



UNIVERSIDAD DE LAS CIENCIAS INFORMÁTICAS

Facultad 5, Laboratorio de Gestión de Proyectos

Facultad 6, Centro de Geoinformática y Señales Digitales

**Modelo de desarrollo basado en líneas de
productos de software para Sistemas de
Información Geográfica sobre la base de la
Plataforma GeneSIG**

**Trabajo final presentado en opción al título de Máster en Gestión de
Proyectos Informáticos**

Autor: Ing. Yoenis Pantoja Zaldívar

Tutor: MsC. Surayne Torres López

La Habana, Octubre de 2012

A mi duende, Samuel Ernesto

A mi esposa Eliani

A mis padres y hermana: Eddy, Marisbel y Daylén

A todos los seres que llevan mi nombre en la página de amigos de su
agenda de bolsillo

DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA Y AGRADECIMIENTOS

Yo **Yoenis Pantoja Zaldívar**, con carné de identidad **82072227484**, declaro que soy el autor principal del resultado que expongo en la presente memoria titulada "*Modelo de desarrollo basado en líneas de productos de software para Sistemas de Información Geográfica sobre la base de la Plataforma GeneSIG*", para optar por el título de Máster en Gestión de Proyectos Informáticos.

Este trabajo fue desarrollado individualmente durante los años 2011 y 2012.

En especial deseo agradecer a la MsC. Surayne Torres López quien fungió como tutora de mi formación como máster. Además, deseo agradecer a los profesores y especialistas de los proyectos GeneSIG y Aplicativos SIG, así como al Departamento Productivo de Geoinformática, UCID y GeoCuba, quienes también contribuyeron a mi crecimiento profesional y humano en general. A todos ellos, así como a otros colegas y amigos que no he mencionado por razones de espacio, mi más sincero agradecimiento.

Finalmente declaro que todo lo anteriormente expuesto se ajusta a la verdad, y asumo la responsabilidad moral y jurídica que se derive de este juramento profesional.

Y para que así conste, firmo la presente declaración jurada de autoría en Ciudad de la Habana a los ____ días del mes de _____ del año 2012.

Firma del maestrante

RESUMEN

La falta de procedimientos o guías para la conceptualización de nuevas personalizaciones de Sistemas de Información Geográfica en el Centro de Desarrollo Geoinformática y Señales Digitales de la Universidad de Ciencias Informáticas, provoca que no se estimen correctamente los parámetros esenciales del desarrollo de software, por lo que disminuye la productividad. La presente investigación propone un modelo basado en principios de mejora continua y aumento de la producción a través de la descripción de varias entidades conceptuales de funcionamiento. Se toman como punto de partida los elementos esenciales de algunos de los principales modelos de desarrollo basados en Líneas de Productos de Software existentes, así como la experiencia de trabajo en la línea Aplicativos SIG del referido centro. Se presentan además los resultados de su aplicación en función del aumento de indicadores de adaptabilidad, productividad y aportes en el orden de lo económico y social.

Palabras claves: Reutilización, modelo, SIG, productividad, línea de producto de software.

SUMMARY

The lack of correct procedures or guides for the conceptualization of new customizations of Geographical Information Systems in the Development Center Geoinformática y Señales Digitales of the Universidad de las Ciencias Informáticas have caused the wrong estimation of essential parameters of software development, which decreases productivity. This work presents a model based on the principles of continuous improvement and increased production through the description of several operating conceptual entities, taking as starting point the core elements of some of the principal existing development models based on Software Product Lines and also the experience obtained from the working line Aplicativos SIG of the aforementioned center. Moreover, the results of the application of the model are showed, taking into account the rising of the indicators of adaptability, productivity and main social and economical contributions.

Keywords: Reuse, model, GIS, productivity.

Índice general

| | |
|---|-----------|
| Introducción | 2 |
| Capítulo 1 Principales enfoques sobre LPS y SIG | 10 |
| 1.1 Análisis bibliométrico | 10 |
| 1.2 Líneas de Productos de Software | 11 |
| 1.3 CMMI como modelo de calidad para el desarrollo de software basado en LPS | 23 |
| 1.4 Sistemas de Información Geográfica | 25 |
| 1.5 Visión general del desarrollo de SIG sobre modelos de desarrollo basados en LPS | 28 |
| 1.6 Plataforma Soberana GeneSIG | 29 |
| 1.7 Conclusiones parciales | 30 |
| Capítulo 2 Modelo para el desarrollo de SIG sobre la base de GeneSIG | 31 |
| 2.1 Concepción General del modelo | 31 |
| 2.2 Conclusiones del capítulo | 49 |
| Capítulo 3 Análisis de los resultados | 51 |
| 3.1 Descripción del entorno base de la aplicación del modelo | 51 |
| 3.2 Diagnóstico inicial basado en el esquema funcional del modelo | 51 |
| 3.3 Análisis de las variables postuladas | 53 |
| 3.4 Aportes generados según el esquema funcional del modelo | 63 |
| 3.5 Análisis del impacto económico y social del modelo propuesto | 64 |
| 3.6 Conclusiones del capítulo | 67 |
| Conclusiones | 68 |
| Recomendaciones | 69 |
| Referencias bibliográficas | 70 |
| Anexos | 76 |

Introducción

Muchos intentos se han procurado como importantes en el aumento de la productividad y la calidad de los productos de software. La complejidad de las necesidades o demandas actuales de los sistemas exige como imprescindibles el correcto análisis y la gestión de los requerimientos, de los procesos asociados a la administración de los recursos y del modelo de desarrollo a seguir en su contexto integral. Uno de los esquemas productivos más prometedores ha sido la reutilización del software, que como proceso consiste en “la creación de sistemas de software a partir de bases tecnológicas u otros subsistemas existentes, en lugar de desarrollar desde el comienzo” [GACEK Y OTROS, 2001]. El modelo de desarrollo de software basado en líneas de productos es una de las mejores aproximaciones hacia esta definición, logrando enfocar sus resultados en una llamada “familia” o cartera de sistemas con un óptimo empleo de recursos y componentes.

Con el incremento de la demanda de software y su complejidad, muchos sistemas se están desarrollando basándose en el paradigma de Líneas de Producto Software (LPS) para poder alcanzar los niveles deseados de calidad y mejorar la productividad. Con este nuevo enfoque de trabajo se reduce significativamente el tiempo de puesta en producción y los costes de desarrollo mediante la reutilización de todo tipo de artefactos [MCGREGOR, MUTHIG Y OTROS, 2010].

En esta misma era, el auge ha marcado especializaciones de soluciones para diversas ramas de la ciencia y la técnica. Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son considerados como “herramientas tecnológicas muy útiles para el análisis y manipulación de los datos espaciales o georeferenciados en apoyo a la toma de decisiones de negocios empresariales o gubernamentales” [MARBLE, 1996]. Estos sistemas, al ser implementados en una organización, generan un impacto potencial que condiciona las actividades humanas, al cambiar los procedimientos tradicionales de procesar información geográfica, a nuevos procedimientos automatizados que persiguen optimizar el flujo organizacional mediante la eficacia en la toma de decisiones y el análisis espacial. [MONTILVA, 1994].

En su composición estructural, los SIG están formados por subsistemas o módulos estándares que responden a requerimientos comunes de los usuarios. Su condición de sistemas escalables de acuerdo a la gama de funcionalidades que poseen, hacen de ellos una matriz ideal para la aplicación de modelos de desarrollo que se dirijan a la idea de línea de productos de software.

Antecedentes y situación problemática

La Universidad de las Ciencias Informáticas (UCI), la mayor entidad productora de software de Cuba, pretende llevar la informatización a todos los sectores de la sociedad. Constituye un centro potencial surgido sobre la base del concepto de universidad productiva, con el objetivo de que la docencia se realice desde la producción, de regir y propiciar el avance tecnológico de la industria del software en Cuba y convertir esta última en un renglón fundamental de la economía.

En [TRUJILLO, 2008] se fundamenta que en este centro existe un alto porcentaje de proyectos informáticos que ofrecen soluciones artesanales y a la medida y enumera de ésta un conjunto de limitaciones en el ámbito de la producción de software:

- La definición incorrecta de responsabilidades y roles de los miembros de los proyectos no responden a las necesidades productivas, afectándose con esto la eficiencia, la calidad y el tiempo de desarrollo de los productos.
- La planificación del trabajo en orden personal y a nivel de equipo no es la óptima ni se rige por los estándares establecidos en la Ingeniería de Software, afectándose la efectividad del equipo de desarrollo.
- El insuficiente dominio de las herramientas de trabajo provoca que la gestión de las dudas sea un tema crítico e imprescindible.
- Los componentes o activos de software utilizados no se gestionan de manera correcta lo que dificulta su reutilización.
- No se aplican metodologías de estimación ni se gestiona el tiempo de entrega y costo del trabajo realizado.

Uno de los grupos de producción afectados por estas limitantes es la línea de trabajo de Aplicativos SIG del Centro de Desarrollo de Geoinformática y Señales Digitales (GEYSED). Su creación se debió al desarrollo incremental que han tenido los SIG a nivel mundial y como necesidad de contar con productos soberanos basados en gestión de información geográfica con tecnologías de código abierto. En el entorno actual de este equipo, el esquema de trabajo que se emplea, así como su nivel de productividad se ven limitados por la base del modelo de producción sobre el que se fomentan los resultados de los productos en la universidad, dictaminado por políticas de negocio que responden a clientes fijos, cronogramas diseñados en correspondencia con las actividades docentes de los miembros

de los proyectos, escasez de especialistas y poca experiencia en producciones en serie de gran nivel. [VAREN, 2010].

Por otra parte, la falta de procedimientos o guías para la definición o conceptualización inicial de nuevas personalizaciones de desarrollo de SIG, a la medida de clientes o negocios específicos, provoca que no se estimen correctamente los parámetros de desarrollo como el tiempo, los recursos y las normas de producción adecuadas.

Problema

Teniendo en cuenta la situación expuesta anteriormente se define el siguiente **problema de investigación**: Las deficiencias del proceso de desarrollo de la Línea de Trabajo de Aplicativos SIG del Centro GEYSED afecta sus niveles de productividad respecto a la obtención de nuevos productos SIG.

Objeto de la investigación

El proceso de desarrollo de Sistemas de Información Geográfica.

Objetivo general

Establecer un modelo de desarrollo basado en líneas de productos de software para Sistemas de Información Geográfica sobre la base de la Plataforma GeneSIG que aumente los niveles de productividad en la Línea de Aplicativos SIG del Centro GEYSED.

Objetivos

- Elaborar el marco teórico de la investigación sobre los procesos de desarrollo de SIG actuales y modelos de producción basados en LPS.
- Definir un modelo de desarrollo basado en líneas de productos de software para la implementación de SIG sobre la base de la Plataforma GeneSIG.
- Validar el modelo propuesto mediante la aplicación práctica en siete proyectos de software del Departamento Geoinformática del centro GEYSED.

Campo de acción

Se especifica como campo de acción los procesos de desarrollo basados en Líneas de Productos de Software.

Tipo de investigación

La investigación fue fomentada sobre la base de un estudio descriptivo.

Hipótesis de la investigación

Se plantea que con la aplicación de un modelo de desarrollo basado en líneas de productos para el desarrollo de Sistemas de Información Geográfica se logrará un esquema de trabajo que garantice la obtención de productos personalizados con mayor productividad.

Operacionalización de las variables dependientes e independientes.

| Variable independiente | Dimensión | Indicadores | UM |
|---|--------------------|-----------------------------|-----------------------|
| Modelo de desarrollo de software basado en LPS para la implementación de SIG. | Calidad del modelo | Adaptabilidad | Alta Media Baja |
| | | Capacidad de generalización | Alta Media Baja |

| Variable dependiente | Dimensiones | Indicadores | UM |
|-------------------------------|-------------------------------------|--|------------|
| Productividad | Rapidez en el proceso de desarrollo | Tiempo de desarrollo | Horas |
| | Eficiencia del desarrollo | Eficiencia | Valor real |
| | | Factor de reutilización de activos y componentes | Porcentual |
| Obtención de nuevos productos | Productos desarrollados | Cantidad | |

Muestreo

Población: Once proyectos de desarrollo de la Línea de Aplicativos SIG del Departamento Productivo Geoinformática del Centro GEYSED.

Muestra: Siete proyectos de nivel de prioridad variada. Representa el 63,6% de la población.

Para la selección de la muestra fue utilizada la técnica de *muestreo no probabilístico* que nos permite realizar inferencias sobre la población, específicamente el muestreo intencional que nos posibilita escoger los integrantes de la muestra, permitiéndonos seleccionar los elementos que son representativos o que nos puedan brindar mayor cantidad de información.

Diseño de la investigación

El diseño de la investigación está basado en un cuasi-experimento con post prueba y un grupo de control de acuerdo al patrón de tipo descriptivo que la misma define. Los elementos que pueden afectar la validez interna de este diseño experimental son mitigados en su concepción.

Análisis estadístico a realizar

Para llevar a cabo las acciones experimentales de la investigación se tomó la muestra en dos grupos evaluados, uno de control y otro experimental. Se aplicó el Test de Mann Whitney y la función de productividad de Cobb-Douglas, ambos procedimientos tributaron la realización de un análisis estadístico con el objetivo de determinar la existencia de diferencias significativas en los resultados y validar la efectividad del modelo.

Instrumentos

Como instrumentos propuestos para el análisis estadístico de los datos se determinó el paquete estadístico SPSS, el tabulador Excel y cuestionarios.

Aporte práctico de la investigación

La definición de un modelo de desarrollo basado en LPS para el desarrollo de SIG arrojará los siguientes beneficios:

- Formalizará un esquema de trabajo en la línea Aplicativos SIG correspondiente a las necesidades de producción en cadena de manera eficiente, rápida y con mejor calidad.
- Guiará de manera metodológica la gestión de los recursos humanos y materiales basados en un modelo de desarrollo ágil.
- Asentará los procesos de desarrollo de software sobre técnicas de reutilización de componentes.
- Enfocará la generación de artefactos hacia las actividades críticas del desarrollo.
- Servirá de modelo conceptual para las actividades principales del negocio de personalización de la Plataforma Soberana GeneSIG.

Listado de publicaciones, eventos y avales de la investigación

1. PANTOJA ZALDÍVAR, Yoenis (2009) *Plataforma Soberana para el desarrollo de Sistemas de Información Geográfica*. Taller de Integración y tendencias. Novena Semana Tecnológica de FORDES, 2009. La Habana, Cuba.
2. PANTOJA ZALDÍVAR, Yoenis (2010) *GeneSIG: Plataforma Soberana para el desarrollo de Sistemas de Información Geográfica*. V Taller de Software Libre. Conferencia Científica UCIENCIA 2010. Universidad de las Ciencias Informáticas, La Habana, Cuba.
3. PANTOJA ZALDÍVAR, Yoenis; MARZO MANUEL, Yinet; DIÉGUEZ PAVÓN, Mailín (2010) *Sistemas de Información Geográfica para procesos de modelización hidrológica de precipitaciones*. Revista Electrónica sobre Desarrollo Sustentable Vinculando.org. 2010. México. http://vinculando.org/articulos/sociedad_america_latina/sistemas_informacion_geografica_modelizacion_hidrologica.html
4. PANTOJA ZALDÍVAR, Yoenis (2010) *Sistema de Información Geográfica de la UCI: Personalización de la Plataforma GeneSIG*. V Taller de Software Libre. Conferencia Científica UCIENCIA 2010. Universidad de las Ciencias Informáticas, La Habana, Cuba.
5. PANTOJA ZALDÍVAR, Yoenis; VAREN CABALLERO, Eliani (2011) *Estrategia para implementar Sistemas de Información Geográfica petroleros sobre la base de la Plataforma GeneSIG*. Revista Electrónica sobre Desarrollo Sustentable

Vinculando.org. 2010. México. http://vinculando.org/educacion/sistemas_informacion_geograficos_petroleros.html

6. PANTOJA ZALDÍVAR, Yoenis; VAREN CABALLERO, Eliani (2011) *Estrategia para implementar Sistemas de Información Geográfica petroleros sobre la base de la Plataforma GeneSIG*. VII Congreso Internacional de Geomática. XIV Convención y Feria Internacional Informática 2011. La Habana, Cuba.
7. PANTOJA ZALDÍVAR, Yoenis (2012) *Plataforma Soberana LiberGIS*. Revista Internacional de Ciencias de la Tierra 2009. España. http://www.mappinginteractivo.com/plantilla.asp?id_articulo=1604.
8. PANTOJA ZALDÍVAR, Yoenis (2012) *LiberMaps: Sistema de Catálogo para la gestión de mapas en la Web*. V Taller de Software Libre. Conferencia Científica UCIENCIA 2010. Universidad de las Ciencias Informáticas, La Habana, Cuba.
9. *Plataforma Soberana como soporte para el desarrollo de aplicaciones de Sistemas de Información Geográfica*. Producto clasificado para el Stand UCI, de la Feria Internacional Informática 2009, La Habana, Cuba.
10. *Plataforma Soberana LiberGIS*. Premio Relevante en el VII Fórum de Ciencia y Técnica. Universidad de Ciencias Informáticas. 2009. La Habana, Cuba.
11. *Plataforma Soberana LiberGIS*. Producto avalado por el Jefe del Centro de Desarrollo UCID. Universidad de las Ciencias Informáticas, 2010. La Habana, Cuba.
12. *Plataforma GeneSIG*. Ponencia en la 9na Semana Tecnológica de FORDES. 2009. La Habana, Cuba.
13. Concursante finalista en la 2da Edición del Concurso sobre Historia de la Computación de la Sociedad de la Computación del IEEE. 2007. La Habana, Cuba.
14. Resultado introducido *Plataforma GeneSIG*. Aval de la Dirección de Proyectos Nacionales. Universidad de Ciencias Informáticas, 2009, La Habana, Cuba.
15. Resultado Introducido. *SIG-UCI*. Producto avalado por la Dirección de Informatización. Universidad de las Ciencias Informáticas, 2010. La Habana, Cuba.
16. Resultado Introducido. *LiberMaps*. Producto avalado por Vicedecanato de Producción de la Facultad 9. Universidad de las Ciencias Informáticas, 2010. La Habana, Cuba.

17. Resultado Introducido. *LiberMaps*. Producto avalado por Vicedecanato de Investigación de la Facultad 9. Universidad de las Ciencias Informáticas, 2010. La Habana, Cuba.

Estructura del documento

El presente documento está estructurado en tres capítulos: El Capítulo 1 se corresponde con la fundamentación teórica de la investigación, dónde se describe y conceptualiza lo referente a Líneas de Productos de Software, Sistemas de Información Geográfica y se presentan los enfoques fundamentales utilizados en la actualidad sobre estas temáticas y su marco de integración.

En el Capítulo 2 se hace una presentación del modelo propuesto mediante las entidades que lo componen desde dos esquemas conceptuales, el centrado en LPS y el centrado en CMMI.

En el Capítulo 3 se describe la validación de los resultados de la investigación mediante la evaluación de las variables de la hipótesis identificada y se detallan los aportes económicos y sociales de su implantación. A modo de conclusión se presentan los fundamentos sobre la utilidad y validez de la propuesta a través de los resultados obtenidos.

Capítulo 1 Principales enfoques sobre LPS y SIG

El presente capítulo describe el estado del arte de las temáticas principales como las Líneas de Productos de Software y Sistemas de Información Geográfica. Se exponen diversos criterios sobre la tendencia actual de los procesos de desarrollo de software basados en reutilización de componentes, los elementos metodológicos esenciales para el desarrollo de SIG y su aplicación en las actividades fundamentales de toma de decisiones a nivel empresarial o gubernamental.

1.1 Análisis bibliométrico

En este epígrafe se presentan los datos de los procesos del análisis bibliométrico llevado a cabo en la investigación. La Tabla 1 desglosa los materiales consultados o referenciados en nivel de actualidad y tipo de fuente.

Tabla 1 Análisis bibliométrico. [Del autor].

| Fuentes | Últimos 5 años | % | Años anteriores | % |
|---|----------------|-------------|-----------------|-------------|
| Libros y monografías | 4 | 6,3 | 1 | 1,6 |
| Tesis de doctorados | 0 | 0 | 5 | 7,9 |
| Tesis de maestrías | 5 | 7,9 | 1 | 1,6 |
| Artículos en Revistas referenciadas en Web of Science, SCOPUS | 4 | 6,3 | 2 | 3,1 |
| Memorias de eventos | 5 | 7,9 | 1 | 1,6 |
| Artículos publicados en la Web | 16 | 25,4 | 12 | 19,1 |
| Reportes técnicos y conferencias | 6 | 9,5 | 1 | 1,6 |
| Total | 40 | 63,5 | 23 | 36,5 |

Como mecanismos de búsqueda se utilizaron las herramientas SCIRUS, el Google Académico y el buscador de ScienceDirect. Los resultados obtenidos sustentaron en un alto porcentaje los fundamentos teóricos reflejados en la investigación y se demuestra, a través del análisis de la tabla anterior, que el 63,5 % de la información consultada o referenciada tiene una novedad enmarcada en los últimos cinco años.

