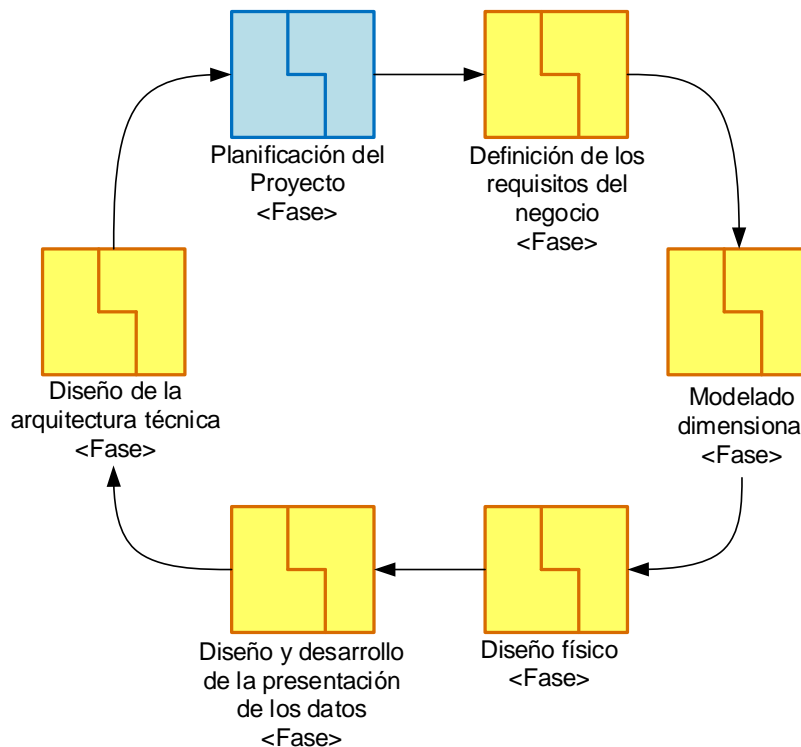


Figura 6-32. Buenas prácticas: Web GIS Atención hospitalaria  
Tomado de González y Durango (2019)

#### 6.2.4 Web GIS de servicios académicos a egresados

Hernández y Durango (2019) proponen un Web GIS para ofrecer servicios académicos a egresados, utilizando el método YWDM para desarrollar el SIG y el método KIMBALL para desarrollar la base de datos. Los autores proponen el proyecto Web GIS como una herramienta de *geomarketing* para promover servicios académicos a egresados. Además, proponen identificar las variables requeridas para ofrecer servicios académicos, como estudios (pregrado, posgrado y educación continua), área de conocimiento, área de desempeño, rol, empresa donde

labora y la ubicación geográfica de su residencia. Por ello, proponen diseñar un *Data Warehouse* con atributos espaciales y no espaciales, utilizando el método KIMBALL, el cual se basa en el ciclo de vida dimensional del negocio. En KIMBALL se utiliza modelos de tablas y relaciones para optimizar toma de decisiones, considerando diversas consultas en la base de datos. Los autores identifican en el método KIMBALL seis fases: planificación del proyecto, definición de los requisitos del negocio, modelado dimensional, diseño físico, diseño y desarrollo de la presentación de los datos y diseño de la arquitectura técnicas (véase la Figura 6-33) y seis buenas prácticas (véase la Figura 6-34; Hernández y Durango, 2019). Como resultado, se identifica que las buenas prácticas del método YWDM y las buenas prácticas de desarrollo de proyectos SIG mejoran la planificación de geodato, la educación de requisitos y la identificación de los análisis espaciales requeridos para generar los productos geoinformáticos del proyecto Web GIS. Además, se valida el uso de las buenas prácticas educación geoespacial de requisitos y análisis geoespacial de información, evidenciando la capacidad de adaptación con otros métodos de mejorar la toma de decisiones como *Data Warehouse*. Además, las buenas prácticas de KIMBALL y YWDM se combinan según las necesidades específicas para desarrollar el proyecto Web GIS (véase la Figura 6-35).



**Figura 6-33. Fases del método KIMBALL**  
Elaboración propia

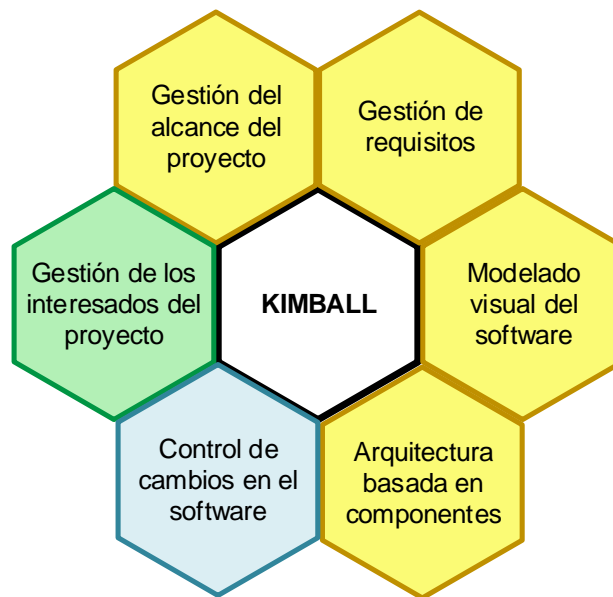


Figura 6-34. Buenas prácticas del método KIMBALL  
Tomado de Hernández y Durango (2019)