1.2 Líneas de Productos de Software

Dada la importancia cobrada por los sistemas informáticos en la actualidad, el rápido de avance de la tecnología y la complejidad de implementación de cada software moderno, los desarrolladores han diseñado nuevos métodos, técnicas y herramientas para mitigar las necesidades asociadas al proceso de desarrollo. Una de éstas soluciones es la *reutilización*, la cual consiste en desarrollar elementos de software que puedan utilizarse más de una vez con la mínima cantidad de modificaciones, garantizando que al reutilizar un elemento de software, libre de defectos, implicará que el sistema que lo utilice no tendrá problema alguno en lo que respecta a dicho elemento [KRUEGER, 2006].

Tal fue el éxito de aplicar la reutilización, que ésta evolucionó de alguna manera hasta generar el concepto de Líneas de Productos de Software (LPS) – (Ver Figura 1) conocido también como Familias de Sistemas de Software – para el cual se conocen indicios desde los años 70 cuando uno de los grandes colaboradores de la Ingeniería de Software, David L. Parnas, mencionó en uno de sus trabajos los beneficios de tener una familia de sistemas compartiendo características entre ellos [PARNAS, 1976].

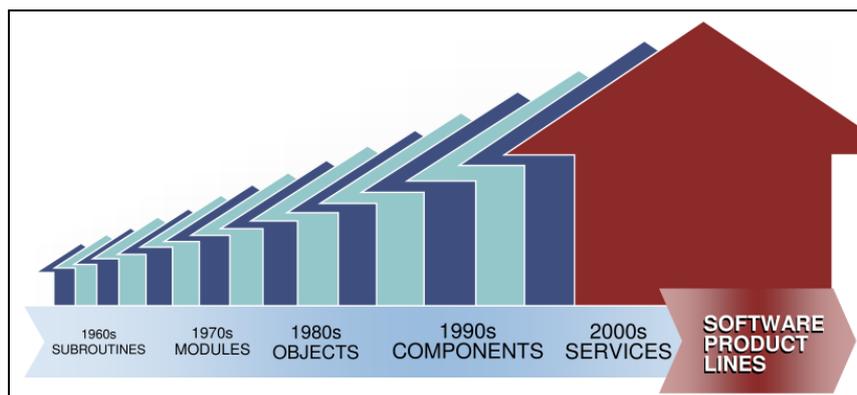


Fig. 1 Evolución de la reutilización como estrategia de desarrollo de software. [NORTHROP, 2008].

El Instituto de Ingeniería de Software (SEI) define una LPS de la siguiente manera: “(...) es un conjunto de sistemas de software compartiendo características comunes y administradas que satisface las necesidades específicas de un segmento de mercado particular o misión y que son desarrolladas de forma preescrita a partir de un conjunto común de elementos clave”. [NORTHROP, 2008].

El concepto de LPS que dicta [RABISER, O'LEARY Y RICHARDSON, 2010] refiere a que es un *conjunto de elementos clave para producir sistemas de software que comparten características comunes o similitudes, pero al mismo tiempo mantienen características propias*, concepto que varias bibliografías lo asocian con el término variabilidad.

Otra de las definiciones que reflejan claramente el concepto es la de Charles W. Krueger en sus bibliografías académicas referidas a los modelos de desarrollo donde destaca: “*Cuando hablamos de Líneas de Productos de Software se refiere a las técnicas de ingeniería para la creación de una cartera de sistemas de software similares a partir de un conjunto común de activos de software utilizando un medio común de producción*”. [KRUEGER, 2006]

En fundamentos de [PESTANO, 2010] se plantea que (...) *El desarrollo basado en Líneas de Producto busca aprovechar esta parte común para desarrollar de forma eficiente y sistemática nuevos miembros de la familia de productos. Mediante la ingeniería de Líneas de Producto, las organizaciones pueden reducir su esfuerzo de desarrollo, acortar los tiempos de entrega al mercado de nuevos productos, facilitar su mantenimiento y evolución, además de poder planificar de forma conjunta el desarrollo y el mantenimiento.*

Autores como [NORTHROP Y JONES, 2008], [BERGEY Y OTROS, 2010], [BASTARRICA, 2010] y [MCGREGOR, 2010] coinciden en el resumen teórico que afirma que los fabricantes han utilizado durante mucho tiempo las técnicas de ingeniería análoga para crear línea de productos similares. Los modelos de trabajo utilizan una fábrica común que reúne a las partes y se configura tras un diseño esquemático que emplea la variabilidad como patrón a ser reutilizado para la generación de nuevos productos.

1.2.1 Esquema funcional de una LPS

Varios autores consideran que el esquema funcional de una LPS puede describirse como la combinación de cuatro simples conceptos:

Activos de software: Colección de componentes de desarrollo tales como requisitos, códigos fuente, casos de prueba, elementos de arquitectura y documentación, que se pueden configurar e integrar de diferentes maneras para crear todos los productos resultantes de la línea.

Modelos de decisión y decisiones de producto: Describen las características opcionales y variables para los productos en la línea. Cada producto de la línea es definido por un conjunto de decisiones (decisiones del producto).

Proceso de producción: Establece los mecanismos o los pasos para componer y configurar productos a partir de los activos de entrada. Las decisiones del producto se usan para determinar qué activos de entrada utilizar y como configurar los puntos de variación de esos activos.

Productos de software: Conjunto de productos que pueden o son producidos por la línea de productos. El alcance de la LPS está determinado por el conjunto de productos que puede ser producido a partir de los activos de software y el modelo de decisión.

[PESTANO, 2010] afirma que las líneas de productos de software representan a familias de productos en un entorno de negocio o de conocimiento específico con un alcance bien definido. Las aplicaciones que pertenecen a uno de estos dominios, comparten aspectos comunes como: la arquitectura, las tecnologías base y algunas funcionalidades. Están construidas a partir de grupos de componentes reutilizables o servicios y el centro de la reutilización son los activos de software. (Ver figura 2).

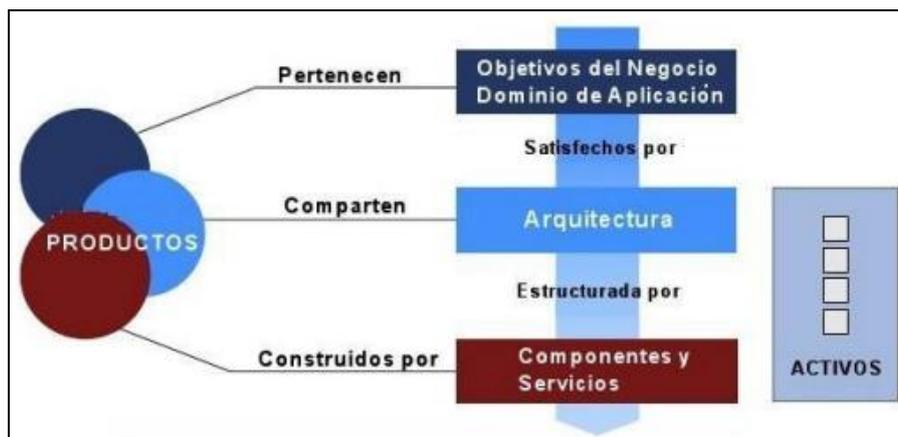


Fig. 2 Vista funcional de las LPS. [PESTANO, 2010]

1.2.2 Procesos básicos de una LPS

A nivel procedural las LPS se componen de varios elementos que agrupan los conceptos tratados anteriormente. Para que se cumpla el objetivo de la reutilización y

se obtengan los resultados productivos esperados, cada pieza debe jugar su papel y tributar al resto de manera integradora.

En estudio presentado por [MONTILVA, 2006], los procesos de negocio fundamentales son los siguientes:

Ingeniería de Dominio: La Ingeniería de Dominio (ID) captura la información y representa el conocimiento sobre un dominio determinado con el fin de crear activos de software reutilizables en el desarrollo de cualquier nuevo producto de una LPS. Los artefactos o productos de una ID son: definiciones de dominio, modelos del dominio, modelo de requisitos del dominio, modelos arquitectónicos, ontologías del dominio, lenguajes del dominio y los estándares del dominio.

Las actividades principales de la Ingeniería de Dominio son el Análisis de Aspectos (analiza la familia para determinar los requisitos que son comunes, opcionales y diferentes a todos sus miembros), el Diseño de la Arquitectura LPS y la Implementación del Dominio.

Ingeniería de Aplicaciones: La Ingeniería de Aplicaciones (IA) se encarga del desarrollo de los productos de la LPS a través de la reutilización de los activos de software y los planes de producción. La arquitectura de dominio es empleada como modelo de referencia para diseñar los productos de la LPS y el repositorio provee los activos requeridos durante el desarrollo de cada nuevo producto de la LPS.

Gestión Tecnológica: El proceso de Gestión Tecnológica está determinado por el modelo de desarrollo de software que se ponga en marcha en la organización o empresa y que está determinado por la adaptación de alguno de los modelos tradicionales existentes en el mundo de las LPS. Refiere el aseguramiento de los aspectos técnicos que garantizan el desarrollo en la línea basado en el ambiente de desarrollo y la gestión de la configuración de software.

Gestión Organizacional: Está relacionado con la organización de la entidad y las actividades que ella debe implantar para asegurar el aprovechamiento eficaz y eficiente del paradigma LPS. Entre los principales aspectos organizacionales están la construcción de los casos de negocio, la gestión de las relaciones con los clientes, el análisis de nuevos mercados, la planificación, la gestión de los riesgos y la capacitación del personal.

[MELLADO, 2004] expone como principales beneficios de su implantación los siguientes:

- Reducen el esfuerzo de desarrollo dedicado a cada producto.
- Reducen el tiempo de entrada en el mercado de cada producto.
- Permiten producir más funcionalidades en la misma cantidad de tiempo y dinero.
- Se reduce el tiempo de integración de componentes por producto.
- Se reduce el tiempo de certificación por producto, dependiendo de los requisitos de certificación necesarios y del organismo certificador.

La sinergia entre estas estructuras funcionales garantiza la creación de un sólido modelo de desarrollo, pues abarcan los procesos medulares de un esquema productivo ideal que sustenta su ámbito sobre la reutilización del conocimiento y la especialización por entidades. Constituyen un patrón conceptual a seguir si se pretende implantar una línea de productos en busca del aumento de la productividad.

1.2.3 Beneficios de las LPS relativos a la productividad

La productividad es la relación entre la producción obtenida por un sistema productivo y los recursos utilizados para obtener dicha producción. También puede ser definida como la relación entre los resultados y el tiempo utilizado para obtenerlos: cuanto menor sea el tiempo que lleve obtener el resultado deseado, más productivo es el sistema [CASANOVA, 2008]. En realidad la productividad debe ser definida como el indicador de eficiencia que relaciona la cantidad de producto utilizado con la cantidad de producción obtenida.

En el ámbito de desarrollo profesional se le llama productividad (P) al índice económico que relaciona la producción con los recursos empleados para obtener dicha producción, expresado matemáticamente como: $P = \text{producción}/\text{recursos}$. [CARBALLAL, 2009]

Las LPS pueden incrementar significativamente la productividad en una empresa o entidad de desarrollo, entendida como una reducción en el esfuerzo y el costo necesario para desarrollar, poner en marcha y mantener un conjunto de productos de software similares. El entorno tradicional de desarrollo de software tiende a centrarse en el producto: cada producto tiene su mantenimiento y los equipos humanos también tienden a fragmentarse de esta forma. No se aprovechan de esta forma las potenciales sinergias que se podrían derivar de la semejanza entre productos, y el número de productos diferentes que se pueden gestionar eficazmente es muy limitado.

Por el contrario, un entorno de LPS está pensado expresamente para gestionar lo común, y su complementario, lo variable. La reutilización ya no es oportunista, sino planificada, y la incorporación de nuevas variantes se realiza de forma sistemática y controlada [DIAZ, 2010]. Esto agiliza no sólo el desarrollo del producto y su puesta en el mercado sino también su mantenimiento. La figura 3 muestra un gráfico comparativo entre estos dos modelos de trabajo. La intersección entre las dos líneas muestra el punto a partir del cual se empieza a rentabilizar la inversión inicial (costo de entrada) en la LPS. A partir de aquí, la generación de un producto es menos costosa con la LPS que con el enfoque tradicional.

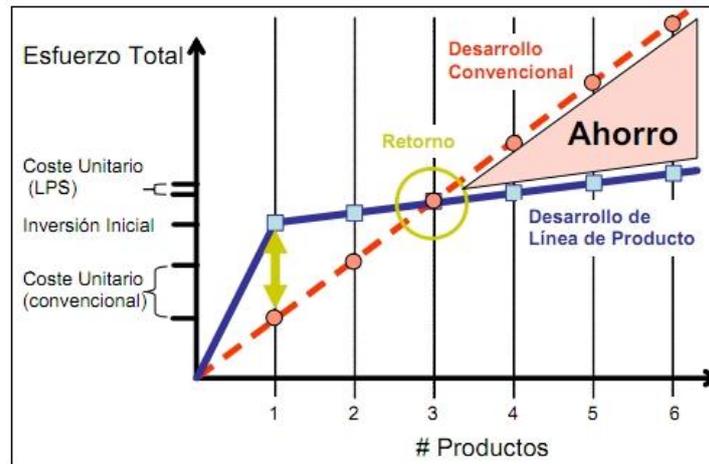


Fig. 3 Desarrollo convencional vs LPS en función de la productividad. [DIAZ, 2010].

1.2.4 Análisis de algunos modelos basados en LPS

A lo largo de todo el mundo, las principales empresas de software incrementan su productividad utilizando patrones de conceptos de LPS y se van sumando otras. A continuación se realiza un análisis de los modelos de trabajo o proyectos de software más utilizados en esta rama a nivel mundial.

PRAISE

PRAISE (*Product-line Realisation and Assessment in Industrial Settings*), constituye la continuación del proyecto ARES definido en el *European Software Institute* (ESI) entre los años 1998 y 1999. Está enfocado en un esquema de desarrollo de software para familia de aplicaciones y propone metodologías de trabajo que añade relaciones entre las fases de análisis, diseño e implementación del dominio con los procesos de la

ingeniería de aplicación (Ver Figura 4). Junto al proyecto ARES constituyó una referencia para el paradigma de desarrollo de familias de productos en Europa [LINDEN, 2010].

Entre los elementos positivos del modelo se pueden destacar la esquematización detallada de los procesos por las dos áreas claves: Ingeniería de Dominio e Ingeniería de Aplicaciones, el basamento tecnológico soportado por una arquitectura de referencia como línea base, la trazabilidad de los requisitos desde los procesos iniciales hasta la adaptación de los componentes, así como el flujo de retroalimentación establecido en todo el ciclo de desarrollo basado en la reutilización.

Algunas limitaciones que se identifican en el modelo están relacionadas con la ausencia de un repositorio para la gestión de los componentes y activos reutilizables. Igualmente, el área organizacional definida está poco fundamentada de acuerdo a los principios basados en LPS que refieren a la gestión de los recursos humanos, los riesgos, los costos y la calidad de los distintos procesos que se generan en su aplicación.

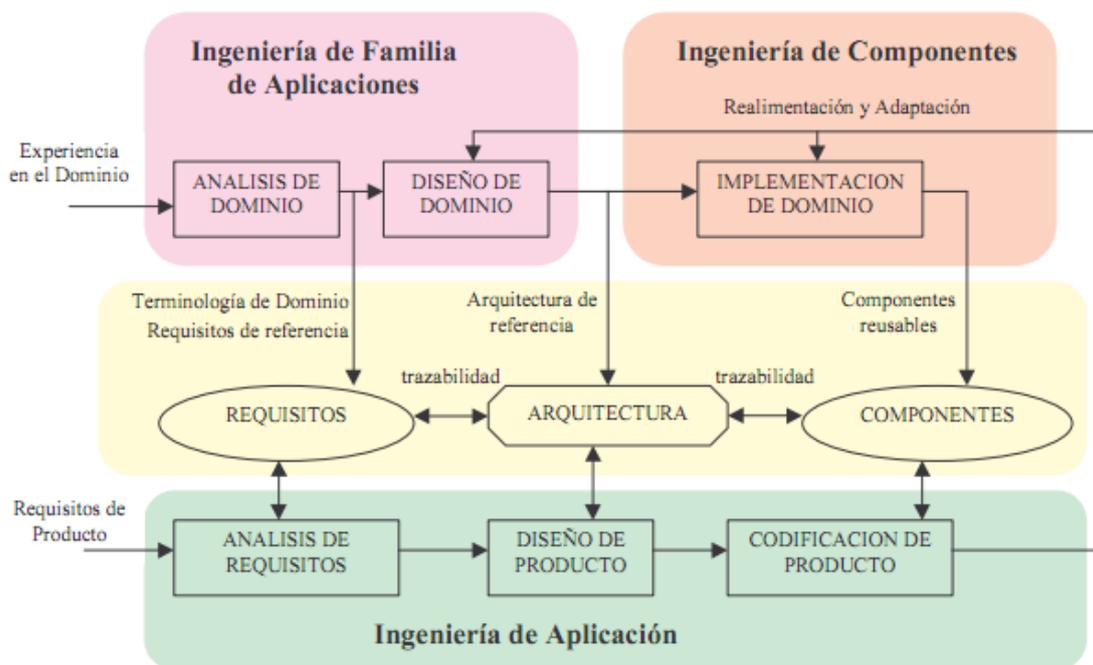


Fig. 4 Diagrama de procesos de desarrollo del modelo PRAISE [PESTANO, 2010].

ESAPS

ESAPS (*Engineering Software Architectures, Processes and Platforms for System Families*) es un proyecto generado entre los años 1999 y 2001 con la colaboración de más de 20 compañías e institutos investigativos de Europa, forma parte del programa Eureka Σ! 2023 perteneciente a la fundación técnica ITEA (*Information Technology for European Advancement*) y se enunció como la continuación de PRAISE. Las actividades de este modelo de desarrollo están relacionadas, al igual que su proyecto precedente, con el proceso de desarrollo de la familia de aplicaciones.

ESAPS define sus procesos en seis paquetes de trabajo: [ESAPS, 2001]: Análisis y modelado de la línea de productos, definición y descripción de la familia de productos, derivación de productos y evolución de activos de software, validación tecnológica, difusión y administración.

Como novedad y *elementos positivos* del modelo, estos procesos se ven aumentados gracias a la redefinición conceptual del bloque de Ingeniería de Dominio en el que sus artefactos podrán igualmente reutilizarse en el proceso de producción y gestionar sus bienes (componentes y activos) en un repositorio. La principal ventaja de esta configuración es que el costo total del desarrollo se reducirá después de varios sistemas están construidos.

Algunas desventajas que se reflejan en el proyecto, a pesar de que evolucionó un conjunto de aspectos referidos a la gestión organizacional, se enmarcan en las actividades que se deben implantar para asegurar el aprovechamiento eficaz y eficiente del paradigma LPS, como la construcción de los casos de negocio, la gestión de las relaciones con los clientes, el análisis de nuevos mercados, la planificación, la gestión de los riesgos y la capacitación del personal.

CAFE

El proyecto CAFE (*From Concepts to Application in System-Family Engineering*) constituye el cuarto y más novedoso proyecto fomentado por el ESI de los que iniciaron el ciclo de familias de productos, igualmente basado en metodologías para desarrollos ágiles y con un esquema superior a los otros en cuanto a reutilización y gestión de componentes y/o activos de software. Es la continuación de ESAPS y uno de sus resultados es el Entorno de Referencia de Familias de Productos que combina cuatro grandes modelos: [MELLADO, 2004].

- Modelo organizacional CAFE (CAFE OM).

- Entorno de Procesos ISO/IEC 15504.
- Modelo de referencia CAFE (CAFE CRM).
- Modelo de activos CAFE (CAFE ARM).

Las ventajas que oferta el modelo CAFE se enmarcan en la inclusión de procesos claves en el desarrollo, ausentes en los modelos anteriores del ESI, como son los de gestión de la configuración, la gestión de cambios y la planificación. Igualmente tiene en cuenta los procesos de pruebas tanto en el entorno del dominio como en el de aplicación y da una marcada prioridad al análisis de los beneficios de acuerdo a la factibilidad económica del desarrollo en los pasos previos de las ingenierías.

Desde el punto de vista del desarrollo establece los artefactos básicos en cada fase teniendo en cuenta la definición inicial de la arquitectura base y se encarga de gestionar el proceso de adquisición de tecnologías con los suministradores y clientes de una manera más organizada.

Entre las limitantes del modelo se señalan la no definición de las actividades para la gestión de activos y componentes en los repositorios, la no inclusión de principios claves para el aseguramiento de la calidad y la mejora continua en todos los entornos y que la gestión y capacitación de los recursos humanos que interactúan en el desarrollo no se reflejan de manera explícita.

TWIN

El modelo TWIN, denominado igualmente como ciclo de vida gemelo (*twin life cycle*), partió de un esquema de procesos [SAMETINGER, 1997] que provee una visión mucho más amplia y completa del desarrollo de software basado en componentes y su representación divide el proceso de desarrollo de software en dos grandes bloques paralelos, tal como se ilustra en la Figura 5. El primer bloque, conocido como Ingeniería de Dominios, contempla los procesos necesarios para desarrollar activos de software reutilizables en un dominio particular y dirige a la creación sistemática de modelos de dominios, arquitecturas, componentes y activos de software reutilizables. El segundo bloque es denominado Ingeniería de Aplicaciones que constituye la parte de la Ingeniería de Software que se basa en la reutilización de componentes existentes y en el conocimiento del dominio. El propósito conceptualizado de TWIN, en resumen, es el desarrollo de aplicaciones basado en la reutilización de activos de software producidos a través de un ciclo de desarrollo gemelo o bidimensional (Ingeniería de Dominios e Ingeniería de Aplicaciones).

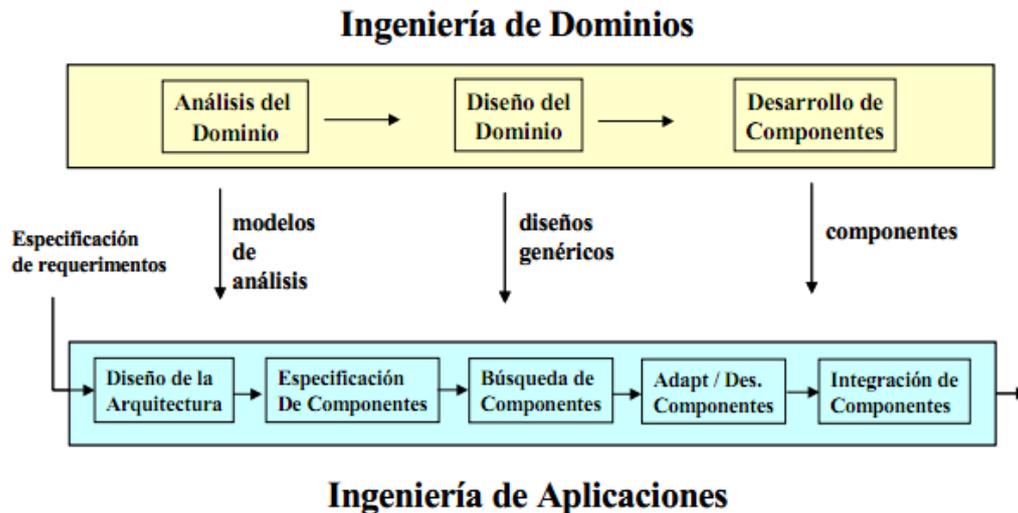


Fig. 5 Modelo de procesos gemelos TWIN [SAMETINGER, 1997].

Entre las ventajas a señalar de TWIN están los mecanismos establecidos para la gestión de los activos de software y componentes reutilizables, la buena definición de sus dos áreas claves (Dominio y Aplicaciones) que organizan cómodamente el ciclo en entornos funcionales de desarrollo y la inclusión de aspectos relacionados con la gestión de la calidad.

Sin embargo, el modelo no incluye líneas de trabajo enfocadas a distintas áreas de procesos de gestión de proyecto como la estimación de los riesgos, los costos de producción asociados al desarrollo y otras pertenecientes al esquema de soporte como mantenimiento y actividades del despliegue.

PuISE

El modelo PuISE, creado por el *Institute for Experimental Software Engineering* (IESE), una de las principales instituciones que investigan sobre Líneas de Productos de Software en Europa [EISE, 2002], ha tenido un auge importante en pequeñas y medianas empresas en este continente. Incluye entre su modelo de trabajo tres elementos fundamentales: (Ver Figura 6)

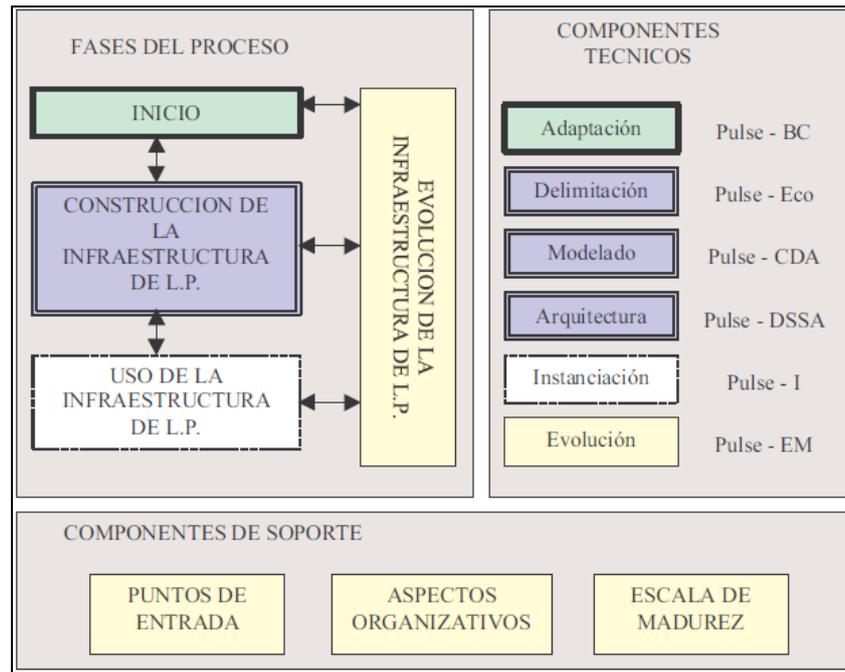


Fig. 6 Proceso de desarrollo PulSE [MELLADO, 2004].

- Las fases del proceso, que representan las etapas del desarrollo de la línea de productos: inicio, desarrollo, uso y evolución.
- Los componentes técnicos, que constituyen las herramientas que se emplean en cada fase del proceso.
- Los componentes de soporte, que permiten evaluar la calidad de una aplicación del método en un cierto entorno.

El primer eslabón del ciclo de trabajo, delimita la fase de inicialización con los procesos de la adaptación de los componentes del dominio de acuerdo a las aplicaciones a implementar, la segunda y más compleja, referida a la construcción de la infraestructura de la línea, incluye la definición del alcance de acuerdo a la variabilidad, se establece la arquitectura de referencia y las actividades de modelado y la última, que constituye el uso y la evolución de la infraestructura, guía al resto de los componentes basándose en aspectos de gestión, evolución y aprendizaje. [PESTANO, 2010].

PULSE en su composición general ofrece como ventajas, la buena documentación que dispone de todos sus procesos, el basamento del diseño y comunicación

estandarizados sobre UML (*Unified Modeling Language*), los fundamentos de organización de los ciclos de trabajo como la gestión documental, la gestión de recursos humanos, la calidad del software y el soporte; así como el enfoque sistémico basado en componentes.

El modelo no concesiona, entre los elementos medulares de la gerencia del proyecto, la capacitación de los recursos humanos, aspecto que se gestiona como parte del fundamento teórico de la evolución de la línea. Igualmente, la identificación o determinación de acciones relacionadas con la gestión de los materiales, repositorios de activos de software y la calidad supervisada de algunos procesos, constituyen limitantes a destacar.

Modelo de Desarrollo para LPS en Centros de Producción UCI

El Modelo de Desarrollo para LPS en Centros de Producción fue propuesto por Henrik Pestano Pino y Pedro Y. Piñero Pérez en el año 2010 con el objetivo de aplicarse como esquema de trabajo en la Universidad de Ciencias Informáticas (UCI) de Cuba. Para su concesión se analizaron las principales tendencias en Europa y América y se tomaron de cada una de estas corrientes los aspectos positivos para conformar un modelo basado en los principios de LPS, arquitectura de empresas y mejora continua. [PESTANO, 2010].

La determinación de seis entidades de desarrollo en un esquema de trabajo que recoge cada uno de los escenarios claves de los procesos de elaboración de software en línea (Ver Figura 7) constituye un elemento importante a destacar en este modelo. Igualmente el punto de partida sobre las experiencias obtenidas en varias organizaciones de desarrollo de software de alta demanda del centro, donde existían las condiciones ideales para su aplicación que partían de un elevado número de compromisos productivos y una necesidad urgente de reutilizar los resultados obtenidos aisladamente, benefició directamente el esquema de su aplicación en función del aumento de la productividad de los equipos de trabajo y de la cantidad de productos desarrollados.

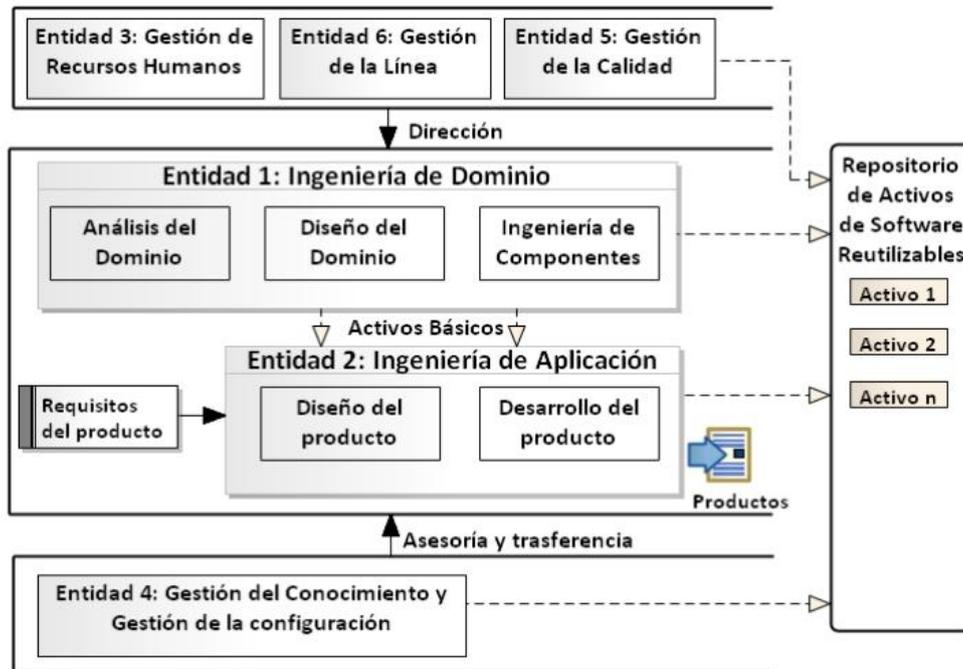


Fig. 7 Vista del Modelo para LPS en Centros de Producción [Pestano, 2010].

Este modelo está soportado por los principios propuestos por los modelos del *Software Engineering Institute* (SEI), TWIN y el *Project Management Institute* (PMI) y adopta en cada una de sus áreas de procesos claves de las mejores prácticas y tendencias mundiales sobre esta rama.

Como limitante para su aplicación en una línea de desarrollo de SIG está la generalidad productiva que abarca y el establecimiento de una Familia de Productos como expansión conceptual.

1.3 CMMI como modelo de calidad para el desarrollo de software basado en LPS

La evaluación de la madurez de proceso de software dentro de un proyecto de software siempre ha sido un área clave de investigación en la Ingeniería de Software. El Modelo de Capacidad y Madurez (CMMI), creado en 1991 por el *Software Engineering Institute* (SEI) como CMM y posteriormente actualizado como CMMI en 2002, es un modelo inspirado en el mejoramiento continuo que permite clasificar a las organizaciones de desarrollo de software según una escala de cinco niveles de madurez y capacidad. La clasificación en un determinado nivel se realiza sobre la base

del dominio que una organización evidencia tener acerca de las áreas de proceso de dicho nivel, lo cual a su vez refleja el grado de madurez de la misma y de los procesos que ella realiza para desarrollar software. [FAHEEM, CAPRETZ, 2010].

Según [ATI, 2009], CMMI orienta a las organizaciones sobre la manera de obtener el control de su procesos de desarrollo y mantenimiento de software, así cómo avanzar hacia una cultura de ingeniería de software y gestión de excelencia. Proporciona además una guía para determinar la madurez de los procesos en curso y desarrollar una estrategia para mejorar la calidad del software y del proceso.

Muchas organizaciones que basan su desarrollo en técnicas de reutilización o líneas de productos planean acreditarse en un modelo de calidad con el fin de poder acceder al mercado de las exportaciones. Sin embargo, la adopción de estos procedimientos, precedidos por la preparación previa que exige la certificación es, por supuesto, larga y costosa, elementos que contradicen los patrones de desarrollo de las LPS.

[JONES & SOULE, 2002], en estudio de la relación entre los procesos de la líneas de productos de software y el modelo CMMI, plantea que éste último proporciona una base importante para la práctica de patrones de desarrollo basados en reutilización y que aunque para su aplicación exitosa se requiera el dominio de muchas otras áreas prácticas esenciales, hay similitudes estratégicas a favor del éxito productivo.

1.3.1 Product Line Technical Probe

Sobre las bases conceptuales de CMMI y las necesidades identificadas para esquemas de desarrollo sobre LPS, el SEI creó y perfeccionó el *Product Line Technical Probe* (PLTP), [SEI, 2012], un *framework* de adecuación de procesos de desarrollo a favor de la madurez y la calidad en LPS. PLTP basa su funcionamiento en 29 áreas prácticas que se agrupan en tres categorías: desarrollo del producto, desarrollo de activos y administración. [FAHEEM, CAPRETZ, 2010] y funciona como herramienta de diagnóstico del *Framework for Software Product Line Practice* como modelo de referencia de la propia entidad.

Aunque el *framework* no define con claridad los niveles de la organización en función de la madurez de sus procesos, de alguna manera identifica aquellas áreas de interés potenciales a las que se debería prestar atención mientras se lleva a cabo cualquier actividad de línea de producto de software [SEI, 2012].

PLTP sigue una estructura de procesos basados en instrumentos de diagnóstico que evalúan la capacidad del desarrollo, la evaluación técnica de riesgos y el funcionamiento gradual de la línea. Sus mecanismos de pruebas están identificados en tres fases: Fase Preliminar, Fase de Pruebas Técnicas y la Fase de Seguimiento.

La **Fase Preliminar** tiene como propósito el levantamiento de la información inicial asociada al contexto organizacional y sentar las bases para el despliegue de los instrumentos de evaluación. Incluye metas para la reducción del esfuerzo, la definición de la estructura organizacional y sus respectivos niveles, el establecimiento de las líneas para la gestión del conocimiento, los componentes legales, las prácticas específicas a seguir y los documentos asociados al desarrollo. [SEI, 2012].

La **Fase de Pruebas Técnicas** se encarga de ejecutar los procedimientos de sondeo definidos previamente en la Fase Preliminar, para ello reúne la información recogida a través del diagnóstico sobre las áreas de proceso establecidas, las analiza y evalúa. Con los resultados obtenidos, son determinadas las fortalezas y debilidades y reportadas a cada área práctica para su tratamiento. [SEI, 2012].

En la **Fase de Seguimiento** se emiten los reportes de los resultados de todo el proceso de pruebas y se pueden incluir varios servicios como el desarrollo de un plan de acciones enfocado a la corrección de los hallazgos y el soporte técnico en diversas áreas. Esta asistencia incluye varias metas para la definición de la arquitectura, la gestión de activos, el desarrollo de casos de negocio, las métricas y las estrategias de adquisición. [SEI, 2012].

Concluye [FAHEEM, CAPRETZ, 2010] que con la implementación de modelos de CMMI como PLTP en una organización, se aumenta la fiabilidad del software producido, la visibilidad de los procesos de producción y soporte, así como la reusabilidad de los componentes. Como resultado de la combinación de este tipo de mejoras, a favor del paradigma de las LPS, se disminuyen los costos de producción y mantenimiento de las aplicaciones, el tiempo de desarrollo y aumentan los factores de productividad.

1.4 Sistemas de Información Geográfica

1.4.1 Definiciones de SIG

Los SIG se han convertido en una primordial herramienta para el manejo de información espacial o territorial en el cual se apoyan especialistas e investigadores de

la rama. Constituyen una tecnología enfocada a visualizar geográficamente todo tipo de información o datos referentes a los propósitos particulares de cada sistema. Diversos autores generaron definiciones o conceptos asociados al tema:

- Es un sistema que puede ser concebido como una especialización de un sistema de bases de datos, caracterizado por su capacidad de manejar datos geográficos, que están georreferenciados y los cuales pueden ser visualizados como mapas [WEBSTER AND BRACKEN, 1992]
- Es un conjunto de hardware, software y datos geográficos para capturar, manipular, analizar y mostrar información geográficamente referenciada. [ESRI, 1995].
- Es una integración de hardware, software y datos geográficos diseñados para integrar, almacenar, editar, analizar, compartir y mostrar la información geográficamente referenciada con el objetivo de resolver problemas complejos de planificación y gestión [BOSQUE, 1994]
- Es un modelo de una parte de la realidad referido a un sistema de coordenadas terrestre y construido para satisfacer unas necesidades concretas de información [YAGÜEZ, 2002].

1.4.2 Componentes de un SIG

Como se enfoca en su definición más general, la composición de los SIG está dividida en cinco elementos conceptuales: el hardware, el software, la información, el personal capacitado y los métodos de análisis o desarrollo [ORTIZ, 2002].

Hardware: Este tipo de sistemas requieren varios tipos de dispositivos, desde equipos computadores centralizados para el almacenamiento de los datos, hasta capturadores de información geográfica. Su organización ha de determinarse por un hardware específico y de buenas prestaciones para cumplir con las necesidades de las aplicaciones asociadas al procesamiento y análisis.

Software: Los componentes principales desde el punto de vista del software son: los sistemas de manejo de bases de datos, la interfaz gráfica de usuarios (GUI) para el fácil acceso a las herramientas, las herramientas de captura y manejo de información geográfica y las herramientas para el soporte de consultas, análisis y visualización de los datos.

Información: La constituyen los llamados datos espaciales y alfanuméricos, que pueden obtenerse por recursos propios o a través de proveedores específicos (ficheros, bases de datos externas o servicios).

Los datos que se representan en un SIG están determinados por un conjunto de capas de información que al combinarse entre sí crean situaciones espaciales. Estas capas se construyen de acuerdo a la proyección gráfica obtenida de forma vectorial o ráster. Las capas vectoriales las constituyen elementos como los puntos, líneas, polígonos y las ráster se determinan por conjuntos de celdas de información que corresponden a los píxeles de la pantalla (Ver Figura 8).

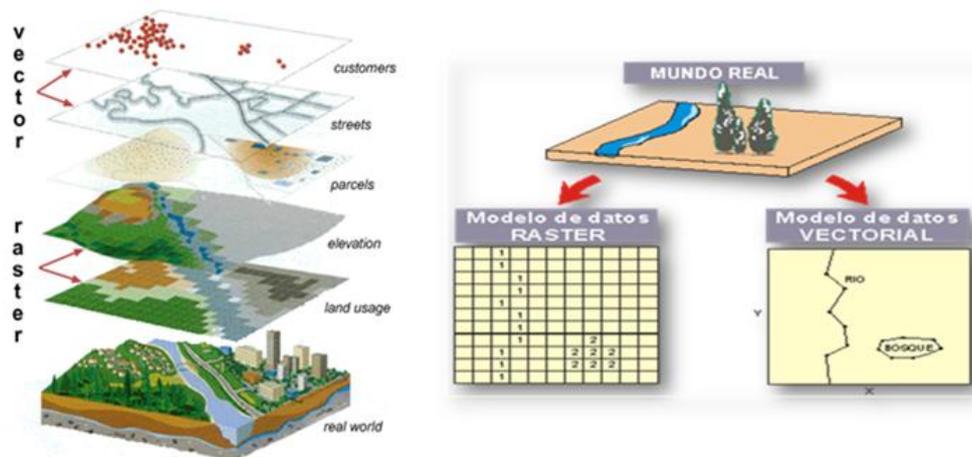


Fig. 8 Forma en que se representa la información en un SIG. [ORTIZ, 2002].

Personal capacitado: Las tecnologías SIG son de valor limitado si no se cuenta con especialistas de esa rama, son éstos los que garantizan el manejo adecuado del sistema y ejecutan los planes de implementación del mismo. Sin personal experto en el desarrollo de estas aplicaciones se corre el riesgo de procedimientos y análisis erróneos que afectaría en gran medida las actividades de toma de decisiones.

Métodos de análisis: Para todo SIG, el empleo de métodos de análisis sobre la información espacial y alfanumérica que maneja es primordial. El aprovechamiento de la combinación de los datos del entorno real y la representación espacial con el nivel de cálculo y procedural de un sistema informático posibilita la determinación de modelos y situaciones muy útiles para cualquier análisis que se requiera.

1.5 Visión general del desarrollo de SIG sobre modelos de desarrollo basados en LPS

La evolución de los SIG en la sociedad y la necesidad de los usuarios por el uso de servicios que este tipo de herramienta brinda, imponen a las empresas encaminar los modelos de desarrollo hacia técnicas de producción en serie, reutilización y personalización. Compañías productoras como ESRI¹, INTERGRAPH² y SUPERMAP³, y comunidades de desarrollo como GVSIG⁴ son líderes en este tipo de resultados con la aplicación de novedosos esquemas de producción.

ESRI

ESRI (Environmental Systems Research Institute) es una empresa fundada por Jack Dangermond en 1969 que en sus inicios se dedicaba a trabajos de consultoría del territorio. Actualmente desarrolla y comercializa software para Sistemas de Información Geográfica y es una de las compañías líderes en el sector a nivel mundial. Tiene su sede en California, EE. UU. [ESRI, 1995] y la popularidad de sus productos ha supuesto la generalización de sus formatos de almacenamiento de datos espaciales en el campo de los SIG vectoriales, entre los que destaca el *shapefile*. Su producto más conocido es ArcGIS y sobre éste ha montando un esquema de desarrollo en serie que determina su amplia cartera de productos en el mercado elaborados bajo técnicas de reutilización y personalización de componentes. ESRI domina el espacio de América en la ejecución de proyectos SIG implementados con la plataforma ARCGIS, la cual dispone numerosos paquetes para la captura, edición, análisis, tratamiento, diseño, publicación e impresión de información geográfica en todos los entornos de usabilidad, así como herramientas de trabajo dirigidas a los desarrolladores. [ARCGIS, 2011].