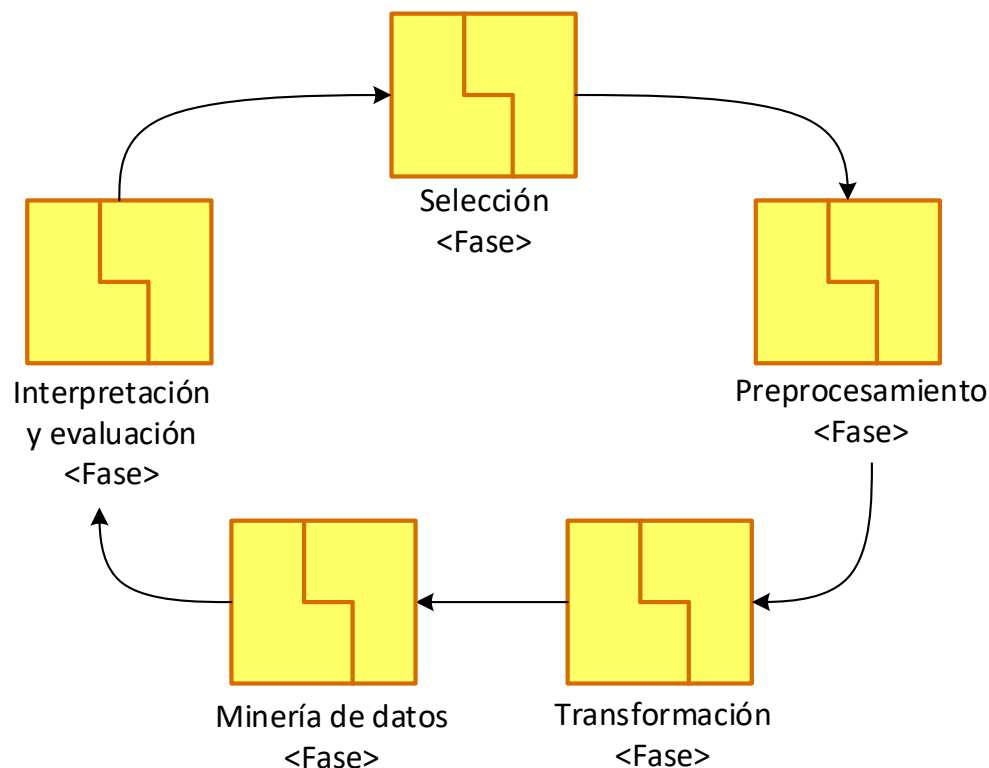
Figura 6-35. Buenas prácticas: Web GIS servicios académicos a egresados  
Tomado de Hernández y Durango (2019)

### 6.2.5 Web GIS para búsqueda inteligente de carreras universitarias

Tobon y Durango (2019) proponen un Web GIS como herramienta de apoyo para la búsqueda inteligente de carreras universitarias. Para desarrollar el SIG utilizan el método SARA y para desarrollar la base de datos utilizan el método KDD. Los autores realizar el proyecto Web GIS

con el método KDD para geovisualizar en el Web GIS los programas y universidades con alto grado de coincidencia según una serie de variables que se obtienen de preguntas estratégicas que integran una base de conocimientos. Para el desarrollo de la base de conocimientos, los autores identifican las fases (véase la Figura 6-36) y las buenas prácticas (véase la

Figura 6-37) del método KDD (Tobón y Durango, 2019). Como resultado, se identifica que las buenas prácticas del método propuesto por la organización SARA y las buenas prácticas de desarrollo de proyectos SIG mejoran la planificación de geodato, la educación de requisitos y la identificación de los análisis espaciales requeridos para generar los productos geoinformáticos del proyecto Web GIS. Además, se valida el uso de las buenas prácticas educación geoespacial de requisitos y análisis geoespacial de información, evidenciando la capacidad de adaptación de éstas con otros métodos de manejo de geodatos utilizando bases de datos de gestión de conocimiento para mejorar la toma de decisiones. Además, las otras buenas prácticas de KDD y del método propuesto por la organización SARA se combinan para desarrollar el proyecto Web GIS (véase la Figura 6-38).



**Figura 6-36. Fases del método KDD**  
Elaboración propia

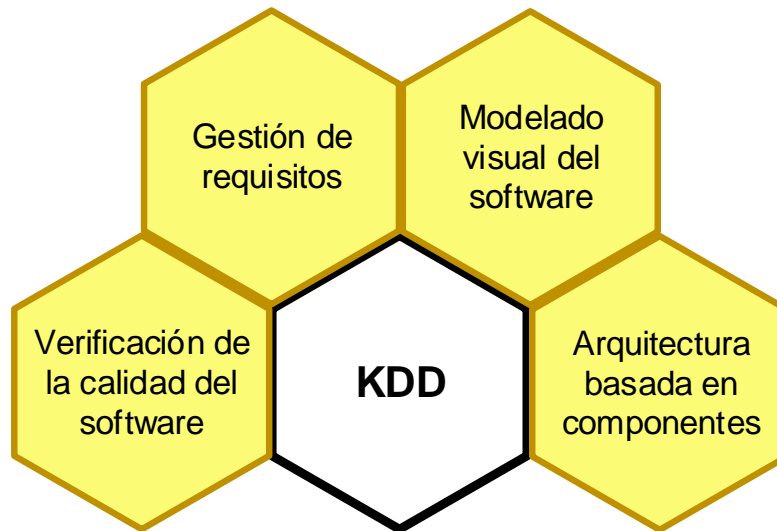


Figura 6-37. Buenas prácticas del método KDD  
Tomado de Tobón y Durango (2019)



Figura 6-38. Buenas prácticas: Web GIS para búsqueda inteligente de carreras universitarias  
Tomado de Tobón y Durango (2019)

A continuación, se presenta un resumen de los trabajos de grado realizados con los estudiantes de la Universidad de San Buenaventura Medellín para identificar las buenas prácticas que se proponen en el semillero de ingeniería de software para aplicaciones geoinformáticas.

**Tabla 6-1. Resumen de trabajos de grado y tesis de maestría  
Elaboración propia**

Título	Programa	Año
Caracterización en el núcleo de <i>Semat</i> del método de desarrollo de sistemas de información geográfica URISA	Especialización en Sistemas de Información Geográfica	2016
Competencias <i>Semat</i> para un equipo de desarrollo de software	Psicología	2017
Propuesta de un método para desarrollar Sistemas de Información Geográfica a partir de la metodología de desarrollo ágil SCRUM	Maestría en geoinformática	2018
Propuesta de un método de ingeniería de requisitos para el diseño y desarrollo de sistemas de información geográfica	Maestría en geoinformática	2018
Competencias <i>Semat</i> para un equipo de desarrollo de proyectos en sistemas de información geográfica	Psicología	2018
Evaluación de la contaminación por ruido mediante mapas dinámicos basados en información de densidad de tráfico adquirida en tiempo-real	Maestría en geoinformática	2019
Aplicación para la geovisualización de geodatos utilizando teorías de interfaz humano-computador	Ingeniería de Sistemas	2019
Desarrollo de Aplicativo web para el análisis de Competencias <i>Semat</i> de un equipo de Desarrollo de Proyectos de Sistemas de Información Geográfica	Ingeniería de Sistemas	2019
Competencias requeridas en la enseñanza de Sistemas de Información Geográfica	Especialización en Sistemas de Información Geográfica	2019
Web GIS para identificar los centros hospitalarios	Ingeniería de Sistemas	2019
Web GIS para administrar los bienes inmuebles que se consideran patrimonio cultural e histórico en Medellín	Ingeniería de Sistemas	2019
Web GIS para servicios académicos a egresados	Ingeniería de Sistemas	2019
Web GIS para búsqueda inteligente de carreras universitarias	Ingeniería de Sistemas	2019

### 6.3 Validación con expertos

De igual manera, se realiza la validación de las buenas prácticas con expertos mediante la evaluación de pares evaluadores en proyectos de investigación aprobados por convocatoria interna en la Universidad de San Buenaventura, participación en ponencias, publicación de artículos, publicación de capítulo de libro y registro de software (véanse las Tablas 6-2 a 6-6).

**Tabla 6-2. Resumen de proyectos de investigación  
Elaboración propia**

Título	Participantes	Descripción de validación	Año
Competencias <i>Semat</i> para un equipo de desarrollo de software	Universidad de San Buenaventura Universidad Nacional de Colombia	Se validan las competencias y niveles de competencia del equipo de desarrollo de software que presentan similitudes con los equipos de desarrollo de proyectos SIG	2015
Competencias <i>Semat</i> para un equipo de desarrollo de proyectos en sistemas de información geográfica	Universidad de San Buenaventura Universidad Nacional de Colombia	Se valida la competencia diferenciadora de un equipo de desarrollo de proyectos SIG: pensamiento espacial. Además, se obtienen los niveles de competencia de todas las competencias que se asocian a equipos de desarrollo de proyectos SIG	2017
Evaluación de la contaminación por ruido mediante mapas dinámicos basados en información de densidad de tráfico adquirida en tiempo-real	Universidad de San Buenaventura Universidad ICESI	Se validan las buenas prácticas educación geoespacial de requisitos y análisis geoespacial de requisitos, utilizando el método YWDM.	2018

**Tabla 6-3. Resumen de ponencias  
Elaboración propia**

Título	Evento	Descripción de validación	Año
Representación en el núcleo de <i>Semat</i> de la interoperabilidad para el método de desarrollo del software del IGAC	Proceedings of the Latin American Software Engineering Symposium, Bogotá, Colombia.	Se validan las buenas prácticas del método MDS-IGAC representadas en el núcleo de la Esencia de <i>Semat</i>	2015
Representación en el núcleo de <i>Semat</i> de las competencias de Ingeniería Social necesarias para mejorar la seguridad informática	Proceedings of the Latin American Software Engineering Symposium, Bogotá, Colombia.	Se valida la necesidad de ampliar las competencias y niveles de competencias existentes en el núcleo de la Esencia de <i>Semat</i> .	2015
Competencias organizacionales de un <i>tester</i> de software, para prevenir ataques informáticos que utilizan ingeniería social	X Seminario Internacional en Ciencias de la Computación y el Simposio Latinoamericano de Ingeniería de Software, Medellín, Colombia	Se validan las competencias y niveles de competencia del <i>Tester</i> en un equipo de desarrollo de software	2017
Definición de buenas prácticas de desarrollo de proyectos de sistemas de información geográfica, utilizando el núcleo de <i>Semat</i>	Poster. X Seminario Internacional en Ciencias de la Computación y el Simposio Latinoamericano de Ingeniería de Software, Medellín, Colombia	Se validan las buenas prácticas de desarrollo de proyectos SIG: educación geoespacial de requisitos, análisis geoespacial de información y análisis de geousuarios basada en competencias.	2017
Representación de eventos de ruido ambiental a partir de esquemas preconceptuales y buenas prácticas de educación geoespacial de requisitos	10° Congreso Mexicano de Inteligencia Artificial COMIA 2018, Mérida, Yucatán, México.	Se valida la buena práctica educación geoespacial de requisitos.	2018