¹ **ESRI** (Environmental Systems Research Institute). <http://www.esri.com>

² **Intergraph**. Leading global provider of engineering and geospatial software that enables customers to visualize complex data. <http://www.intergraph.com>

³ **SUPERMAP**. SuperMap Software Co., Ltd. <http://www.supermap.com/>

⁴ **GVSIG**. Generalitat Valenciana SIG. <http://www.gvsig.org/web/>

SUPERMAP

SuperMap Software Co., Ltd. Fue fundada en 1997 por un grupo de expertos en SIG y los investigadores chinos dedicados a desarrollar y proveer sistemas de información geográficos más innovadores. [SUPERMAP, 2011]. Basado en su plataforma base, SuperMap ha desarrollado una serie de productos de SIG para escritorio, la Web y los dispositivos móviles que han reconocido a la herramienta como una de las plataformas de software SIG más completas que se hayan desarrollado. La empresa lanzó sus primeros productos en el año 2002 y ha recibido reconocimientos debido a su alto rendimiento, facilidad de uso, fácil de la integración, la completitud de su línea de productos y su gran rentabilidad.

GVSIG

GVSIG es un proyecto de desarrollo de SIG en software libre, que incluye principalmente las aplicaciones gvSIG Desktop, gvSIG Mobile y gvSIG Mini. Iniciado en el año 2004, es impulsado inicialmente por la Consellería de Infraestructuras y Transportes de la Generalidad Valenciana [GVSIG, 2011] y la Unión Europea mediante el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER). Actualmente está impulsado por un conjunto de entidades englobadas bajo la Asociación gvSIG. Sus principios de trabajo se basan en la colaboración comunitaria de desarrolladores que disponen soluciones integradas, arquitecturas, componentes y demás activos de software de su plataforma base en un repositorio único oficialmente concebido.

1.6 Plataforma Soberana GeneSIG

La plataforma GeneSIG, producto concebido y elaborado por el Departamento Geoinformática de la UCI, es una plataforma para el desarrollo de SIG implementada con herramientas y tecnologías libres. Cumple técnicamente con las especificaciones OpenGIS que establece el *Open Geospatial Consortium* (OGC) que garantizan la interoperabilidad global entre los SIG y en consecuencia con la política de migración a software libre y de soberanía tecnológica que impulsa el país. [VAREN, 2010]. La plataforma está constituida por varios módulos (Ver ANEXO IV).

GeneSIG enfoca sus funcionalidades por plugins o componentes ensamblables permitiendo que se puedan construir aplicativos personalizados con una complejidad menor. Están definidos los módulos o subsistemas que son comunes en cada desarrollo sobre GeneSIG y funcionalidades generales que se disponen y configuran en dependencia del negocio a modelar con la herramienta final.

Con la madurez de la aplicación desarrollada, los negocios pautados y el modelo de producción que caracterizaba el equipo de proyecto, se inició una etapa de desarrollo continuo de personalizaciones de SIG sobre la base de GeneSIG. El esquema de trabajo implantado en el equipo de proyecto basa su funcionamiento en cinco actividades principales llevadas a cabo por los mismos miembros del proyecto en cada iteración (Ver Figura 9).

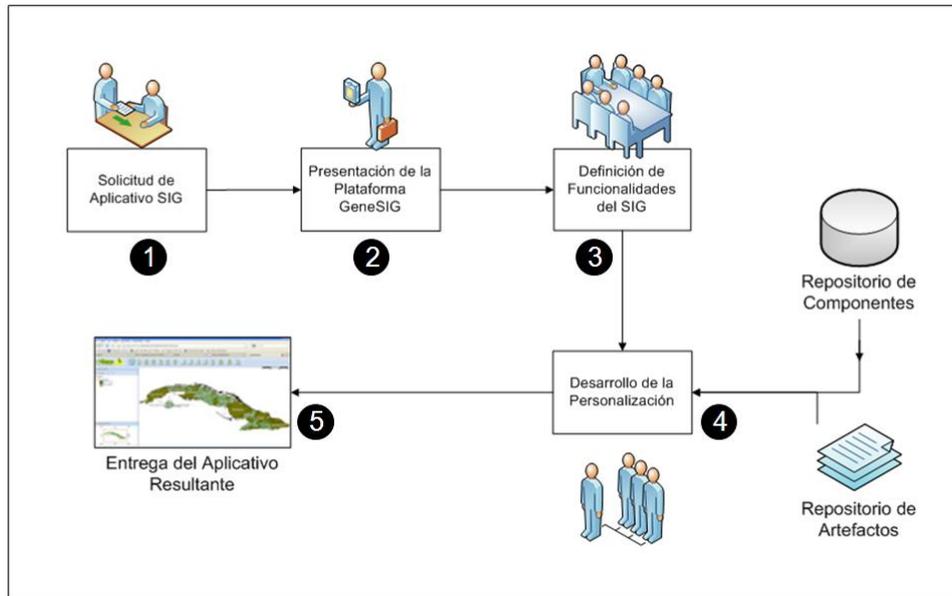


Fig. 9 Procesos de personalizaciones sobre GeneSIG. Del Autor.

1.7 Conclusiones parciales

Los modelos estudiados recogen de una manera u otra los procesos básicos de una LPS, pero sus características distintivas le ofrecen ventajas y desventajas sobre el resto en dependencia del nivel de usabilidad y objetivos del proyecto de desarrollo donde se implanten, por lo que no puede utilizarse ninguna para resolver la problemática. Las limitaciones más destacadas de los modelos estudiados inciden sobre el área de gestión de proyecto como los principios de calidad, la gestión de recursos y los riesgos. Disponer de una plataforma base de desarrollo, la gestión organizacional de los procesos y la estructura de trabajo concebida para la producción en serie son los principios claves para el mantenimiento posicional de las grandes compañías que lideran esta área. Por otra parte, CMMI se enuncia como el modelo a proponer para aplicarse en equipos de desarrollo que requieran una mejora de procesos enfocada a los objetivos del negocio y al impacto de la entidad.

Capítulo 2 Modelo para el desarrollo de SIG sobre la base de GeneSIG

En el presente capítulo se describe la concepción general del modelo propuesto basado en los principios de desarrollo de software basados en LPS. Se proponen además las fases y aseguramientos metodológicos del modelo que incluyen los artefactos, las actividades y los recursos para su puesta en marcha. Se concluye con la propuesta de buenas prácticas que darán soporte al mismo desde el punto de vista de CMMI como patrón de mejora.

2.1 Concepción General del modelo

2.1.1 Esquema conceptual centrado en LPS

El modelo propuesto toma como referencia el entorno conceptual propuesto por [PESTANO, 2010] y se complementa con técnicas y metodologías para el desarrollo de SIG. Contempla la conceptualización de cinco elementos esquemáticos basados en los principios de LPS: Dominio, Familia de productos, Arquitectura, Activos de software y Modo de producción.

Dominio

Para el establecimiento del dominio es necesario el aseguramiento metodológico del mismo que asegure la implantación exitosa de los productos SIG en los negocios identificados. Las cláusulas fundamentales están dirigidas a lograr minimizar el impacto organizacional que implica la implantación de este tipo de sistema, establecer un balance de eficiencia y efectividad en el uso de éste, así como facilitar la oportuna toma de decisiones mediante la obtención de datos de alta calidad.

A continuación se enuncian los pasos para el aseguramiento técnico - metodológico del dominio relativo a los negocios potenciales del despliegue de los resultados. (Ver Tabla 2). La propuesta está formulada bajo los principios del esquema metodológico de Nagib Callaos [CALLAOS, 1991] y Edgar Sánchez [SÁNCHEZ, 2007] referidos a la implantación sistémica de SIG e intervienen como pautas conceptuales de la etapa de análisis del dominio:

Tabla 2 Pasos para el aseguramiento metodológico del dominio (Del autor).

| Actividad | Descripción | Objetivos | Ejecutores |
|---------------------------------------|---|--|--|
| Presentación de la plataforma GeneSIG | Actividad inicial del proceso, prevé el intercambio sobre los métodos existentes relacionados con la temática | Asegurar el nivel de partida en el entorno de despliegue desde el punto de vista del | <ul style="list-style-type: none"> • Roles involucrados en la actividad de Análisis del |

| | | | |
|---|--|---|--|
| | y dar a conocer el producto base. | conocimiento a manejar y las funcionalidades disponibles en el producto base GeneSIG | Dominio. <ul style="list-style-type: none"> • Clientes |
| Identificación de funcionalidades SIG de alta prioridad | Se determinan instrumentos y tecnologías más adecuados que permitan establecer el ambiente de desarrollo deseado. Culmina con la identificación de los requisitos. | Determinar las funcionalidades y prestaciones principales que tendrá el aplicativo SIG. | <ul style="list-style-type: none"> • Clientes y usuarios |
| Evaluación y selección tecnológica | Se ejecuta de acuerdo a una matriz de evaluación y teniendo en cuenta el futuro funcionamiento del sistema desde el punto de vista de hardware y software que se empleará. | Determinar las tecnologías y herramientas que soportarán el aplicativo SIG resultante. | <ul style="list-style-type: none"> • Usuarios y desarrolladores |
| Recopilación y revisión de la cartografía base | Se entregan por parte de los clientes los datos geográficos a utilizar para su posterior revisión. Culmina con un acta de certificación estatal. | Validar y certificar la calidad de los datos geográficos que se gestionarán en el aplicativo SIG. | <ul style="list-style-type: none"> • Equipo de Bases de Datos Espaciales • GEOCUBA |
| Elaboración de la cartografía socioeconómica | Se georreferencian los datos socioeconómicos solicitados sobre la cartografía base certificada. | Creación de las capas de información geográfica socioeconómica de la entidad cliente. | <ul style="list-style-type: none"> • Equipo de Bases de Datos Espaciales • GEOCUBA |

Como parte de la definición del dominio se describe además la necesidad y el objetivo del montaje de la línea de productos, la factibilidad técnico-comercial y la sostenibilidad en el tiempo. Para ello, [PESTANO, 2010] define dos actividades, que serán incluidas igualmente en el modelo propuesto:

1. Definición de las necesidades que tendrán los aplicativos SIG desarrollados a partir de la caracterización del mercado potencial.
2. Entendimiento de los dominios relevantes proporcionando los requisitos y los aspectos comunes y variables a todos los aplicativos SIG que forman parte del dominio.

Familia de productos

El modelo propone la organización conceptual de dos familias de productos teniendo en cuenta las fuentes de resultados identificadas en la línea:

1. SIG para rutas del transporte

Los productos de esta familia están caracterizados por presentar una infraestructura de datos espaciales relacionados con las rutas de transporte e incluyen las siguientes cláusulas técnicas:

- Bases de datos espaciales con capas de información geográfica de redes de transporte.
- Módulos para el análisis espacial de rutas, estaciones y objetivos socioeconómicos relacionados.
- Módulos para el análisis topológico que involucra las relaciones espaciales entre elementos gráficos y su posición en el mapa (proximidad, inclusión, conectividad y vecindad).
- Módulos de geoestadística y geocodificación.

2. SIG para la georeferenciación de objetivos socioeconómicos

Los productos de esta familia disponen funcionalidades para la representación espacial y atributiva de objetivos socioeconómicos e incluyen lo siguiente:

- Relación con bases de datos alfanuméricas con datos socioeconómicos de los objetivos geográficos representados.
- Módulos de estructura y composición para la gestión de niveles jerárquicos organizacionales.
- Subsistemas de administración y gestión de la información atributiva.
- Módulo de tematización multifuncional.
- Módulo de análisis y representación estadística.

Arquitectura

Definición de la arquitectura base de la Línea

La Arquitectura de Línea de Productos (ALP), también denominada arquitectura de dominio, es la clave para la reutilización sistemática, ya que describe la estructura de los productos del dominio mostrando sus componentes y las relaciones entre los mismos. Para la concepción de la LPS propuesta se definen cuatro paquetes arquitectónicamente significativos que funcionarán como base de cada uno de los productos generados. (Ver Figura 10).

- **Datos Espaciales:** Concibe la información cartográfica que se gestionará en los aplicativos resultantes. Parte de una cartografía base y se complementa con los datos socioeconómicos georreferenciados entregados por los clientes.
- **Servidor de Mapas:** Definido por la tecnología servidora de los mapas resultantes de cada gestión sistémica. Se redefinen sus funciones en dependencia de la configuración del consumo de los mapas a través de servicios WebMapService (WMS) y WebFeatureService (WFS).
- **Negocio:** Incluye la mayoría de los activos de código disponibles en la línea desde la base de los módulos arquitectónicos de la plataforma GeneSIG. Constituye el paquete de mayor índice de reutilización.
- **Interfaz:** Está soportado por tecnologías de la Web para la gestión de mapas e interfaces preelaboradas con la librería gráfica basadas en JavaScript. Los activos reutilizables son generados desde el primer hito de variabilidad definido a partir del primer aplicativo resultante.
- **Servicios:** Representa el paquete de comunicación entre los aplicativos resultantes y otras aplicaciones y viceversa. Incluye control de acceso y administración de mapas por servicio de consumo así como la publicación de resultados a través de estándares SIG internacionales.
- **Render:** Es un paquete opcional encargado de optimizar el proceso renderización de los mapas mediante tecnologías de caché. Es recomendado para la implementación de aplicativos que se desplegarán en infraestructuras de pocas prestaciones en la Web.

Para el manejo de la variabilidad de la Línea se propone el uso de técnicas de Programación Orientada a Características (del inglés *Feature Oriented Programming, FOP*) pues se trata de una metodología que garantiza que el crear varias características y conectarlas a través de métodos o procedimientos enriqueciendo la funcionalidad principal, es la mejor manera de quitar la redundancia y mejorar la eficiencia. [KANG Y OTROS, 1990]. FOP enfoca principalmente las características de un sistema, en lugar de los objetos que lo componen.

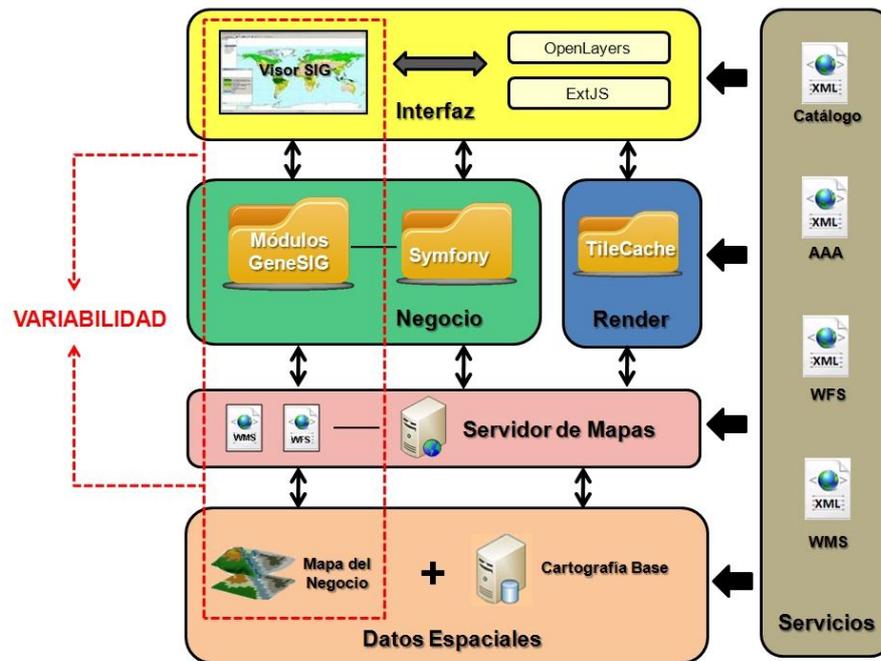


Fig. 10 Esquema de la arquitectura base de la LPS. [Del Autor].

Instanciación de la arquitectura: Método Kobra

La fase de Ingeniería de Aplicaciones de toda LPS determina el desarrollo de los productos tras la instanciación técnica de la arquitectura genérica y sus activos. Para el modelo propuesto se utilizó el método Kobra⁵, el cual sigue un enfoque orientado a componentes que resulta compatible y fácil de integrar con cualquier esquema metodológico basado en LPS. El proceso que define Kobra toma como punto de partida el marco de desarrollo construido durante el proceso de Ingeniería del Dominio (Plataforma GeneSIG) y deriva a partir de él distintas aplicaciones específicas. Este proceso de instanciación parte de la especificación de los requisitos del aplicativo concreto que se desea desarrollar y, a partir de ellos, resuelve de manera recursiva y descendente los correspondientes modelos de decisión. Como resultado, los modelos genéricos y variantes de la plataforma se transforman en bases tecnológicas concretas y sin variabilidad.

Kobra sugiere la elaboración de tres modelos con sus correspondientes diagramas: [VICENTE, 2005]

⁵ **Kobra** es un método desarrollado por los proyectos Softlab GmbH, Psipenta GmbH, MDFIRST y el Instituto Fraunhofer IESE que tiene como enfoque la priorización de la gestión de los componentes de software en un proyecto de desarrollo, aglutina varias tecnologías avanzadas de Ingeniería del software entre las que se incluyen el desarrollo de LPS, DSBC, el diseño de *frameworks* y de arquitecturas de software.

- *Diagrama de entidades*, que muestra el conjunto de actores internos (subsistemas) y externos identificados durante la fase previa de análisis. (Ver Anexo VI).
- *Diagrama de procesos*, que recoge las distintas actividades identificadas en las secuencias de éxito de los Casos de Uso (CU). (Ver Anexo II *Procesos de la Entidad de Aplicaciones*).
- *Diagrama de árbol de componentes*, que recoge el aspecto estructural de la arquitectura genérica de la línea. Este diagrama se completa con los obtenidos durante los procesos de especificación y definición de los distintos componentes. (Ver próximo epígrafe).

Modelación de la variabilidad de la LPS mediante el árbol de componentes

A partir de la etapa del Análisis del Dominio (AD), la cual se enfoca en analizar los aspectos comunes del dominio particular, se propone para la etapa de la Ingeniería de Aplicaciones el empleo del método FODA (*Feature-Oriented Domain Analysis*)⁶ para extraer las similitudes y variabilidades del dominio determinado, así como la identificación de características relevantes que tendrán los nuevos aplicativos SIG resultantes. Para ello se prioriza una de sus fases principales, el Modelado de Características, definida por medio de un árbol donde quedan especificados los elementos comunes y variables del dominio. Las características pueden definirse conceptualmente como:

■ **Obligatorias o comunes:** Son las que se acoplarán íntegramente a los nuevos productos tal y como se concibieron en la arquitectura base. Están representadas en el árbol de características por una casilla de verificación mixta. (Ver Figura 11.)

☑ **Opcionales:** Reúne la mayor parte de las funcionalidades reutilizables de la arquitectura base, se podrán ir añadiendo o no para aumentar las funciones del aplicativo resultante. Están representadas en el árbol de características por una casilla de verificación simple. (Ver Figura 11.)

⊙ **Agrupadas en alternativas:** Representan las características determinadas por opción única. Definen una funcionalidad específica a partir de una colección de características con comportamiento diferente. Están representadas en el árbol de características por un botón de opción (Ver Figura 11.)

⁶ **Feature oriented domain analysis (FODA)** es un método de análisis del dominio que introduce la modelación de características al Modelo del Dominio. Fue desarrollado en el año 1990 por el gobierno de los EE.UU luego de varios proyectos de investigación asociados. Sus conceptos son muy reconocidos en la aplicación de proyectos de Ingeniería de Software y reutilización. [KANG Y OTROS, 1990].



Fig. 11 Modelo de características de la LPS y dos ejemplos de configuración. [Del Autor].

Activos de software

El modelo propone, como mecanismo para la gestión de los activos de software de la línea, la utilización de las cláusulas conceptuales propuestas por [PÉREZ, 2011] en su investigación “*Metodología para el diseño e implantación de repositorios de activos de software reutilizables*”. Esta propuesta dispone de tres complementos técnicos para la determinación y puesta en funcionamiento de un repositorio de componentes reutilizables:

- Modelo de especificación para los activos.
- Criterios de calidad para la evaluación de los activos.
- Almacén físico de los activos reutilizables.

Igualmente, los principios que sigue para el trabajo con éste son: [PÉREZ, 2011]

- **Centrado en la calidad:** Cada involucrado en la reutilización de activos es responsable de la calidad de los datos que se almacenan en el repositorio.

- **Proactivo:** Se definen elementos que se anticipan ante acciones que podrían influir negativamente en alguno de los principios y afectar la correcta ejecución de los procesos de gestión de activos.
- **Sistémico:** Todos los procesos están integrados entre sí.
- **Evolutivo:** Evoluciona en el tiempo y tiene un sistema de auto aprendizaje.
- **Participativo:** Exige el involucramiento de todos los miembros que participan en un entorno de reutilización de software y hacen uso de un repositorio de activos.
- **Involucramiento de la gerencia:** Está comprometida con la metodología y la apoya.