**Tabla 6-4. Resumen de publicaciones de revistas científicas**  
**Elaboración propia**

Título	Revista	Descripción de validación	Año
Una representación basada en <i>Semat</i> y RUP para el método de desarrollo SIG del Instituto Geográfico Agustín Codazzi	Revista Ingenierías USBMed, 6(1), pp. 24-37	Se validan las buenas prácticas del método MDS-IGAC representadas en el núcleo de la Esencia de <i>Semat</i>	2015
Propuesta de un método para desarrollar sistemas de información geográfica a partir de la metodología de desarrollo ágil SCRUM	Revista Cuaderno Activa, 10, pp. 29-41	Se validan los problemas de educación de requisitos en los proyectos SIG	2017
Representación de eventos de ruido ambiental a partir de esquemas preconceptuales y buenas prácticas de educación geoespacial de requisitos	Research in Computing Science, 147(6), pp. 327-341	Se validan la buena práctica de desarrollo de proyectos SIG: educación geoespacial de requisitos.	2017
Buenas prácticas para el desarrollo de mapas de ruido dinámicos en entorno Web GIS	Cuaderno Activa, 11, pp. 67-80	Se validan las buenas prácticas educación geoespacial de requisitos y análisis geoespacial de requisitos, utilizando el método YWDM.	2019
Competencias requeridas por los geousuarios en los proyectos de Sistemas de Información Geográfica	Cuaderno Activa, 11, pp. 81-101.	Se validan e identifican las competencias requeridas por un equipo de desarrollo de proyectos SIG	2019
Representación en el núcleo de la esencia de <i>Semat</i> de las competencias de un equipo de desarrollo de software	Inf. Tecnol., 30(4), en prensa	Se validan las competencias y niveles de competencia del equipo de desarrollo de software que presenta similitud con los equipos de desarrollo de proyectos SIG	2019

**Tabla 6-5. Resumen de publicaciones de capítulos de libro**  
**Elaboración propia**

Título	Libro	Descripción de validación	Año
Competencias organizacionales de un <i>tester</i> de software, para prevenir ataques informáticos que utilizan ingeniería social	Industria 4.0 escenarios e impacto, pp. 131-143	Se validan las competencias y niveles de competencia del <i>Tester</i> en un equipo de desarrollo de software	2017



**Tabla 6-6. Resumen de registro de software  
Elaboración propia**

Título	Descripción de validación	Año
Aplicación Web GIS para migrar geodatos dinámicos a software de simulación de ruido	Se validan las buenas prácticas educación geoespacial de requisitos y análisis geoespacial de requisitos, utilizando el método YWDM	2019
Plug-in para geovisualizar geodatos	Se valida la buena práctica educación geoespacial de requisitos, específicamente para la representación del geodato	2019
Aplicativo web para el análisis de Competencias <i>Semat</i> de un equipo de Desarrollo de Proyectos de Sistemas de Información Geográfica	Se validan las competencias y niveles de competencia del equipo de desarrollo de proyectos SIG	2019
Web GIS para administrar el patrimonio cultural e histórico de la ciudad de Medellín.	Se validan las buenas prácticas identificadas en el método propuesto por la organización URISA y propuestas en la Tesis Doctoral	En proceso
Web GIS de Atención hospitalaria	Se validan las buenas prácticas identificadas en el método propuesto por la organización URISA, en el método SEMMA y las propuestas en la Tesis Doctoral	En proceso
Web GIS para gestionar servicios académicos a egresados	Se validan las buenas prácticas identificadas en el método propuesto por la organización URISA, en el método KIMBALL y las propuestas en la Tesis Doctoral	En proceso
Web GIS para búsqueda inteligente de carreras universitarias	Se validan las buenas prácticas identificadas en el método propuesto por la organización URISA, en el método KDD y las propuestas en la Tesis Doctoral	En proceso

## 7. Conclusiones y trabajo futuro

En los Capítulos anteriores se presentó la metodología para identificar y caracterizar los elementos de los principales métodos para el desarrollo de proyectos SIG. Además, se propusieron y validaron las representaciones en el núcleo de la Esencia de *Semat* de las buenas prácticas de desarrollo de sistemas de información geográfica. Por ello, en este Capítulo se discuten las conclusiones y el trabajo futuro que se derivan de la presente Tesis Doctoral.

### 7.1 Conclusiones

Esta Tesis Doctoral constituyó una evidencia de la extensibilidad del núcleo de la Esencia de *Semat* en otros dominios disciplinarios como los sistemas de información geográfica y una herramienta de apoyo para identificar las buenas prácticas y las debilidades en el ciclo de desarrollo de los métodos SIG representados. También, es una herramienta de apoyo para conformar un lenguaje común entre los geousuarios.

Con las representaciones que se presentaron en esta Tesis de Doctorado se evidencia que los métodos SIG carecen de prácticas propias para la planificación del geodato como procesos de educación de requisitos, adquisición y documentación del geodato. Además, se desconocen las competencias organizacionales que se deben considerar para conformar equipos de desarrollo con alto rendimiento según el tipo de proyecto. También, falta mejorar el proceso de geovisualización de los geodatos.

Por ello, se propuso la identificación de los principales métodos de desarrollo de sistemas de información geográfica, tales como: DISIG-CF y MDS-IGAC a nivel nacional, YWDM y los métodos propuestos por las organizaciones ESRI, URISA y SARA a nivel internacional. De igual forma, se evidenció que existen métodos que dependen del área de conocimiento de los geousuarios y de las necesidades de los proyectos SIG como el método YWDM. Seguidamente, se caracterizaron estos métodos SIG utilizando el núcleo de la Esencia de *Semat* y se compararon, obteniendo que:

- Los métodos SIG incluyen buenas prácticas enfocadas en la gestión de proyectos de PMBOK® y en el método de desarrollo de software tradicional RUP®.
- Los productos de trabajo y actividades que se incluyen en los métodos SIG carecen de elementos diferenciadores de los métodos de desarrollo de sistemas de información tradicionales.
- Los métodos SIG carecen de buenas prácticas relacionadas con los geodatos y los geousuarios.

Según lo anterior, en esta Tesis de Doctorado se propusieron tres buenas prácticas para el desarrollo de proyectos SIG: análisis de geousuarios basado en competencias, educación geoespacial de requisitos y análisis geoespacial de información. Estas buenas prácticas se incorporaron en los métodos analizados para mejorar la planeación, el ciclo de desarrollo y la satisfacción del cliente. Además, con la identificación y caracterización de las competencias y niveles de competencia para equipos de desarrollo de proyectos SIG se pueden conformar equipos de trabajo efectivos, eficientes y con alto rendimiento.

Por último, es importante mencionar que la validación de estas buenas prácticas evidenció que:

- Los métodos SIG incluyen buenas prácticas similares que se pueden estandarizar y combinar para conformar una red colaborativa de buenas prácticas del ciclo de desarrollo de los proyectos SIG.
- Las principales fases de los proyectos SIG son: educación de requisitos, diseño, desarrollo, mantenimiento y operación.
- El equipo de desarrollo del proyecto SIG selecciona las fases y las buenas prácticas dependiendo del tipo de proyecto SIG y los productos geoinformáticos esperados (estático o dinámico).
- La conformación de equipos de desarrollo de proyectos SIG no requiere grandes grupos de personas; se pueden conformar pequeños equipos de desarrollo con las competencias necesarias.

### 7.2 Trabajo futuro

Al finalizar esta Tesis de Doctorado se identificaron las siguientes líneas de trabajo futuro en el área de los sistemas de información geográfica:

- Identificar las competencias y niveles de competencia para otros roles del equipo de desarrollo de proyectos SIG, tales como: tester SIG y especialista en teledetección.
- Mejorar las estrategias de enseñanza de la gestión de proyectos SIG incluyendo en los planes de estudio de la especialización en sistemas de información geográfica y la maestría en geoinformática de la Universidad de San Buenaventura las competencias y niveles de competencia identificados.
- Refinar las actividades y los productos de trabajo de las buenas prácticas de PMBOK® y RUP® que se utilizan en el ciclo de desarrollo de proyectos SIG.

## 8. Referencias

- Albrecht, J. (2018). GIS Project Management. En Huang, B. (Ed.), *Comprehensive Geographic Information Systems* (Vol. 1), Oxford: Elsevier, 446-477.
- Ahmed, F. y Capretz, L. (2008). Best Practices of RUP® in Software Product Line Development. En *International Conference on Computer and Communication Engineering*, Kuala Lumpur, Malaysia.
- Al-waraqí, G. y Zahary, A. (2012). Critical Factors of GIS Projects Failure in Yemeni Governmental Agencies. En *13th International Arab Conference on Information Technology*, Jordan, Líbano.
- Ananda, F., Kuria, D. y Ngigi, M. (2016). Toward a new methodology for web GIS development. *International Journal of Software Engineering & Applications (IJSEA)*, 7(4), 47-66.
- Arias, J. y Durango, C. (2018). Propuesta de un método para desarrollar sistemas de información geográfica a partir de la metodología de desarrollo ágil -SCRUM-. *Cuaderno Activa*, 10, 29-41.
- Aritzeta, A., Swailes, S. y Senior, B. (2007). Belbin's team role model: development, validity and applications for team building. *Journal of Management Studies*, 44(1), 96-118.
- Bano, A., Salleh, N., Mendes, E., Grundy, J., Burch, G. y Nordin, A. (2016). The effect of software engineers' personality traits on team climate and performance: A Systematic Literature Review. *Information and Software Technology*, 73, 52-65
- Bednarz, R. y Lee, J. (2011). The components of spatial thinking: Empirical evidence. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 21, 103-107.
- Becker, P., Calkings, H., Coté, C., Finneran, C., Hayes, G. y Murdoch, T. (1995a). *Manager's Overview, Needs Assessment, Conceptual design of the GIS. Local Government GIS Demonstration Grant* (Vol. I). New York, USA: Local Government Technology Services State Archives and Records Administration.
- Becker, P., Calkings, H., Coté, C. J., Finneran, C., Hayes, G. y Murdoch, T. (1995b). *Survey of Available Data, Evaluating GIS Hardware and Software, Database Planning and Design, Database Construction, Pilot Studies and Benchmark Tests* (Vol. II). New York, USA: Local Government Technology Services State Archives and Records Administration.
- Becker, P., Calkings, H., Coté, C., Finneran, C., Hayes, G. y Murdoch, T. (1995c). *Acquisition of GIS Hardware & Software, GIS System Integration, GIS Application Development, GIS Use & Maintenance. Local Government GIS Demonstration Grant* (Vol. III). New York, USA: Local Government Technology Services State Archives and Records Administration.
- Burrough, P. (2001). GIS and geostatistics: essential partners for spatial analysis. *Environmental and Ecological Statistics*, 8, 361-377.
- Casas, K., Durango, C. y Zapata-Rueda, C. (2019). Competencias requeridas por los geousuarios en los proyectos de Sistemas de Información Geográfica. *Cuaderno Activa*, 11, 81-101.
- Castrillón, S., Durango, C. y Murillo, D. (2019). Buenas prácticas para el desarrollo de mapas de ruido dinámicos en entorno Web GIS. *Cuaderno Activa*, 11, 67-80.
- Chun, B. (2010). Effect of GIS-integrated lessons on spatial thinking abilities and geographical skills. *Journal of the Korean Geographical Society*, 45(6), 820-844.
- De Sánchez, M. y de Faria, L. (2012). Estudio psicométrico de la prueba figura humana. *Psychometric Study of the Human Figure Test.*, 14(2), 210-222
- Dean, E., Taylor, M. J., Francis, H., Lisboa, P., Appleton, D. y Jones, M. (2017). A Methodological Framework for Geographic Information Systems Development. *Systems Research and Behavioral Science*, 34(6), 759-772.