Adecuación de la conceptualización del repositorio de activos

El repositorio de activos se conforma en la etapa de Diseño del Dominio con el objetivo de maximizar el uso recurrente de componentes existentes en las distintas etapas del desarrollo basado en los principios de reutilización. Funciona como almacén de elementos reutilizables y debe mantenerse y gestionarse constantemente. Se propone la organización de dos grupos: los activos de código que incluye clases, procedimientos, funciones, módulos, subsistemas y pequeñas aplicaciones y los activos del proceso que recoge a los patrones de diseño, algoritmos, esquemas de base de datos, manuales y demás documentación propia de las actividades de desarrollo que podrán utilizarse como bases o plantillas.

El modelo basa su esquema de repositorio tomando como guía el propuesto en [TRUJILLO, 2007] y la organización de artefactos formulada por la dirección de la línea de trabajo. (Ver Anexos I y III). Se muestra a continuación una vista general de la estructuración jerárquica del repositorio. (Ver Figura 12).



Fig. 12 Estructura general del repositorio de activos. [Del Autor].

Modo de producción

El modo de producción de la línea está determinado por un nivel organizacional basado en cuatro entidades (Dominio, Aplicaciones, Gestión Tecnológica y Gestión

Organizacional). La relación de su funcionamiento enmarca los aspectos básicos de un proceso de desarrollo de software como son: la *gestión del proyecto* de acuerdo a la metodología seleccionada, la reutilización de los *componentes de código e infraestructura*, definición de las *tecnologías y herramientas* que automaticen los procesos de construcción, soporte y gestión, la aplicación de *estándares de calidad* para la mejora de los procesos, el *proceso de desarrollo* y la organización de los *recursos humanos* involucrados. La tabla 3 resume las áreas de conocimiento de gestión de proyecto que se abarcan por cada una de las entidades (Ver Tabla 3).

Tabla 3 Relación de las entidades con las áreas de conocimiento de GPI. [Del autor].

| Entidades | Áreas de conocimiento de Gestión de Proyectos | | | | | | | | |
|------------------------|---|-----|---------|--------|---------|---------|------|--------|-----|
| | GPI | DIP | Alcance | Costos | Calidad | Riesgos | RRHH | Conoc. | MDS |
| Dominio | X | X | X | X | X | X | | X | |
| Aplicaciones | | | X | | X | X | | | X |
| Gestión Tecnológica | X | X | | | | | | | X |
| Gestión Organizacional | X | X | | X | X | X | X | X | |

Entidad de Dominio

Incluye procedimientos de la Ingeniería de Dominio (ID) gestiona la información y el conocimiento sobre el dominio relativo a los negocios potenciales del despliegue de los productos SIG desarrollados. Es la entidad donde se construyen los activos que soportan la línea que pueden ser algoritmos, componentes SIG, especificaciones tecnológicas y de requisitos, planes, documentación y demás elementos con características reutilizables en el proceso. Las actividades, roles y salidas principales por cada una de las etapas se detallan a continuación: (Ver Tabla 5)

Tabla 5 Etapas de funcionamiento de la entidad de Dominio. [Del autor].

| Etapas | Roles involucrados | Salidas |
|-----------------------------|--|--|
| Análisis del dominio | <ul style="list-style-type: none"> • Jefe de la Línea • Analista principal • Arquitecto de Software • Jefes de entidad | <ul style="list-style-type: none"> • Especificación de Requisitos de Software • Modelo del Dominio • Diccionario de Datos • Reporte de Trazabilidad • Salidas del Sistema • Evaluación de Requisitos |
| Diseño del dominio | <ul style="list-style-type: none"> • Analista principal • Arquitectos de Software | <ul style="list-style-type: none"> • Repositorio de Activos • Arquitectura Base de la Línea |

| | | |
|-----------------------------------|--|--|
| | <ul style="list-style-type: none"> • Jefe de desarrollo • Cartógrafos • Gestor de Configuración | <ul style="list-style-type: none"> • Modelo de Diseño • Estándares de Codificación • Cartografía base |
| Implementación del dominio | <ul style="list-style-type: none"> • Analista principal • Jefe de desarrollo • Desarrolladores de la entidad • Analistas de la entidad | <ul style="list-style-type: none"> • Activos de Software |

Entidad de Aplicaciones

Incluye procedimientos de la Ingeniería de Aplicaciones (IA) y se encarga del desarrollo de los aplicativos SIG a través de la reutilización de los activos de software generados por la entidad de Dominio y alojadas en el repositorio. Su funcionamiento está modelado en dependencia del plan de producción establecido. Se emplea la arquitectura de dominio como modelo de referencia para diseñar e implementar los productos de la LPS.

Objetivos claves de la entidad

- Adaptar las necesidades de los clientes a las posibilidades de la LPS, procedimiento asegurado en la fase de aseguramiento metodológico del dominio.
- Ser capaz de integrar productos útiles (casi) exclusivamente con las componentes SIG disponibles.
- Ajustarse a la estructura de la arquitectura base definida para todos los aplicativos SIG que se desarrollen.
- Realizar pruebas de integración y de sistema, suponiendo que cada componente satisface su especificación.

Descripción de procesos de la Ingeniería de Aplicaciones

La Ingeniería de Aplicaciones utiliza la infraestructura tecnológica creada por el equipo de dominio para construir productos concretos para clientes que lo demanden [DÍAZ, 2010]. Basado en este supuesto, se definen los procedimientos principales que garantizarán cada uno de los estados de trabajo de la entidad como son el análisis y la especificación de los requerimientos, la instanciación de la arquitectura para la aplicación, el desarrollo o adaptación de componentes y las pruebas.

Partiendo de los requisitos específicos, que deben estar alineados de alguna forma con los requisitos de la línea del producto base y determinados por el empleo del método FODA, se detallan los posibles elementos nuevos que puedan generarse en la etapa previa para proceder a su desarrollo. Se define posteriormente la viabilidad de construcción de los nuevos elementos, así como la cantidad de activos de software

que se pueden reutilizar luego de un análisis detallado de los requisitos. A continuación se procede al diseño específico y a la configuración del sistema utilizando los elementos comunes y variables para producir el producto final que se entrega al cliente. Tras este paso, es importante el aseguramiento de las tareas de configuración y composición de activos para resolver puntos de variación y facilitar la interconexión entre ellos.

Complementando los procesos anteriormente descritos, se seguirá en la línea una estrategia metodológica siguiendo un enfoque proactivo de acuerdo al modelo de desarrollo de software convencional; esto jugará un papel fundamental en el éxito de la línea de producto, ya que es no sólo la encargada de asignar recursos, sino de coordinarlos y supervisarlos (Ver Anexo II).

Entidad de Gestión Tecnológica

En esta entidad se aseguran todos los procesos de gestión tecnológica de la línea, determinados por la adaptación del modelo desde su perspectiva de configuración técnica. Tiene como objetivos la gestión del repositorio de activos, la ejecución y supervisión de los procedimientos de control y gestión de cambios, la organización y flujo de éstos, las responsabilidades de los implicados en la configuración, las herramientas usadas para ello y los estándares para el nombrado de documentos. Tiene un alcance no solo a las actividades, sino a personas, documentos y herramientas dentro de la línea.

Organización de la gestión de configuración de software

La línea de productos cuenta con un equipo para la Gestión de la Configuración, que es responsable de mantener el soporte tecnológico y metodológico de la configuración dentro de todo el ciclo de desarrollo.

Objetivos:

- Establecer las líneas base de los nuevos aplicativos SIG identificados.
- Registrar y controlar los cambios en los aplicativos bajo gestión de configuración.
- Establecer y mantener la integridad de la arquitectura base establecida.
- Establecer y administrar el repositorio de activos.

En relación con estos procedimientos, es deber de cada desarrollador:

- Saber exactamente lo que se ha entregado al cliente.
- Saber el estado y contenido de las líneas base y elementos de configuración.
- Asegurar la correcta configuración del software.
- Contribuir a controlar los cambios.

- Reducir los sobreesfuerzos causados por los problemas de integridad.
- Garantizar que todo el equipo trabaje sobre la misma línea base establecida.

Identificación de la configuración

Ya que el uso del repositorio *Subversion* para el control de versiones facilita tanto el trabajo del control de cambios como establecer un contenido histórico tanto para cualquier tipo de archivos como para directorios completos, se definen las siguientes normativas de configuración y soporte:

- Los nombres de los documentos serán escritos en formato de título [GSIG Nombre del Documento]. Ejemplo: GSIG Manual de Usuario.
- Las relaciones entre archivos se identificarán dentro del contenido de éstos escribiendo una sección Referencias al inicio de cada uno.
- La numeración de versionado de cada archivo está disponible en la sección Control de Versiones de cada documento, y los ficheros de código y demás archivos recogerán el versionado del propio Subversion.
- Los entregables se denominarán de la siguiente manera: [GSIG-TIPO-# de Revisión-Fecha de creación]. Donde TIPO será “DOC” para los Entregables de Documentación, “APP” para los Entregables de Aplicación o “SIS” para los Entregables Compuestos. El formato para la fecha será [AAAA/MM/DD].

Bibliotecas y tecnologías

Las principales bibliotecas y tecnologías utilizadas en el desarrollo son paquetes de representación de mapas y sus dependencias, así como otras encargadas de la lógica de negocio con información espacial e interfaz. (Ver Tabla 6). Se especifica la categoría de inclusión o distribución de cada una a partir de la solución resultante para su comercialización y despliegue.

Tabla 6 Bibliotecas y tecnologías utilizadas en la línea.

| No | Nombre y versión | Descripción | Incluida | Distribuida |
|----|-------------------------|--|----------|-------------|
| 1 | Cartoweb v3.5.0 | Framework de desarrollo del núcleo de GeneSIG. | X | |
| 2 | ExtJS v3.0 | Biblioteca para el montaje de la interfaz del sistema. | X | |
| 3 | Postgres v8.4 (PostGIS) | Sistema gestor de base de datos y su respectivo componente espacial. | | X |
| 4 | PgRouting 1.0.2 | Módulo para el análisis de rutas. | | X |
| 5 | Mapserver 5.2.0 | Motor de representación de mapas. | | X |
| 6 | Apache v2.2 | Servidor Web. | | X |
| 7 | GDAL | Biblioteca para temas de análisis de datos sobre el terreno. | | X |

Ambiente de desarrollo

El ambiente de desarrollo establecido para la línea cumple las políticas tecnológicas definidas en la entidad, que se refieren a la soberanía y el software libre en todo su contexto, así como las herramientas, cuya utilización tiene trascendencia legal al ser requeridas y/o distribuidas, en todos los casos se trata de herramientas bajo licencias libres que permiten la distribución de las mismas por terceros sin necesidad de obtener la autorización de sus respectivos titulares.

Entidad de Gestión Organizacional

Está relacionada con la organización de la línea y las actividades que ella debe implantar para asegurar el aprovechamiento eficaz y eficiente del paradigma LPS. Entre los principales aspectos organizacionales están la construcción de los casos de negocio, la planificación, la gestión de los riesgos y la organización y capacitación del personal.

Definición del equipo de trabajo

A lo largo del ciclo de desarrollo de la línea, la dirección de la misma tiene el encargo de identificar competencias, habilidades, roles y responsabilidades del equipo de trabajo. La buena ejecución de los procesos de adquisición, capacitación, planificación y gestión de los recursos humanos garantiza puntos clave como la conformidad y satisfacción de los trabajadores en su puesto laboral e identifica y evalúa la motivación en los miembros del equipo. La Línea de Aplicativos SIG se organizó en cinco equipos de trabajo de acuerdo a funciones de desarrollo específicas dentro del entorno, con un número variable de miembros en dependencia de la complejidad de cada fase o personalización. (Ver Figura 13).

- *Equipo de Integración y Componentes:* Encargado del desarrollo de nuevos activos de software y la integración de éstos a los nuevos productos.
- *Equipo de Interfaz:* Encargado del desarrollo de las interfaces de usuario de los nuevos productos siguiendo la arquitectura de información definida.
- *Equipo de Bases de Datos Espaciales:* Encargado de la creación, gestión, administración y mantenimiento de la información espacial en la base de datos de la línea.
- *Equipo de Ingeniería:* Encargado de la modelación de los artefactos ingenieriles y la documentación técnica de toda la línea.
- *Equipo de Gestión de Proyecto:* Encargada de todos los procesos de gestión de proyectos asociados al desarrollo, como la planificación, los riesgos, los recursos humanos y materiales.

- *Equipo de Calidad*: Aunque es un ente externo de la línea, pues su trabajo actúa de manera horizontal en todo el Departamento Geoinformática, se encarga del aseguramiento de la calidad de todo el proceso de desarrollo.

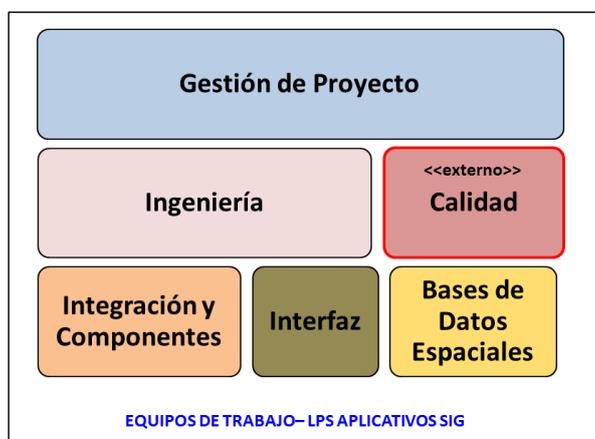


Fig. 13 Equipos de trabajo de la línea. [Del autor].

Plan de capacitación

Como parte de la formación del equipo de trabajo se definió un plan de capacitación concebido para un período de cinco meses de entrenamiento escalonado (Ver Tabla 7). Las temáticas agrupan los elementos fundamentales para el desarrollo en la línea y certifican un conjunto de habilidades técnicas que intervienen en cada una de las entidades creadas.

Tabla 7 Plan de capacitación de la línea. [Del autor].

| Mes | Nombre del curso | Modalidad |
|-----|---|-----------------|
| 1 | Curso de Introducción a la Geoinformática. | Presencial |
| | Curso de Introducción a la Plataforma GeneSIG. | Presencial |
| 2 | Curso de Manejo y análisis de información geográfica. | Presencial |
| | Curso de Sistema Operativo GNU/Linux. | Entrenamiento |
| | Curso de Herramienta CASE Visual Paradigm. | Entrenamiento |
| | Curso de Cartografía temática. | Presencial |
| | Curso de Introducción a PostgreSQL-PostGIS. | Entrenamiento |
| 3 | Curso de Arquitectura de la información. | Semi-presencial |
| | Curso de Geometría Computacional. | Presencial |
| | Curso de Servidor de Mapas UNM Mapserver. | Entrenamiento |

| | | |
|---|--|---------------|
| | Curso de PHP. | Entrenamiento |
| | Curso de Introducción a Symfony. | Entrenamiento |
| 4 | Curso de Infraestructura de Datos Espaciales. | A distancia |
| 5 | Curso de Desarrollo de aplicaciones Web con AJAX. | Entrenamiento |
| | Curso de desarrollo de SIG con tecnologías ágiles. | Entrenamiento |
| | Curso de Sistemas de Información Geográfica Avanzados. | Presencial |

Gestión del conocimiento y trabajo colaborativo

Con el propósito de gestionar eficientemente el conocimiento del equipo de trabajo, se propone el empleo de técnicas centradas en el trabajo en equipo desde estructuras comunicativas de colaboración. A partir de la heterogeneidad de los equipos, la puesta en marcha del Plan de Capacitación y su continuidad, la disposición de la herramienta GESPRO como soporte principal del conocimiento colectivo generado y el uso de la técnica de la Tutoría entre Iguales (*Peer Tutoring*), [PUJOLAS, 2003], que establece el rol del tutor como elemento principal de la unidad de aprendizaje colectivo, se establecen los principios funcionales de estas estructuras. Como contraparte, se fundaron espacios para la proyección científica sobre el área del conocimiento abarcada como sesiones de comisiones científicas semanales, seminarios de investigación del departamento Geoinformática y talleres de superación.

Planificación e integración

Es responsabilidad del equipo de Gestión de Proyecto dirigir los procesos de planificación e integración de la línea, ambos con deber de ejecutarse en diferentes momentos del ciclo. La planificación debe iniciarse desde la creación de la línea donde debe definirse la estructura de la misma y las estrategias a seguir en lo referente a la administración de los recursos humanos. Otro momento es cuando se crea y organiza el trabajo de una nueva personalización SIG, para el cual además de seguir las políticas generales ya establecidas, se deben especificar algunos aspectos estructurales como los roles y responsabilidades a cubrirse en cada equipo. La planificación debe llevarse a cabo también, cuando a través del proceso de gestión se detectan necesidades de cambio por reajuste de cronogramas, ocurrencia de eventualidades o un mal funcionamiento de los procesos establecidos en algún equipo.

Por otra parte, la gestión de la integración del proyecto incluye los procesos y actividades necesarios para identificar, definir, combinar, unificar y coordinar los distintos procesos y actividades de dirección de proyectos dentro de la dirección y ejecución de la línea (CRUZ, 2011). La integración, en el contexto de la dirección de

un proyecto, consiste en tomar decisiones sobre dónde concentrar recursos y esfuerzos durante el ciclo. En ella se desarrollan actividades como dirigir y gestionar la ejecución de la línea, elaborar el plan de gestión de la misma, realizar el control interno de los medios y supervisar y controlar el trabajo de los equipos. Igualmente, se encarga de la supervisión de temas horizontales de formación e investigación de los recursos humanos de la línea siguiendo el modelo académico definido en la entidad.

2.1.2 Esquema conceptual centrado en PLTP -CMMI

Teniendo en cuenta que PLTP es un modelo de adaptación de CMMI para LPS y que su fundamento consiste en las mejores prácticas que tratan las actividades que cubren el ciclo de vida del producto, desde la concepción a la entrega y el mantenimiento, se propone aplicar en la Línea de Aplicativos SIG y, como complemento metodológico del presente modelo, un conjunto de buenas prácticas en cinco de las áreas de procesos que determinan el nivel dos de CMMI y las fases de PLTP. El esquema tuvo como referencia el proceso de implementación del nivel 2 del modelo CMMI en la empresa regional de desarrollo de software S&T de Colombia [PICAZZO, VILLEGAS, TAMURA, 2008].

✚ Área de procesos 1 - Administración de requerimientos

En esta área de procesos se destaca una meta específica que es la de la gestión de los requerimientos, la cual incluye todo su ciclo de vida respectivo: el levantamiento, el análisis, la especificación, la verificación, la validación y mantenimiento. Se proponen las siguientes cláusulas por metas específicas:

Meta específica - Administrar requerimientos

- Establecer una ficha técnica detallada para el levantamiento de los requerimientos funcionales y no funcionales que incluya una especificación clara para su correcto entendimiento.
- Recoger en documento formal el proceso de verificación de requerimientos para dejar como registro impreso y firmado la evidencia de los compromisos de los implicados.
- Establecer el procedimiento y documentación oficial para la solicitud de cambio de requerimientos, donde se registre el análisis del impacto de los cambios y se administren los mismos en función de la planificación del proyecto.
- Establecer el procedimiento y documentación para la notificación, registro y tratamiento de no conformidades, inconsistencias y desviaciones del producto respecto al plan.

Área de procesos 2 - Planeación de proyectos

En ésta área se tuvieron en cuenta tres aspectos importantes para la definición del plan de proyecto: la estimación de tiempo y demás recursos, los mecanismos de seguimiento y control de la ejecución del plan y el aseguramiento y control para su difusión adecuada. Se proponen las siguientes cláusulas:

Meta específica – Establecer estimaciones

- Poner en práctica una metodología oficial de gestión de proyectos (se recomienda la metodología PMI Prácticas para la Administración de Proyectos).
- Priorizar el documento Proyecto Técnico como matriz de formulación de cada proyecto, que permita estimar independientemente el alcance de cada aplicativo SIG con base en criterios generales tales como el objetivo, resultados esperados, actividades específicas y riesgos.
- Establecer un mecanismo de estimación y costo basado en mecanismos como juicio de expertos y bases de datos históricas.

Meta específica – Desarrollar un plan del proyecto

- Supervisar de manera sistemática, mediante la herramienta GESPRO, el cumplimiento de los cronogramas de los desarrollos de los aplicativos SIG, priorizando la dependencia de actividades y determinación de la línea base.
- Incluir en los cronogramas por proyectos los espacios concebidos para la mitigación de posibles riesgos en función del tiempo y recursos.
- Elaborar y disponer un Manual de Competencias donde se puedan consultar los perfiles necesarios de los recursos humanos que se puedan requerir por los equipos de trabajo.

Meta específica – Obtener compromisos con el plan

- Establecer como política organizacional que los jefes de equipo evalúen los planes y riesgos que afecten la ejecución y el plan general del proyecto.
- Concebir la supervisión del plan de proyecto en Acta de Reunión para evidenciar asistencia y compromiso de los participantes.
- Evaluar, en reuniones de seguimiento, la consistencia entre el recurso estimado y el disponible, con el fin de reajustar éstos, si es necesario, para mantener la estabilidad del plan.

Área de procesos 3 - Aseguramiento de calidad del producto y del proceso

En esta área se tuvo en cuenta la dualidad del software en su naturaleza, como producto y como conocimiento, que se materializa como resultado del proceso de su desarrollo. Para asegurar su calidad, es necesario adelantar tareas de revisión, evaluación, verificación y validación, tanto en las distintas fases del proceso de su desarrollo como en el producto final, y realizar las acciones correctivas respectivas. Se proponen, para ello, las siguientes metas:

Meta específica – Evaluar objetivamente procesos y productos

- Definir un manual de referencia para auditorías internas de calidad donde se definan objetivamente los criterios a evaluarse en cada proceso.
- Establecer un documento oficial para las auditorías internas donde se registren las actividades auditadas, hallazgos y observaciones, así como la calificación de la misma.
- Establecer el procedimiento de tratamiento inconformidades y acciones correctivas donde se establezca la manera de identificar, determinar los controles, responsabilidades y autoridades relacionadas con cada hallazgo.
- Establecer un mecanismo estándar de pruebas del sistema basados en los Diseños de Casos de Prueba adaptados para SIG.
- Definir un espacio en el repositorio de activos para almacenar la documentación generada en los procesos de auditorías que faciliten el manejo de estadísticas y la evolución de las mismas.

Área de procesos 4 - Administración de la configuración

En esta área se consideran los aspectos relativos a la administración de la configuración de la línea, teniendo en cuenta el control de cambios, la rastreabilidad e integridad global de los ítems de configuración. Se proponen las siguientes cláusulas:

Meta específica – Establecer línea base

- Definir un procedimiento oficial para la administración de la configuración donde se establezca la lista estándar de los ítems de configuración y atributos base para la conformación de las líneas base de cada aplicativo SIG.
- Establecer una política organizacional para el uso sistemático de las herramientas CVS y gestores documentales para controlar el código fuente y demás información del proyecto.

Meta específica – Monitoreo y control de cambios

- Supervisar y documentar el procedimiento de solicitud de cambio a los ítems de configuración.
- Establecer el control de los ítems de configuración exclusivamente a través de las herramientas CVS.

Meta específica - Establecer integridad

- Evidenciar la trazabilidad de los ítems de configuración por medio de las herramientas definidas para la administración de la configuración.
- Establecer como política organizacional la inclusión de auditorías de integridad de las líneas base por parte del área de Auditoría Interna.

+ Área de procesos 5 - Monitoreo y control de proyectos

En esta área se proponen cláusulas para el aseguramiento de la adecuada ejecución del proyecto desde el punto de vista de la planeación.

Meta específica – Monitorear cumplimiento del plan de proyecto

- Establecer el monitoreo del cumplimiento del plan como punto inicial de las reuniones sistemáticas de chequeo de proyecto.
- Definir como política organizacional el monitoreo de los riesgos del proyecto como factores influyentes en el plan.

Meta específica – Administrar medidas correctivas a ser tomadas

- Establecer planes de corrección a partir de las acciones correctivas generadas.
- Definir como política organizacional la diligencia de formatos por cada instancia, registrando causas y soluciones y almacenarse en la carpeta de del proyecto referida al Plan.

2.2 Conclusiones del capítulo

En este capítulo se describió el escenario para la aplicación del modelo propuesto basado en los principios de desarrollo de software basados en LPS y CMMI. En el análisis de las fortalezas y oportunidades de mejora del mismo se arriban a las siguientes conclusiones:

- El modelo combina los principios de LPS y la mejora continua de sus procesos mediante una adaptación de CMMI.

- Se definen cuatro entidades conceptuales (Dominio, Aplicaciones, Gestión Tecnológica, Gestión Organizacional) que organizan la línea y abarcan las principales áreas del conocimiento de la gestión de proyectos.
- El modelo propone el uso de métodos de arquitectura novedosos que basan sus técnicas en la reutilización de componentes, programación orientada a características y modelos de decisión.
- Se propone un plan de capacitación que cubre la formación básica línea sobre elementos fundamentales para el desarrollo y certifica un conjunto de habilidades técnicas que intervienen en cada rol.
- El modelo puede ser perfeccionado detallando, en una guía metodológica, los grupos de procesos definidos para cada entidad según el área de dominio específica de la línea.
- Se requiere como precondition de la puesta en marcha del modelo, la creación de una cultura organizacional en la línea que asegure una dependencia laboral y funcional hacia el modelo.
- Es necesario constituir ciclos de evaluación del modelo en períodos de mediano plazo con el objetivo de mitigar fallas ocasionales y analizar posibles mejoras en los procesos afectados.

Capítulo 3 Análisis de los resultados

En este capítulo se realiza un análisis y evaluación de los resultados obtenidos luego de la aplicación del modelo propuesto en el Proyecto Aplicativos SIG del Centro de Desarrollo GEYSED. Se tiene en cuenta la fundamentación del comportamiento de la variable productividad, estimándose la misma teniendo en cuenta como indicadores la cantidad de productos desarrollados y la eficiencia del desarrollo.

3.1 Descripción del entorno base de la aplicación del modelo

La línea de trabajo Aplicativos SIG devino en proyecto de desarrollo de software en el año 2010, como necesidad de implementar un esquema de trabajo en apoyo a la construcción de Sistemas de Información Geográfica sobre la base tecnológica de la Plataforma Soberana GeneSIG. Un total de 34 estudiantes y 11 profesores se organizaron bajo el modelo de producción tradicional de la UCI con una disposición tecnológica de 30 puestos de trabajo y una dependencia de configuración de un servidor central para repositorio de aplicaciones y documentos. Aplicativos SIG formó parte del Departamento Productivo Geoinformática, cuya misión organizacional estaba enfocada al desarrollo de productos, servicios y soluciones informáticas en el campo de las Geociencias. Desde el punto de vista de la formación y la actividad de pregrado, la línea asumió la formación profesional de los estudiantes desde la actividad productiva a partir del 6to semestre de la carrera involucrándose en todos los procesos de desarrollo de software como un especialista más en alrededor de 24 horas semanales.

3.2 Diagnóstico inicial basado en el esquema funcional del modelo

El diagnóstico inicial se realizó en la base en el período comprendido entre los meses de marzo y julio de 2010. Los resultados de la etapa se sustentaron mediante un análisis descriptivo de cada una de las áreas claves basado en un esquema funcional de desarrollo de software en Líneas de Productos de Software. Se tuvieron las siguientes conclusiones:

Procesos relacionados con la Ingeniería de Dominio

- Desde el punto de vista del Análisis de Aspectos, el entorno tenía claramente definido el dominio, el cual encaminaba el desarrollo hacia la personalización de Sistemas de Información Geográfica para la toma de decisiones de cualquier negocio social o gubernamental.
- Arquitectónicamente, la línea base estaba representada por el *framework* de trabajo GeneSIG, producto liberado y registrado en su versión 1.0.

- No estaba definido ningún repositorio ni esquema organizativo oficial para la gestión de activos de software.
- Existía un alto nivel de formalización de los conceptos del dominio, heredado por la experticia del proyecto base GeneSIG.
- Los productos resultantes se concebían mediante la configuración de puntos de variación de la plataforma base.

Procesos relacionados con la Ingeniería de Aplicaciones

- La arquitectura del dominio era soportada por la definida en la Plataforma GeneSIG v1.0 como modelo de referencia para diseñar los nuevos productos del proyecto.
- El proceso de desarrollo estaba soportado sobre un plan de producción definido bajo principios de reutilización de componentes.
- La no existencia de un repositorio de activos limitaba la dependencia consecuente de nuevas actualizaciones de los componentes y servicios desde el proyecto base.
- No se realizaban pruebas de integración y sistema.

Procesos relacionados con la Gestión Tecnológica

- El ambiente de desarrollo establecido correspondía con la representación técnica de los proyectos comunes de desarrollo de la universidad.
- La administración de la configuración solo cubría los procesos de gestión documental en un expediente de proyecto.
- Las bibliotecas y herramientas utilizadas para el desarrollo de productos estaban legalmente concebidas y estandarizadas en el dominio.
- No se procedía a la gestión de los cambios como parte de la gestión de la configuración.
- Se estableció y mantuvo la integridad de la arquitectura base concebida para la línea.

Procesos relacionados con la Gestión Organizacional

- La gestión de los recursos humanos era precedida por una asignación aleatoria de estudiantes y profesionales a la línea.
- La formación y capacitación del equipo de trabajo no incluía contenido referido al esquema tecnológico de la línea.
- No se cerraban los ciclos de especialización por roles provocado por la ejecución de un modelo de producción tradicional.

- La gestión de la planificación y la integración del proyecto no concebía los riesgos generados por reajuste de cronogramas, ocurrencia de eventualidades o un mal funcionamiento de los procesos fundamentales de la producción.

3.3 Análisis de las variables postuladas

Variable: Modelo de desarrollo de software basado en LPS para la implementación de SIG

Dimensión calidad del modelo

Para evaluar la calidad del modelo se analizó el comportamiento de los indicadores de adaptabilidad y capacidad de generalización según prácticas referidas en la norma ISO/IEC 9126 [ISO/IEC, 2011], se elaboró para ello un cuestionario técnico que fue aplicado a dos grupos muestrales: El **Grupo I** representando al 100 % de los miembros de la Línea de Aplicativos SIG que ocupaban roles principales, y con un promedio de permanencia superior a los 10 meses de trabajo en el equipo y el **Grupo II** constituido por 19 especialistas de la línea investigativa de Líneas de Productos y Factorías de Software pertenecientes a varias entidades. (Ver Tablas 8 y 9 y detalles en Anexo VIII).

Tabla 8 Resumen de calidad de expertos (Grupo II).

| CATEGORÍA DEL EXPERTO | | | | ÁREA DEL CONOCIMIENTO QUE DOMINAN | | | |
|-----------------------|------|------|------|-----------------------------------|-----|-----|-------|
| Total | DrC. | MsC. | Ing. | GPI | LPS | SIG | Otras |
| 19 | 3 | 12 | 4 | 6 | 10 | 15 | 4 |

Tabla 9 Resumen de experticia por entidades (Grupo II).

| ENTIDAD DEL MODELO QUE DOMINAN | | | | | | |
|--------------------------------|--------------|------------|----------------|------|-------|-------|
| Dominio | Aplicaciones | Tecnología | Organizacional | CMMI | Prom. | % |
| 17 | 14 | 17 | 13 | 6 | 13,4 | 70,52 |

El promedio de años de experticia de los especialistas entrevistados en los temas validados es de **6,63** años y con un **70,52%** de dominio, el que puede catalogarse de bueno teniendo en cuenta la antigüedad y nivel de actualización del conocimiento fundamentado en la investigación.

El instrumento de recolección de datos fue validado a través del Procedimiento de Dos Mitades (división de ítems en pares e impares) [BARRAZA, 2007] el cual emitió índices de correlación de Pearson de 0,72 y 0,88 y un valor de corrección según Spearman-Brown de 0,84 y 0,93 respectivamente para cada grupo de validación. Estos valores otorgan al proceso una alta confiabilidad. (Ver Anexo V).

Los resultados arrojaron que para el Grupo I el **78,2%** de los ítems de los criterios pertenecientes a los niveles de Adaptabilidad que incluyeron apartados de auto-descriptividad, capacidad de expansión, generalidad y modularidad fueron evaluados de “Alto” y solo el 0,6% de “Bajo”. (Ver Tabla 10 y Figura 16)

Tabla 10. Análisis estadístico de la variable Adaptabilidad en el Grupo I.

| Adaptabilidad | | | | | | | |
|------------------------|------------|-------------|-----------|-------------|----------|------------|-------------|
| Criterios | Alto | % | Medio | % | Bajo | % | Total ítems |
| Auto-descriptividad | 41 | 85,4 | 6 | 12,5 | 1 | 2,1 | 48 |
| Capacidad de expansión | 19 | 63,3 | 11 | 36,7 | 0 | 0,0 | 30 |
| Generalidad | 42 | 80,8 | 10 | 19,2 | 0 | 0,0 | 52 |
| Modularidad | 20 | 76,9 | 6 | 23,1 | 0 | 0,0 | 26 |
| TOTALES | 122 | 78,2 | 33 | 21,2 | 1 | 0,6 | 156 |

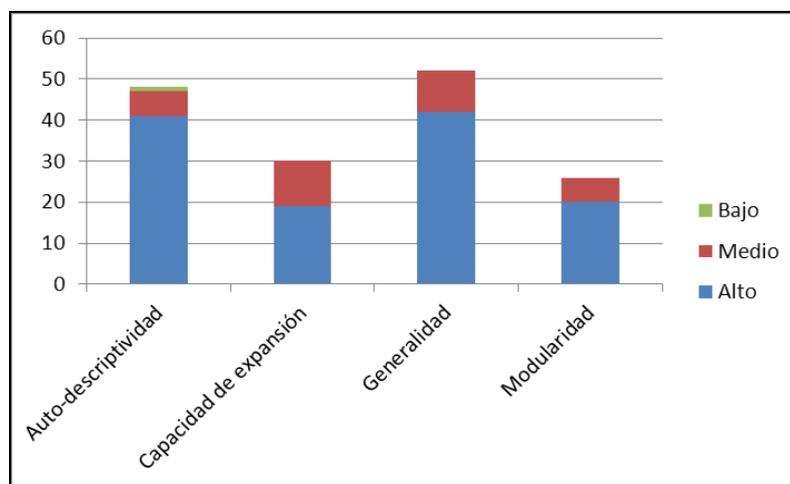


Fig. 16 Análisis gráfico de la variable Adaptabilidad en el Grupo I.

Para el Grupo II el **70,9** de los ítems tuvieron evaluación de “Alto”, el 18,4 de “Medio” y solo el 10,8 de “Bajo”. (Ver Tabla 11 y Figura 17).

Tabla 11 Análisis estadístico de la variable Adaptabilidad en el Grupo II.

| Adaptabilidad | | | | | | | |
|------------------------|------------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-------------|
| Criterios | Alto | % | Medio | % | Bajo | % | Total ítems |
| Auto-descriptividad | 31 | 67,4 | 9 | 19,6 | 6 | 13,0 | 46 |
| Capacidad de expansión | 26 | 78,8 | 3 | 9,1 | 4 | 12,1 | 33 |
| Generalidad | 30 | 71,4 | 8 | 19,0 | 4 | 9,5 | 42 |
| Modularidad | 25 | 67,6 | 9 | 24,3 | 3 | 8,1 | 37 |
| TOTALES | 112 | 70,9 | 29 | 18,4 | 17 | 10,8 | 158 |

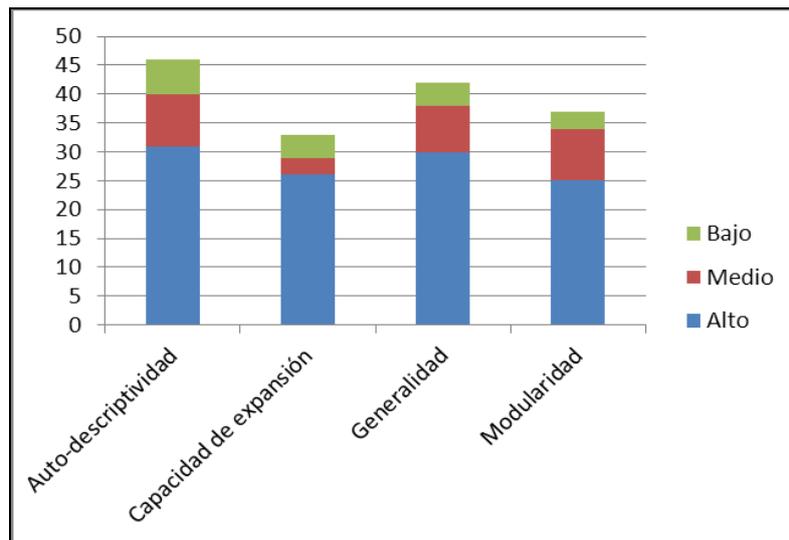


Fig. 17 Análisis gráfico de la variable Adaptabilidad en el Grupo II.

En cuanto al indicador capacidad de generalización, tras los resultados obtenidos sobre la base de un muestreo no probabilístico de proyectos de prioridad variada, se considera evaluado de Alto y se infiere que la expansión del modelo propuesto a la totalidad de los proyectos es totalmente funcional.

Se puede concluir, de manera general, que la valoración de la variable calidad del modelo obtuvo buenos estos resultados por los altos índices de aceptación que tuvo en quienes formaron parte del mismo.

Variable: Productividad

Análisis del indicador Tiempo de Desarrollo

Para el análisis del comportamiento del indicador referido al tiempo de desarrollo de los productos de la línea, los cuales fueron implementados teniendo en cuenta los principios del modelo propuesto, se partió del esquema inaugural de los datos de planificación obtenidos en el proceso de desarrollo de la Plataforma GeneSIG para calcular el índice de variabilidad obtenidos sobre su base arquitectónica:

- Plataforma base GeneSIG v.1.0
 - Total de funcionalidades: 42
 - Total de desarrolladores: 23
 - Tiempo de desarrollo: 24 meses
- Aplicativos SIG (Ver Tabla 12).

Tabla 12 Datos de desarrollo bajo el esquema del modelo de producción tradicional (Grupo de Control).

| Aplicativos | F. Reutilizadas | F. Nuevas | Tiempo (H) |
|---------------|-----------------|-----------|------------|
| SIG-UCI v1.0 | 18 | 8 | 577,5 |
| SIG-ONRM v1.0 | 21 | 0 | 487,5 |
| SIG-Granma | 28 | 11 | 607,5 |
| SIG-FAR | 18 | 4 | 1080 |
| SIG-Martiano | 14 | 1 | 195 |
| SIG-LaRed | 11 | 9 | 330 |

Tras la implantación del modelo y la selección de siete proyectos para su pilotaje técnico y evaluación, fueron priorizadas las variables organizacionales a favor de las entidades propuestas. A continuación una breve descripción de los escenarios de negocio, que constituyen el Grupo Experimental del modelo:

- **SIG-UCI v2.0:** Sistema de Información Geográfica de la Universidad de Ciencias Informáticas. Tiene como objetivo la representación espacial de todos los recursos socioeconómicos de la entidad y dispone de herramientas para su visualización, control y gestión.
- **SIG-Rutas:** Sistema de Información Geográfica para las rutas del transporte obrero de la Universidad de Ciencias Informáticas. Tiene como objetivo la representación espacial de las rutas y paradas del transporte obrero de la universidad así como la información asociada.
- **SIG-Salud:** Sistema de Información Geográfica para los centros de salud de Venezuela. Tiene como objetivo la representación espacial de la información socioeconómica de los centros de salud venezolanos. Constituye un módulo funcional de sistema ALAS-HIS, multipropósito.
- **SIG-MIC:** Sistema de información Geográfica para el Ministerio de Informática y las Comunicaciones. Tiene como objetivo la representación espacial de los proyectos productivos cubanos desplegados en el territorio venezolano.
- **SIG-COM:** Sistema de Información Geográfica para el despliegue de comunicaciones. Tiene como objetivo la georeferenciación de objetivos de entidades de comunicaciones que forman parte del proyecto Elecciones 2012.
- **SIG-Verano:** Sistema de Información Geográfica para el verano. Tiene como objetivo la representación geográfica de centro de recreación para el verano bajo la dirección de la UJC Nacional.
- **SIG-Flora:** Sistema de Información Geográfica para la Flora Cubana. Tiene como objetivo la georeferenciación de plantas endémicas cubanas y la

tematización del patrimonio natural boscoso del país. Pertenece al Museo Nacional de Ciencias Naturales.

El escenario de desarrollo estuvo representado por un equipo de proyecto especializado en equipos de implementación e integración que, poniendo en práctica el prototipo organizacional del modelo, tuvo los siguientes resultados. (Ver Tabla 13).

Tabla 13 Datos de desarrollo bajo el esquema del modelo propuesto.

| Aplicativos | F. Reutilizadas | F. Nuevas | Tiempo (H) |
|--------------|-----------------|-----------|------------|
| SIG-Rutas | 27 | 7 | 412,5 |
| SIG-Salud | 29 | 2 | 307,5 |
| SIG-Verano | 19 | 0 | 180 |
| SIG-Flora | 27 | 0 | 217,5 |
| SIG-UCI v2.0 | 33 | 2 | 457,5 |
| SIG-COM | 22 | 3 | 232,5 |

En la siguiente figura se ilustra un análisis del comportamiento del indicador tiempo de desarrollo en ambos escenarios de trabajo. (Ver figura 18).

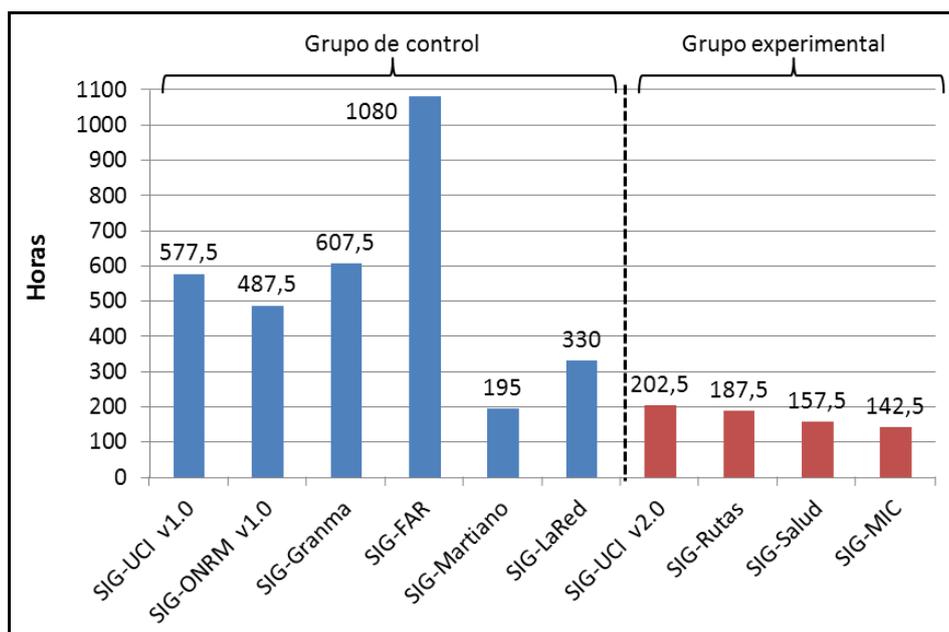


Fig. 18 Tiempo de desarrollo por escenarios.