- DiBiase, D., Corbin, T., Fox, T., Francica, J., Green, K., Jackson, J., Jeffress, G., Jones, B., Jones, B., Mennis, J., Schuckman, K., Smith, C., Sickle, J. (2010). The new geospatial technology competency model: Bringing workforce needs into focus. *URISA Journal*, 22(2), 55-72.
- Du Plessis, H. y Van Niekerk, A. (2012). A New GISc Framework and Competency Set for Curricula Development at South African Universities. *South African Journal of Geomatics*, 3(1), 1-12.
- Durango, C., Torres, D. y Zapata, C. (2015a). Representación en el núcleo de *Semat* de la interoperabilidad para el método de desarrollo de software del IGAC. En *Latin American Software Engineering Symposium*, Bogotá, Colombia.
- Durango, C., Amariles, M., Giraldo, J., Zapata, C., Díaz, C. y Zapata, C. (2015b). Representación en el núcleo de *Semat* de las competencias de Ingeniería Social necesarias para mejorar la Seguridad Informática. En *Latin American Software Engineering Symposium*, Bogotá, Colombia.
- Durango, C. y Zapata, C. (2015). Una representación basada en *Semat* y RUP para el Método de Desarrollo SIG del Instituto Geográfico Agustín Codazzi. *Ingenierías USBMed*, 6(1), 24-37.
- Durango, C., Amariles, M. y Zapata, C. (2017). Competencias organizacionales de un *tester* de software, para prevenir ataques informáticos que utilizan ingeniería social. (1a ed.). En Zapata, C. y Manrique, B. *Industria 4.0 Escenarios e Impacto* (pp. 131-143). Medellín, Colombia: Sello Editorial Universidad de Medellín.
- Durango-Vanegas, C., Zapata-Rueda, C. y Zapata-Jaramillo, C. (2018a). *Competencias Semat para un equipo de desarrollo de proyectos SIG* (Trabajo de Investigación). Universidad de San Buenaventura y Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.
- Durango-Vanegas, C., Noreña-Carmona, P. y Zapata-Jaramillo (2018b). Representación de eventos de ruido ambiental a partir de esquemas preconceptuales y buenas prácticas de educación geoespacial de requisitos. *Research in Computing Science*, 147(6), 327-341.
- Durango-Vanegas, C., Zapata-Rueda, C. y Zapata-Jaramillo, C. (2019). Representación en el Núcleo de la Esencia de *Semat* de las Competencias de un Equipo de Desarrollo de Software. *Inf. Tecnol.*, 30(4), en prensa
- Escobar, J., Betancur, T., Palacio, C. y Muriel, R. (2008). Los retos de la enseñanza de los sistemas de información geográfica. *Gestión y Ambiente*, 11(3), 123-136.
- ESRI. (2018). *Documentación de ESRI*. New York, USA: ESRI. Recuperado de <https://www.esri.com/es-es/home>
- Genero, M., Cruz-Lemus, J. y Piattini, M. (2015). Metodología de investigación en ingeniería de software. (1ª ed.). Bogotá, Colombia: Ra-Ma.
- González, M., Zapata, C. y González, L. (2013). Toward a standardized representation of RUP best practices of project management in the *Semat* kernel. (1a ed.). En Zapata, C., Durango, C. y Perdomo, W. *Software engineering: methods, modeling and teaching Volume 4* (pp. 47-52). Medellín, Colombia: Editorial Bonaventuriana.
- González, S. y Durango, C. (2019). *Web GIS para identificar los centros médicos con atención primaria utilizando el método YWDM y SEMMA* (Trabajo de grado). Universidad de San Buenaventura, Medellín, Colombia.
- Hernández, C. y Durango, C. (2019) *Web GIS de servicios académicos a egresados* (Trabajo de grado). Universidad de San Buenaventura, Medellín, Colombia.
- Hong, J. (2015). Identifying skill requirements for GIS positions: a content analysis of job advertisements. *Journal of Geography*, 1-12.
- Huxbold, W. (2000). *Model Job Descriptions for GIS Professionals* (Vol. I). San Francisco, USA: Urban and Regional Information Systems Association (URISA).
- IGAC. (2018). *Método de desarrollo de Software del Instituto Geográfico Agustín Codazzi*. Recuperado de <http://geoservice.igac.gov.co/mds/igac/>
- Jacobson, I., Huang, S., Kajko-Mattsson, M., McMahon, P. y Seymour, E. (2012). *Semat—Three Year Vision*. *Programming and Computer Software*, 38(1), 1-12.
- Jacobson, I., Ng, P., McMahon, P., Spence, I. y Lidman, S. (2013a). La Esencia de la Ingeniería de Software: El Núcleo de *Semat*. *Revista Latinoamericana de Ingeniería de Software*, 1(3), 71-78.
- Jacobson, I., Ng, P., McMahon, P., Spence, I. y Lidman, S. (2013b). *The Essence of Software Engineering: Applying the Semat Kernel* (1a ed.). New Jersey, USA: Addison-Wesley.