Análisis del indicador Eficiencia

Para el análisis del comportamiento del indicador Eficiencia, variable que estimuló la productividad con la implantación del modelo, fue utilizada una fórmula matemática construida sobre la función de producción económica de Cobb-Douglas [SANCHO,

2002], su combinación con la fórmula de productividad de [CARBALLAL, 2009] y una contribución propia:

$$E = Pd * Pr \quad (1)$$

Siendo **Pd** la productividad en el desarrollo del aplicativo SIG y **Pr** la productividad de los recursos que se calculan como:

$$Pd = \frac{(Fr - Fn)}{Fb} \quad (2) \quad Pr = \frac{K}{Td * Rh} \quad (3)$$

Donde:

- K: Coeficiente de complejidad del aplicativo SIG desarrollado.
- Fr: Funcionalidades SIG reutilizadas.
- Fn: Funcionalidades SIG nuevas.
- Fb: Funcionalidades básicas de GeneSIG.
- Td: Tiempo de desarrollo en horas.
- Rh: Recursos humanos empleados.

El coeficiente de complejidad (K) representa la factorización de las variables de mayor criticidad en el desarrollo y comprenden el nivel organizacional (ORG), la experticia del equipo de desarrollo (EXP), la dimensión del producto (DIM), la tecnología empleada (TEC), la validación de los datos espaciales (VDE) y los riesgos asociados al desarrollo (RAD). Su clasificación se determina como sigue: (Ver Tabla 14).

Tabla 14 Clasificación de coeficientes de complejidad.

| Criticidad por factores | | | | | | Clasificación | |
|-------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|---------------|-----------------|
| ORG | EXP | DIM | TEC | VDE | RAD | Complejidad | Coeficiente (K) |
| x | x | x | x | x | x | Muy Alta | 500 |
| x | x | x | x | x | | Alta | 400 |
| x | | x | | x | x | Media | 300 |
| x | x | | | | x | Baja | 200 |
| x | | | | | x | Muy Baja | 100 |

Tras la evaluación del indicador por producto se obtuvieron los resultados que se muestran en la tabla y figuras siguientes: (Ver Tabla 15 y Figura 19). Aparecen resaltados en color rojo los asociados a los proyectos en los cuales se aplicó el modelo.

Tabla 15 Análisis de la eficiencia productiva.

| | Aplicativos | FR | FN | FB | Td | Rh | K | PD | PR | E |
|--------------------|---------------|----|----|----|--------|----|-----|-------|-------|--------|
| Grupo de Control | SIG-UCI v1.0 | 23 | 8 | 42 | 682,5 | 23 | 400 | 0,357 | 13,48 | 4,814 |
| | SIG-ONRM v1.0 | 22 | 3 | 42 | 817,5 | 31 | 200 | 0,452 | 7,58 | 3,431 |
| | SIG-Granma | 39 | 18 | 42 | 1432,5 | 8 | 500 | 0,500 | 2,79 | 1,396 |
| | SIG-FAR | 21 | 9 | 42 | 1080 | 26 | 500 | 0,286 | 12,04 | 3,439 |
| | SIG-Martiano | 25 | 2 | 42 | 82,5 | 5 | 100 | 0,548 | 6,06 | 3,319 |
| | SIG-LaRed | 11 | 9 | 42 | 180 | 7 | 300 | 0,048 | 11,67 | 0,556 |
| Grupo Experimental | SIG-Rutas | 27 | 7 | 47 | 412,5 | 11 | 500 | 0,426 | 13,33 | 5,674 |
| | SIG-Salud | 29 | 2 | 47 | 307,5 | 11 | 400 | 0,574 | 14,31 | 8,220 |
| | SIG-Verano | 19 | 0 | 47 | 180 | 8 | 300 | 0,404 | 13,33 | 5,390 |
| | SIG-Flora | 27 | 0 | 47 | 217,5 | 11 | 200 | 0,574 | 10,11 | 5,811 |
| | SIG-UCI v2.0 | 33 | 2 | 47 | 457,5 | 11 | 400 | 0,660 | 9,62 | 6,343 |
| | SIG-COM | 22 | 3 | 51 | 232,5 | 13 | 400 | 0,373 | 22,37 | 8,332 |
| | SIG-MIC | 24 | 7 | 51 | 165 | 13 | 400 | 0,333 | 31,52 | 10,505 |

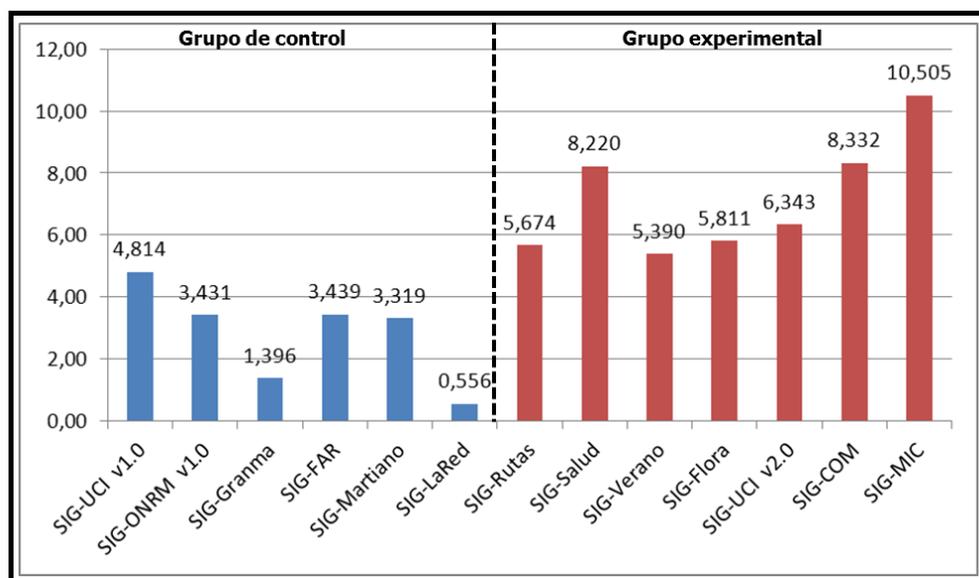


Fig. 19 Análisis gráfico de la eficiencia por productos.

Análisis estadístico del indicador Eficiencia

Teniendo en cuenta que el diseño de la investigación requiere una evaluación de dos grupos independientes a través de una prueba no paramétrica de comparación, se seleccionó el Test de Mann Whitney para evaluar la equivalencia de las muestras a diagnosticar y para el análisis estadístico del comportamiento del indicador Eficiencia.

Se realizan dos análisis, el primero orientado a demostrar que las dos poblaciones control y experimental son equivalentes, o sea que se puede establecer una comparación entre las mismas. La segunda prueba es donde se compara la eficiencia productiva entre los grupos de control y experimental.

Resultados de prueba inicial para demostrar la posibilidad de comparar los grupos de control y experimental:

- La figura 20 presenta los resultados de análisis estadístico que demuestra que los grupos seleccionados son equivalentes de acuerdo a los criterios: Funcionalidades Reutilizadas (FR), Nuevas Funcionalidades (FN) y la Complejidad (K).
- Respecto a la variable FB, la prueba muestra diferencias significativas, esto se debe a que la variable representa la cantidad de funcionalidades básicas en el núcleo de la solución. Este elemento no es un inconveniente para las pruebas porque solo presenta al grupo de control con un nivel mayor de necesidades a cubrir, por tanto, si se demuestra mayor productividad incluso sería con un volumen de trabajo mayor.

| | FR | FN | FB | K |
|--------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Mann-Whitney U | 14,500 | 6,500 | ,000 | 19,000 |
| Wilcoxon W | 35,500 | 34,500 | 21,000 | 40,000 |
| Z | -,931 | -2,095 | -3,261 | -,296 |
| Asymp. Sig. (2-tailed) | ,352 | ,036 | ,001 | ,767 |
| Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)] | ,366 ^a | ,035 ^a | ,001 ^a | ,836 ^a |

Fig. 20 Análisis estadístico de la equivalencia de las muestras diagnosticadas.

Prueba de comparación de los grupos de control y experimental

Como resultado del análisis del comportamiento de la variable Eficiencia se obtuvo un nivel de significancia de 0,015, lo que se traduce en que hay diferencias significativas entre las muestras seleccionadas antes y después de aplicar el modelo y por ende infiere en los resultados obtenidos que expresan un aumento de la eficiencia productiva. (Ver Figura 21).

| | | | Eficiencia |
|--------------------------------|-------------------------|-------------|-------------------|
| Mann-Whitney U | | | 4,000 |
| Wilcoxon W | | | 25,000 |
| Z | | | -2,429 |
| Asymp. Sig. (2-tailed) | | | ,015 |
| Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)] | | | ,014 ^a |
| Monte Carlo Sig. (2-tailed) | Sig. | | ,014 ^b |
| | 99% Confidence Interval | Lower Bound | ,011 |
| | | Upper Bound | ,017 |
| Monte Carlo Sig. (1-tailed) | Sig. | | ,007 ^b |
| | 99% Confidence Interval | Lower Bound | ,005 |
| | | Upper Bound | ,009 |

Fig. 21 Análisis estadístico del indicador Eficiencia mediante el Test de Mann-Whitney.

Análisis del indicador Factor de Reutilización

En cuanto al indicador factor de reutilización de activos y componentes, diagnosticado a 14 profesionales de la línea Aplicativos SIG, se cuestionaron los criterios de reutilización de activos del proceso y activos de código mediante el análisis de 70 ítems respondidos, arrojándose como resultados que existe un factor de 88,57 % que valida la reutilización de activos entre un 70 y un 100%. (Ver Tabla 16)

Tabla 16 Análisis estadístico de la variable Factor de reutilización.

| Factor de reutilización | | | | | | | |
|-------------------------|-----------|--------------|----------|-------------|----------|------------|-------------|
| Criterios | 70-100% | % | 40-70% | % | 0-40% | % | Total ítems |
| Activos del proceso | 30 | 85,71 | 2 | 5,71 | 3 | 8,6 | 35 |
| Activos de código | 32 | 91,43 | 2 | 5,71 | 1 | 2,9 | 35 |
| TOTALES | 62 | 88,57 | 4 | 5,71 | 4 | 5,7 | 70 |

Análisis del indicador Productos Desarrollados

Tras la implantación del modelo de desarrollo propuesto fue necesario el aseguramiento funcional de varios esquemas de trabajo, que incluyeron la priorización de variables como el patrón de selección de desarrolladores por equipos, la capacitación técnica, la gestión de la configuración y la preparación básica de los modelos cartográficos.

El rendimiento productivo en relación del esfuerzo realizado con la cantidad de productos desarrollados aumentó proporcionalmente al nivel de experticia adquirido y a los activos de software reutilizables generados. Igualmente, aumentó el número de entidades clientes, convenios de trabajo y proyectos de colaboración conjunta. Las siguientes tablas y figura relacionan los resultados de este indicador en dos períodos muestrales:

Período de junio 2009 a noviembre 2010 – Sin modelo propuesto (16 meses)

Tabla 17 Productos desarrollados bajo el esquema tradicional (⁷).

| Productos desarrollados | Entidad cliente |
|-------------------------|-----------------|
| SIG-UCI v1.0 | UCI |
| SIG-ONRM v1.0 | MINBAS |
| SIG-Granma | MINFAR |
| SIG-FAR | MINFAR |

⁷ Hasta marzo de 2010, fecha en que se constituyó oficialmente el grupo de trabajo Aplicativos SIG como un proyecto productivo, los productos resultantes fueron desarrollados en el marco del proyecto GeneSIG.

| | |
|--------------|--------------|
| SIG-Martiano | UCI |
| SIG-LaRed | Grupo La Red |

Período de diciembre 2010 a junio de 2012 – Con modelo propuesto (16 meses)

Tabla 18 Productos desarrollados bajo el esquema del modelo propuesto.

| Productos desarrollados | Entidad cliente |
|-------------------------|----------------------|
| SIG-UCI v2.0 | UCI |
| SIG-Rutas | UCI |
| SIG-Salud | PDVSA |
| SIG-MIC | MIC |
| IARA-SIG | MINBAS |
| SIG-ALBET | ALBET |
| SIG-COM | DESOFT |
| SIG-ONEI | ONEI |
| SIG-ELECTORAL | MIC |
| SIG-PMUCI | UCI |
| SIG-ONRM v2.0 | MINBAS |
| SIG-ENERGÍA | UCI |
| SIG-SOPORTE | UCI |
| SIG-VERANO | UJC Nacional |
| SIG-FLORA | Museo Nacional de CN |
| SIG-PETRÓLEO | CUPET-Centro |
| SIG-INRH | INRH |
| SIG-MINAG | MINAGRI |
| SIG-MES | MES |
| SIG-CAMPISMO | UJC Nacional |

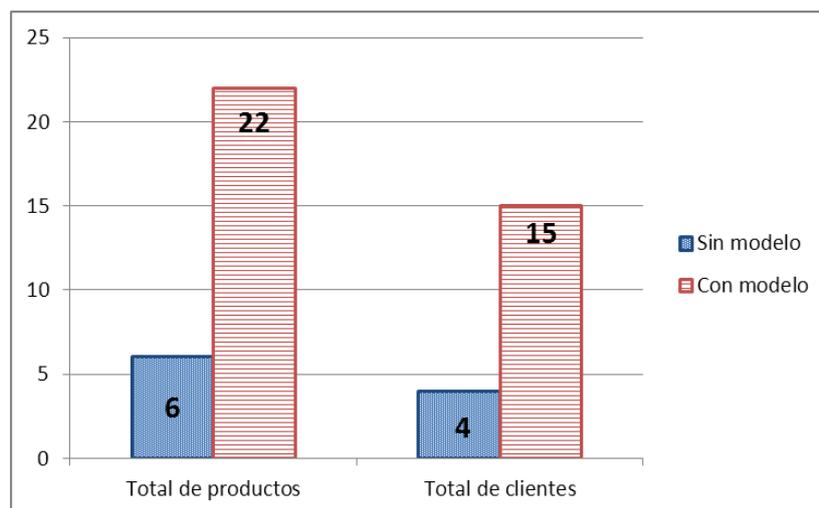


Fig. 22 Análisis comparativo de resultados del total de productos y clientes.

Otros resultados de la línea asociados a componentes desarrollados fueron los siguientes:

- **Plataforma de Servicios de Mapas (Plasma v1.0):** Herramienta para la compartimentación de servicios de mapas en la Web sobre los estándares internacionales. Provee objetos de mapas con alto nivel de reutilización para los aplicativos SIG.
- **Framework de desarrollo para SIG ágiles (ATLAS v1.0):** Herramienta para la personalización de aplicativos SIG con tecnologías ágiles. Basa su funcionamiento en técnicas de mapificación por caché y configuración por plugins de interfaz.
- **Herramienta de gestión de servicios de mapas para IDEs:** Utilizada para la gestión de servicios de mapas Web Mapping Services (WMS), Web Feature Services (WFS) y Web Coverages Services (WCS) sobre un visor OpenLayers. Forma parte como módulo de la Infraestructura de Datos Espaciales de la UCI.
- **ETL-GIS:** Herramienta para la conversión, recuperación y salva de información socio-espacial. Utilizada como parte del despliegue y puesta en marcha del proyecto SIG-MIC.
- **Componente para la tematización de interfaces:** Herramienta para la generación de temas de personalización para Aplicativos SIG.
- **Herramienta para la generación de paquetes de desarrollo SIG:** Permite la replicación de proyectos base sobre GeneSIG con el objetivo de reutilizar componentes terminados.
- **Componente de integración OpenERP-PostGIS:** Herramienta para la transformación de datos de sistemas ERP hacia proyecciones espaciales.
- **Visor de mapas con tecnología TileCaché:** Herramienta para la optimización de la representación espacial mediante un servicio de caché de mapas.
- **Cartografía UCI 1:2000:** Mapa socio-económico de la Universidad de las Ciencias Informáticas desarrollado a partir de capas ráster.

3.4 Aportes generados según el esquema de entidades del modelo

Dominio

- Se definió repositorio oficial para la gestión de activos de software.
- Los productos resultantes se concibieron mediante la configuración de puntos de variación de la plataforma base.

Aplicaciones

- Se logró una independencia de desarrollo con las nuevas actualizaciones de los componentes y servicios desde el proyecto base.
- Comenzaron a ejecutarse pruebas de integración y sistema.
- La variabilidad de los productos fue modelada a través de la instanciación de la arquitectura base.

Gestión Tecnológica

- Se estableció un ambiente de desarrollo enfocado a Líneas de Productos de Software.
- La administración de la configuración amplió sus áreas de procesos hacia el control de cambios, las tecnologías y herramientas y el despliegue técnico.

Gestión Organizacional

- La gestión de los recursos humanos se dirigió de acuerdo a funciones de desarrollo específicas dentro del entorno.
- La formación y capacitación del equipo de trabajo dio prioridad al contenido referido al esquema tecnológico de la línea.
- Se aplicaron técnicas de trabajo colaborativo para la gestión del conocimiento.
- Los ciclos de especialización por roles se definieron en equipos de desarrollo especializados.
- La gestión de la planificación y la integración del proyecto incluyó el tratamiento de riesgos generados por reajuste de cronogramas y ocurrencia de eventualidades.

3.5 Análisis del impacto económico y social del modelo propuesto

Económico

Referente a los costos de productos SIG internacionales

En Cuba, específicamente las empresas que tienen como objeto social la gestión y administración de datos espaciales, existe una dependencia marcada con software propietarios. Cada año el estado cubano invierte millones de dólares en términos de renovación de licencias y soporte que estos sistemas exigen. La Tabla 16 esboza un resumen de los principales números. El paquete de ArcGIS, por ejemplo, que incluye herramientas de análisis, edición y visualización de mapas (ArcView, ArcEditor, ArcInfo), define licencias individuales para cada módulo que rondan los 18 mil dólares anuales. (Ver Tabla 19)

Hoy día, entidades del MINBAS como la ONRM, otras como las FAR, el MIC y la propia UCI, disponen de SIG desarrollados por la línea Aplicativos SIG, representando un ahorro considerable por concepto de sustitución de importaciones y soberanía tecnológica. Este grupo de trabajo, sustentado con su modelo de producción en serie, tiene la responsabilidad social de expandir su cartera de productos por todo el territorio y contribuir a la economía nacional.

Tabla 19 Costo de licencias anuales de productos SIG. [ORTIZ, 2012]

| Productos | Compañía | País | Costo/Lic/Año |
|--------------------------|----------------------|-------------|---------------|
| ArcView 9.2 | ESRI | EE.UU. | \$1,500 |
| ArcEditor 9.2 | ESRI | EE.UU. | \$7,000 |
| ArcInfo 9.2 | ESRI | EE.UU. | \$9,000 |
| GeoMedia Pro | SOLGRAF | Perú | € 14,000 |
| AutoCAD Map3D 2012 | AutoDesk | EE.UU. | \$5,295 |
| AutoCAD Raster Design | AutoDesk | EE.UU. | \$2,095 |
| Microstation XM | Bentley Systems | EE.UU. | € 5,800 |
| Bentley Map | Bentley Systems | EE.UU. | \$1,500 |
| MapInfo Profesional 10.0 | MapInfo | EE.UU. | \$12,940 |
| CardCop (pckg) | CardCop | Reino Unido | € 19,400 |
| Google Earth Pro | Google | EE.UU. | € 321 |
| SuperMap | SMap Software Co Ltd | China | \$1,956 |

Referente a mano de obra, tiempo de desarrollo y reutilización

Con la implantación del modelo propuesto, se garantiza una producción estable que ronda por una cifra superior a 5 aplicativos SIG al año, con un empleo de solo 11 profesionales agrupados por equipos de desarrollo y un factor de reutilización de activos superior al 88%. La tabla 20 muestra un ejemplo de estos resultados tomando como muestra los proyectos y etapas diagnosticados en la investigación.

Tabla 20 Análisis económico de mano de obra, tiempo y factor de reutilización.

| Etapas | Tot. Prod | Horas | F. Reut. | RHE |
|---------|-----------|--------|----------|-----|
| Antes | 6 | 4275 | 92 | 100 |
| Después | 7 | 1972,5 | 160 | 78 |

Social

Referente al impacto social de los productos de la línea en los negocios

La puesta en marcha de una solución SIG en cualquier negocio social o gubernamental, posibilita el seguimiento y control de la información socioeconómica de sus objetivos sobre una ubicación geográfica, de manera que se garantice una elevada eficiencia en la toma de decisiones a partir de su representación y análisis espacial. Un sistema que integre la gestión de sus recursos sobre mapas no solo

brinda resultados desde el punto de vista de la ubicación espacial, sino que amplía el escenario de evaluación de variables económicas mediante nuevos criterios de medida y factores geográficos.