- 
- Jacobson, I., Ng, P., McMahon, P., Spence, I. y Lidman, S. (2014). *La esencia de la Ingeniería de Software: Aplicando el núcleo de Semat*. Traducción de Zapata, C. y Salazar, L. Buenos Aires, Argentina: Nueva Librería.
- Janipella, R., Gupta, R. y Moharir, R. (2017). Application of Geographic Information System in Energy Utilization. En Kumar, S., Kumar, R. y Pandey, A. *Current Developments in Biotechnology and Bioengineering: Production, Isolation and Purification of Industrial Products* (pp. 143-161). Varanasi, India: Elsevier.
- Keshav, G, Pawar, S. y Ramrakhiyani, N. (2016). Role Models: Mining role transitions data in IT Project Management, En *IEEE International Conference on Data Science and Advanced Analytics*, Montreal, Canada.
- Kiehle, C. (2006). Business logic for geoprocessing of distributed geodata. *Computers & Geosciences*, 32, 1746-1757.
- Kitchenham, B. (2004). *Procedures for performing systematic reviews*. Ever sleigh, Australia: Empirical Software Engineering National ICT Australia Ltd.
- Kitchenham, B., Pearl, O., Budgen, D., Turner, M., Bailey, J. y Linkman, S. (2009). Systematic literature reviews in software engineering: a systematic literature review. *Information and Software Technology*, 51(1), 7-15.
- Kont G. y Sommerville I. (2000). *Requirements Engineering: Processes and Techniques*. New York, USA: John Wiley & Sons.
- Kruchten, P. (2003). *The Rational Unified Process an Introduction* (3a ed.). Boston, USA: Addison-Wesley.
- Lei, P., Kao, G., Lin, S. y Sun C. (2009). Impacts of geographical knowledge, spatial ability and environmental cognition on image searches supported by GIS software. *Computers in Human Behavior*, 25(1), 1270-1279.
- Liu, X., Wang, X., Wright, G., Cheng, J., Li, X. y Liu, R. (2017). A State-of-the-Art Review on the Integration of Building Information Modeling (BIM) and Geographic Information System (GIS). *International Journal of Geo-Information*, 6(53), 1-21.
- Macdonald, A. (2001). *Building a Geodatabase GIS by ESRI* (1a ed.). California, USA: ESRI PRESS.
- Mäkelä, J. (2012). Model for Assessing GIS Maturity of an Organization. En *Spatially Enabling Government, Industry and Citizens - Research and Development Perspectives, Global Spatial Data Infrastructure Association (GSDI)*. Needham, USA.
- Manrique, B. y Zapata, C. (2014). Transformación de lenguaje natural a controlado en la educación de requisitos: Una síntesis conceptual basada en esquemas preconceptuales. *Revista Facultad de Ingeniería*, 70, 132-145.
- Medina, L. (2007a). Caracterización del proceso y herramientas metodológicas de la ingeniería de requerimientos para aplicaciones de sistemas de información geográfica. *Revista Ingeniería e Investigación*, 27(1), 123-131.
- Medina, L. (2007b). *Desarrollo de una metodología para ingeniería de requerimientos en aplicaciones de Sistemas de Información Geográfica* (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Miller, H. (2017). Geographic information science I. *Progress in Human Geography*, 41(4), 489-500.
- Mirzoev, T., Moore, A., Pryzbysz, B., Taylor, M. y Centeno, J. (2015). GIS as a job growth area for IT professionals. *World of Computer Science and Information Technology Journal*, 5(6), 98-111.
- Murillo, D., Osorio, A., Restrepo, R., Durango, C., Londoño, L. y Molina. A. (2017). Evaluación de la contaminación por ruido mediante mapas dinámicos basados en información de densidad de tráfico adquirida en tiempo-real (trabajo de investigación). Universidad de San Buenaventura, Medellín, Colombia.
- Nelson, M., Alencar, P. y Cowan, D. (2007). Informal description and analysis of geographic requirements: An approach based on problems. *Software and Systems Modeling*, 6(3), 223-245.
- O'Flaherty, B., Bartlett, D., Lyons, G., Keaneko, W., Endig, M. y Schulz, J. (2005). Towards a Stage Model for GIS and SDI deployment in local government. En *9th Pacific Asia Conference on Information Systems: I.T. and Value Creation*. Singapur, República de Singapur.
- OMG. (2015). *Essence - Kernel and Language for Software Engineering Methods Version 1.1*. Recuperado de <https://semat.org/documents/20181/57862/formal-15-12-03.pdf/5d2e878b-73aa-40a7-9c6a-6d365f4f1f8c>

- 
- Piovani, J. y Krawczyk, N. (2017). Los estudios comparativos: algunas notas históricas, epistemológicas y metodológicas. *Educação & Realidade*, 42(3), 821-840.
- PMI. (2017). *Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos (Guía del PMBOK®)* (6a ed.). Pennsylvania, USA: Project Management Institute, Inc.
- Quiceno, C., Martínez, L., Castro, L. y Vila, J. (2011). Adecuación de una metodología para el diseño de un sistema de información geográfica para la administración del campus físico de una institución educativa. *Revista Virtual Diseño y Pensamiento*, 1, 1-6.
- Robbi, C., Van, C. y Ivánová, I. (2017). Requirements Elicitation for Geo-Information Solutions. *The Cartographic Journal*, 54(1), 77-90.
- Rodríguez, E., Pérez Y., Linares, N y Portela, Y. (2013). Perfil Ideal en Equipos de Proyectos de Desarrollo de Software. *Serie Científica de la Universidad de las Ciencias Informáticas*, 6(6), 62-74.
- Santiago-Martínez, B. y Morales-Trujillo, M. (2016). ALPHAs basadas en el PMBOK: los elementos esenciales de un proyecto de software. En *4to. Congreso Internacional de Investigación e Innovación en Ingeniería de Software*, Puebla, México.
- Savinykh, V. y Tdvetkov, V. (2014). Geodata as a systemic information resource. *Herald of the Russian Academy of Sciences*, 84 (5), 365-368.
- Simmonette, M., Spina, E. y Magalhães, M. (2016). PMBOK five process groups and essence standard: perfect partners? En *4th international conference in software in engineering research and innovation*. Puebla, México.
- Simmonette, M., Magalhães, M. y Spina, E. (2017). PMBOK and Essence: partners for IoT projects. (1a ed.). En Zapata, C., Durango, C. y Perdomo, W. *Software engineering: methods, modeling and teaching Volume 4* (pp. 211-223). Medellín, Colombia: Editorial Bonaventuriana.
- Smith, C. y Williams, L. (2003). Best Practices for Software Performance Engineering. En *29th International Computer Measurement Group Conference*, Texas, USA.
- Solem, M., Cheung, I. y Beth, M. (2008). Skills in professional geography: an assessment of workforce needs and expectations. *The Professional Geographer*, 60(3), 356-373.
- Somers, R. (1998). Developing GIS Management Strategies for an Organization. *Journal of Housing Research*, 9(1), 157-178.
- Somers, R. (2001). *Quick Guide to GIS Implementation and Management*. Babashaw Ct., USA: URISA.
- Somers, R. (2009). GIS Project Planning and Implementation. En *Advanced Geographic Information Systems* (pp. 19-31). Oxford, United Kingdom: Eolss Publishers Co. Ltda.
- Spencer, L. y Spencer, S. (1993). *Competence at Work*. New York, USA: John Wiley & Sons, Inc.
- Suárez, R. y Castellanos, Ó. (2006). Bases conceptuales e impacto de la implementación de las competencias laborales en la relación individuo-organización. *Cuadernos de Administración*, 19(31), 81-101.
- Tomlinson, R. (2007). *Pensando en SIG: Planificación del Sistema de Información Geográfica dirigida a Gerentes* (3a ed.). California, USA: ESRI PRESS.
- URISA (2000a). *Summaries of duties typically associated with different kinds of GIS-related jobs*. Minnesota, USA: Department of Labor, Employment and Training Administration.
- URISA (2000b). *Model job descriptions for GIS professionals*. Minnesota, USA: Department of Labor, Employment and Training Administration.
- URISA (2010). *Model GIS/IT job descriptions*. Minnesota, USA: Department of Labor, Employment and Training Administration. Minnesota, USA: Department of Labor, Employment and Training Administration.
- URISA (2014). *Geospatial Technology Competency Model*. Minnesota, USA: Department of Labor, Employment and Training Administration. Minnesota, USA: Department of Labor, Employment and Training Administration.
- Vergara, O. y Durango, C. (2019) *Web GIS para administrar los bienes inmuebles que se consideran patrimonio cultural e histórico en Medellín* (Trabajo de grado). Universidad de San Buenaventura, Medellín, Colombia.
- Vila-Ortega, J., Castro-Benavides, L., Rivera-Valencia, D. y Cardona-Torres, S. (2011). Planeación, análisis y diseño del SIG del Campus de la Universidad del Quindío. *Ventana Informática*, 25, 173-188.



- 
- Vila, J., Castro, L., Cardona, S., Quiceno, C. y Martínez, L. (2011). *Planeación, análisis y diseño del sistema de información geográfica del campus de la Universidad del Quindío* (Trabajo de investigación). Universidad del Quindío, Quindío, Colombia.
- Wakabayashi, Y. y Ishikawa, T. (2011). Spatial thinking in geographic information science: a review of past studies and prospects for the future. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 21(1), 304-313.
- Wikle, T. (2012). An Examination of Job Titles Used for GIScience Professionals. En *Geospatial Technologies and Advancing Geographic Decision Making: Issues and Trends* (pp. 68-72). Houston, USA: IGI Global.
- Wilson, G., Aruliah, D., Titus, C., Chue, N., Davis, M., Guy, R., Haddock, S., Huff, K., Mitchell, I., Plumbley, M., Waugh, B., White, E., Wilson, P. (2014). Best Practices for Scientific Computing. *PLoS Biology*, 12(1), 1-7.
- Zapata, C. y Durango, C. (2013). Representación del conocimiento en datos espacio-temporales para SIGs: un enfoque basado en esquemas preconceptuales. *Ingenierías USBMed*, 4(1), 47-55.
- Zarour, M., Abran, A., Desharnais, J. y Alarifi, A. (2015). An investigation into the best practices for the successful design and implementation of lightweight software process assessment methods: A systematic literature review. *Journal of Systems and Software*, 101, 180-192.
- Zeiler, M. (1999). *Modeling our World: The ESRI' Guide to Geodatabase Design* (1a ed.). California, USA: ESRI PRESS.