Partiendo de la base de la Plataforma GeneSIG, herramienta cubana para el montaje de aplicaciones SIG a cualquier negocio social o interinstitucional, es muy factible conceptualizar soluciones integrales en un período corto de tiempo y asegurando buena calidad, posibilitando a los clientes la modelización de las variables de su accionar a través de su localización geográfica y asegurar un exitoso proceso de toma de decisiones.

Referente a la formación de recursos humanos

El despliegue conceptual y técnico del modelo propuesto incidió de manera directa en la formación de los recursos que formaron parte de su escenario y de áreas con vinculación directa al mismo. La especialización por entidades de trabajo y el esquema de producción enfocado al aseguramiento de la calidad de los productos y procesos, exigieron altos niveles de preparación y experticia, así como la superación postgraduada (Ver Tabla 21).

Tabla 21 Formación de los recursos humanos por escenarios del conocimiento.

| Escenarios de conocimiento | Nivel | Experticia | Postgrado |
|-------------------------------------|--------------|-------------------|------------------|
| Planificación de proyectos | Alto | 3 | 4 |
| Control y seguimiento de proyectos | Alto | 3 | 0 |
| Gestión de Alcance | Medio | 1 | 4 |
| Gestión de los Costos | Bajo | 0 | 6 |
| Gestión de la Calidad | Alto | 3 | 6 |
| Gestión de Riesgos | Medio | 2 | 6 |
| Gestión de Logística | Medio | 2 | 0 |
| Gestión de Recursos Humanos | Alto | 3 | 6 |
| Administración de BD Espaciales | Alto | 4 | 0 |
| Diseño de BD Espaciales | Alto | 4 | 0 |
| Sistemas de Información Geográfica | Alto | 4 | 16 |
| Infraestructura de Datos Espaciales | Medio | 4 | 3 |

Igualmente, en el período comprendido entre la fecha de implantación del modelo hasta la actualidad, se han defendido 3 tesis de maestría y un doctorado en áreas del conocimiento asociadas al modelo propuesto.

3.6 Conclusiones del capítulo

En el capítulo se describió el escenario de resultados del modelo con la evaluación del comportamiento de las variables postuladas. Tras su análisis, se llegan a las conclusiones siguientes:

- Los métodos de validación empleados demuestran un comportamiento positivo de los indicadores evaluados.
- La calidad del modelo estuvo sustentada por altos índices de adaptabilidad (más del 70%) validada por especialistas con más de 10 meses de experiencia de trabajo en el entorno del diagnóstico y expertos en áreas de conocimiento asociadas con un 70,52 % de dominio técnico.
- La variable productividad mostró un incremento de sus indicadores, con una alta incidencia de la eficiencia de desarrollo y la cantidad de productos generados.
- En análisis del impacto económico y social del modelo se evidenció que su aplicación representa un ahorro considerable por concepto de sustitución de importaciones y soberanía tecnológica, que tributa directamente a la formación de sus recursos humanos y que contribuye a la toma de decisiones empresariales mediante la evaluación de variables socioeconómicas y geográficas.

Conclusiones

- Los modelos estudiados recogen de una manera u otra los procesos básicos de una LPS, pero sus características distintivas le ofrecen ventajas y desventajas sobre el resto en dependencia del nivel de usabilidad y objetivos del proyecto de desarrollo donde se implanten.
- El modelo propuesto logra combinar los principios de LPS y la mejora continua de sus procesos mediante una adaptación de CMMI.
- Como parte del modelo se definen cuatro entidades conceptuales (Dominio, Aplicaciones, Gestión Tecnológica, Gestión Organizacional) que organizan la línea y abarcan las principales áreas del conocimiento de la gestión de proyectos.
- El modelo propone el uso de métodos de arquitectura novedosos que basan sus técnicas en la reutilización de componentes, programación orientada a características y modelos de decisión.

Con la aplicación del modelo resultante de la investigación se logró:

- Formalizar un esquema de trabajo en el proyecto Aplicativos SIG correspondiente a las necesidades de producción en cadena de manera eficiente, rápida y con mejor calidad.
- Guiar de manera metodológica la gestión de los recursos humanos y materiales basados en un modelo de desarrollo ágil y económico.
- Asentar los mecanismos o procesos sobre técnicas de reutilización de componentes.
- Enfocar la generación de artefactos hacia las actividades críticas del desarrollo.
- Servir de modelo conceptual para las actividades principales del negocio de personalización de la Plataforma Soberana GeneSIG.

Recomendaciones

Se recomienda lo siguiente:

- Fomentar, en un mayor índice, estrategias de trabajo colaborativo en función de la gestión adecuada del conocimiento en la línea de trabajo.
- Crear una cultura organizacional en el grupo de trabajo que asegure una dependencia laboral y funcional hacia el modelo.
- Constituir ciclos de evaluación del modelo en períodos de mediano plazo con el objetivo de mitigar fallas ocasionales y analizar posibles mejoras en los procesos afectados.
- Diseñar un guía procedural por entidades como complemento documental del modelo.

Referencias bibliográficas

1. **[KRUEGER, 2006]** Charles W. Krueger. *Introduction to Software Product Lines*. BigLever Software. Disponible en: <http://www.softwareproductlines.com/introduction/>. Citado en fecha: 31/01/2010.
2. **[RABISER, O'LEARY AND RICHARDSON, 2010]** Rick Rabiser, Pádraig O'Leary e Ita Richardson. *Key activities for product derivation in software product lines*. Journal of Systems and Software. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0164121210002700#bib0030>. Web of Science. Citado en fecha: 11/07/2012.
3. **[NORTROP, 2008]** Linda Northrop. *Software Product Lines Essentials*. Software Engineering Institute Carnegie Mellon University Pittsburgh, 2008. Pittsburgh. USA.
4. **[NORTHROP Y JONES, 2008]** Linda Northrop y Lawrence G. Jones. *Introduction to Software Product Line Adoption*. Software Engineering Institute, Carnegie Mellon University. 2008. Disponible en: <http://www.sei.cmu.edu/publications/documents/04.reports/04tr022.html>. Consultado en fecha: 10/04/2012.
5. **[MCGREGOR, 2010]** John D. McGregor. *Successful Software Product Line Practices*. IEEE Computer Society. Edición Mayo - Junio 2010. Disponible en: <http://computingnow.computer.org>
6. **[BASTARRICA, 2010]** María Cecilia Bastarrica. *Desarrollo de Líneas de Productos de Software*. Departamento de Ciencias de la Computación. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Universidad de Chile. p.9. 2010. Chile.
7. **[BERGEY Y OTROS, 2010]** John K. Bergey y otros. *Software Product Lines: Report of the 2010 U.S. Army Software Product Line Workshop*. Technical Report. Disponible en: <http://www.sei.cmu.edu>. Consultado en fecha: 11/07/2012
8. **[MONTILVA, 2006]** Jonás A. Montilva. *Desarrollo de Software Basado en Líneas de Productos de Software*, Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela, 2006.
9. **[MONTILVA, 1994]** Jonás A. Montilva. *Sistemas de Información Geográfica y Diseño de Geodatabases*. Manual de Curso, Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela, 1994.
10. **[TRUJILLO, 2008]** Yaimí Trujillo Casañola. *Propuesta de modelo de producción de software para la Universidad de las Ciencias Informáticas*. Tesis de Maestría. Universidad de las Ciencias Informáticas, 2008. La Habana, Cuba.
11. **[PARNAS, 1976]** David L. Parnas. *On the Design and Development of Program Families*. IEEE Transactions on Software Engineering, SE-2:1-9. Marzo, 1976. Disponible en: http://web.cecs.pdx.edu/~omse532/Parnas_Families.pdf Citado en fecha: 9/02/2010

12. **[YAGÜEZ, 2002]** Julio. C. Domingo Yagüez. Sistema de Información Geográfica. Disponible en: http://www.inta.gov.ar/barrow/info/documentos/SIG/que_es_sig.htm
Citado en fecha: 08/05/2010
13. **[JONES & SOULE, 2002]**. Jones L. G., Soule, A. L. *Software Process Improvement and Product Line Practice: CMMI and the Framework for Software Product Line Practice*, (CMU/SEI-2002-TN-012, ADA403868), Software Engineering Institute, Carnegie Mellon University. Disponible en: <http://www.sei.cmu.edu/pub/documents/02.reports/pdf/02tn012.pdf>. Consultado en fecha: 01/11/2012.
14. **[SÁNCHEZ, 2007]** Edgar Sánchez. *Una metodología sistémica para la implantación de Sistemas de Información Geográficos*. Disponible en: <http://www.ceagi.org/portal/files/metodolog1.doc>. Citado en fecha: 30/01/2010
15. **[FAHEEM, CAPRETZ, 2010]** Faheem Ahmed, Luiz Fernando Capretz. *A business maturity model of software product line engineering*. Springer Science + Business Media. 2010. Disponible en: <http://www.springerlink.com/content/2x514nm307057t22/>
Consultado en fecha: 01/11/2012.
16. **[PRESSMAN, 2002]** Roger S. Pressman. *Ingeniería Del Software: Un Enfoque Práctico*. 2002. 5ta Edición. Cuba.
17. **[SZYPERSKI, 1998]** Clemens Szyperski. *Component Software: Beyond Object Oriented Programming*. Addison-Wesley, 2003.
18. **[TOPOGRAPHO, 2004]** EL TOPOGRAPHO. Proyecto integral de apoyo a la ingeniería "Geomáticos en Acción". Disponible en: <http://topografho.blogspot.com/2010/04/aplicaciones-generales-de-los-sig.html>. Citado en fecha: 2/10/2010
19. **[FRANCHINI, 2005]** Dr. Carlos García Franchini. *Modelado por medio de ecuaciones diferenciales*. 2005. Disponible en: http://www.itpuebla.edu.mx/alumnos/Cursos_Tutoriales/Carlos_Garcia_Franchini/Modelado/Teor%C3%Ada/TeoriaE0100.htm. Citado en fecha: 2/10/2010
20. **[SMITH, 1999]** Roger Smith. *Fundamental Principles of Modeling and Simulation*. 1999. Disponible en: <http://www.modelbenders.com/papers/principles/> Citado en fecha: 2/10/2010
21. **[SARUKHÁN, 1998]** José Sarukhán. *Las musas de Darwin. La ciencia para todos*. 2004. Disponible en: <http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/070/htm/toc.htm>. Citado en fecha: 2/10/2010
22. **[LINDEN, 2010]** Frank van der Linden. *Engineering Software Architectures, Processes and Platforms for System Families*. 2010. Disponible en: <http://www.esi.es/Projects/Cafe/pdf/splcESAPSV0.2.pdf>. Citado en fecha: 24/10/2011.
23. **[DONOHOE, 2000]** Donohoe, Patrick, ed. *Software Product Lines: Experience and Directions, Proceedings of the First Software Product Lines Conference (SPLC1)*, August 28-31, 2000. Denver, Colorado. Boston, MA: Kluwer Academic Publishers, 2000.

24. **[MOHAN, RAMESH Y SUGUMARAN, 2010]**. Kannan Mohan, Balasubramaniam Ramesh y Vijayan Sugumaran. *Integrating Software Product Line Engineering and Agile Development*. IEEE SOFTWARE. Published by the IEEE Computer Society. Edición de Mayo-Junio. 2010
25. **[COHEN, 2002]**. Sholom Cohen. *Product Line State of the Practice Report*. Carnegie Mellon University. Technical Report. 2002. Disponible en: <http://www.sei.cmu.edu/publications/documents>. Consultado en fecha: 12/05/2012.
26. **[GACEK Y OTROS, 2001]**. Cristina Gacek y otros. *Successful Software Product Line Development in a Small Organization*. IESE-Report. Marzo 2001. Fraunhofer IESE. p.1. Alemania.
27. **[POLZER, KOWALEWSKI, 2009]** Andreas Polzer and Stefan Kowalewski. *Applying Software Product Line Techniques in Model-based Embedded Systems Engineering*. RWTH Aachen University, Aachen, Germany. 2009.
28. **[ORTIZ, 2002]** Gabriel Ortiz. *¿Qué son los Sistemas de Información Geográfica?* Temas de Iniciación. Teoría GIS. 2002. Disponible en: <http://www.gabrielortiz.com/art.asp?Info=012#Topolog%C3%ADas>. Citado en fecha: 14/02/2011
29. **[MARBLE, 1996]** Duane Marble. *The potential methodological impact of geographic information systems on the social sciences*. The Ohio State University. Department of Geography. Columbus, Ohio. 1996. Disponible en: http://www.ncgia.ucsb.edu/conf/sa_workshop/papers/marble.html. Consultado en fecha: 12/07/2012.
30. **[MCGREGOR, MUTHIG Y OTROS, 2010]**. John D. McGregor, Dirk Muthig, Kentaro Yoshimura, Paul Jensen. *Successful Software Product Line Practices*. IEEE Computer Society. May/Jun 2010. Disponible en: <http://ComputingNow.computer.org>. Consultado en fecha: 12/07/2012
31. **[PESTANO, 2010]** Henrik Pestano Pino. *Propuesta de modelo de desarrollo para líneas de productos de software en centros de producción*. Tesis de Maestría. Pág 10. Universidad de las Ciencias Informáticas. 2010. La Habana, Cuba.
32. **[ESAPS, 2001]** ESAPS (Engineering Software Architectures). *Processes and Platforms for System-Families*. ITEA 2001. Disponible en: <http://www.esi.es/esaps/index.html>. Citado en fecha: 5/11/2011
33. **[MELLADO, 2004]** Julio Mellado Toríos. *Estrategias de prueba de Líneas de Productos de sistemas de tiempo real especificados con diagramas de estados jerárquicos*. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. 2004. Disponible en: http://oa.upm.es/246/1/tesis_julio_mellado_torio.pdf. Citado en fecha: 5/11/2011
34. **[SAMETINGER, 1997]** Johannes Sametinger. *Software Engineering with Reusable Components*. 1997. Disponible en: <http://www.swe.uni-linz.ac.at/publications/pdf/TR-SE-97.04.pdf> Citado en fecha: 7/11/2011

35. **[WEBSTER AND BRACKEN, 1992]** Christopher J. Webster, Ian J. Bracken. *Exploring the discriminating power of texture in urban image analysis*.1992. Disponible en: http://www.isprs.org/proceedings/XXIX/congress/part7/942_XXIX-part7.pdf. Citado en fecha: 18/11/2011
36. **[ESRI, 1995]** ESRI (Environmental Systems Research Institute). *What is GIS?* 1995. Disponible en: <http://www.gis.com/content/what-gis>. Citado en fecha: 18/11/2011
37. **[BOSQUE,1994]** Joaquín Bosque Sendra. *Sistemas de información geográficos*. Ediciones Rialp. 1ra Edición. Sebastián El Cano 30-28012 Madrid, España. 1994. 451 p.
38. **[VAREN, 2010]** Eliani Varen Caballero. *Estrategias para la implementación de sistemas de información geográfica del petróleo sobre la base de la Plataforma GeneSIG*. Trabajo de Diploma. Universidad de las Ciencias Informáticas. 2010. P32-37. La Habana, Cuba.
39. **[ARCGIS, 2011]** ARCGIS. *Mapping and Spatial Analysis for Understanding Our World*. ESRI. 2011. Disponible en: <http://www.esri.com/software/arcgis/index.html>. Consultado en fecha: 19/11/2011
40. **[SUPERMAP, 2011]** SuperMap Software Co., Ltd. *About SuperMap*. 2011. Disponible en: <http://www.supermap.com/en/html/Company.html>. Consultado en fecha: 19/11/2011
41. **[GVSIG, 2011]** GVSIG. *gvSIG: Un poco de historia*. 2011. Disponible en: <http://www.gvsig.org/web/home/organization/mision-vision-y-valores/> Consultado en fecha: 19/11/2011
42. **[ATI, 2009]** ATI. Asociación de Técnicos en Informática. *Introducción a CMMI*. Curso en Línea. 2009. Disponible en: <http://www.ati.es/spip.php?article1135>. Consultado en fecha: 19/11/2011
43. **[CHRISSIS, KONRAD AND SHRUM, 2009]** Mary Beth Chrissis, Mike Konrad, Sandy Shrum. *CMMI. Guía para la integración de procesos y la mejora de productos*. Pearson Education. 2009.
44. **[DIAZ, 2010]** Oscar Díaz. *Líneas de Productos de Software*. Facultad del País Vasco. 2010. Disponible en: <http://alarcos.inf-cr.uclm.es/per/fruiz/cur/santa-nder/odiaz-lineasproducto.pdf>. Consultado en fecha: 4/01/2012.
45. **[IESE, 2002]** Institute for Experimental Software Engineering. *PuLSE™ (Product Lines for Software Systems)* [online]. Kaiserslautern, Germany: Institute for Experimental Software Engineering, 2002. Disponible en: <http://www.iese.fhg.de/PuLSE/>. Consultado en fecha 19/03/2012.
46. **[CASANOVA, 2008]** Fernando Casanova. *Formación profesional, productividad y trabajo docente*. Boletín No.153 Cinterfor Montevideo 2002 [Consulta indirecta en fecha 11-2-2008]. Disponible en: <http://www.oitcinterfor.org/?q=public/spanish/region/ampro/cinterfor/publ/boletin/153/pdf/casanov.pdf>

-
47. [SNOOK, POPPLETON Y JOHNSON, 2007] Colin Snook, Michael Poppleton, e Ian Johnson. *Rigorous engineering of product-line requirements: a case study in failure management*. School of Electronics and Computer Science, University of Southampton, Highfield. 2007.
48. [CARBALLAL, 2009] Esperanza Carballal del Río. *Conceptos Modernos de Productividad*. Revista Técnica El Prisma. 2009. Disponible en: http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_industrial/productividadconceptos/
Consultado en fecha: 04/01/2011
49. [CALLAOS, 1991] Nagib Callaos. *METODOLOGIAS ABIERTAS Y CERRADAS*. Callaos y Asociados Ingenieros Consultores C.A, abril 1991. 10 p.
50. [VICENTE, 2005] Cristina Vicente Chicote. *Desarrollo Integral de sistemas de procesamiento de información visual: un enfoque multiparadigma basado en LPS, componentes y generación automática de software*. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Cartagena. 2005. Disponible en: <http://repositorio.bib.upct.es/dspace/bitstream/10317/361/1/PhDThesis%2020CVicenteChicote.pdf>. Consultado en fecha: 14/04/2012.
51. [BOTTERWECK, THIEL] G. Botterweck, K. Lee, and S. Thiel. *Automating product derivation in software product line engineering*. Software Engineering 2009 (SE09), Kaiserslautern, Germany, March 2009.
52. [CRUZ, 2011] Henry Cruz Mulet. *Personalización y extensión de un modelo de desarrollo basado en Líneas de Producción de Software para el Centro de Desarrollo Territorial de la UCI en Holguín*. Tesis de Maestría. UCI 2011 La Habana, Cuba.. Consultado en fecha: 16/04/2012.
53. [ROMBACH, 2009] Dieter Rombach. *Design for Maintenance - Use of Engineering Principles & Product Line Technology*. University of Kaiserslautern, Germany. IEEE Computer Society. 2009.
54. [PUJOLAS, 2003] Pere Pujolàs Maset. *El aprendizaje cooperativo: algunas ideas prácticas*. Universidad de VIC. Noviembre 2003. Disponible en: http://www.deciencias.net/convivir/1.documentacion/D.cooperativo/AC_Algunasideaspracticas_Pujolas_21p.pdf Consultado en fecha: 3/10/2012.
55. [NOGUEIRA, 2002] Dianelys Nogueira Rivera. *Modelo conceptual y herramientas de apoyo para potenciar el control de gestión en las empresas cubanas*. Tesis doctoral. Facultad de Ingeniería Industrial – Economía. Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”. 2002.
56. [PICAZZO, VILLEGAS, TAMURA, 2008]. Catherine Picazzo M., Norha M. Villegas M., Gabriel Tamura M. *Análisis descriptivo del proceso de implementación del nivel 2 del modelo CMMI en una empresa regional de desarrollo de software*. S&T Sistemas & Telemática. Universidad ICESI. 2008. Disponible en: <http://biblioteca.universia.net/>

-
- html_bura/ficha/params/title/analisis-descriptivo-proceso-implementacion-nivel-2-modelo-cmmi-empresa-regional/id/38503211.html. Consultado en fecha: 18/04/2012
57. [KANG Y OTROS, 1990]. Kyo C. Kang, Sholom G. Cohen, James A. Hess, William E. Novak, A. Spencer Peterson. *Feature-Oriented Domain Analysis (FODA). Feasibility Study. Technical Report*. Software Engineering Institute. 1990. Disponible en: <http://www.sei.cmu.edu/reports/90tr021.pdf>. Consultado en fecha: 27/08/2012.
58. [BARRAZA, 2007] Arturo Barraza Macías. *Apuntes sobre la metodología de la investigación. ¿Confiabilidad?* Universidad Pedagógica de Durango. 2007. Disponible en: http://dialnet.unirioja.es/servlet/fichero_articulo?codigo=2292993. Consultado en fecha: 07/09/2012.
59. [ISO/IEC, 2001] ISO/IEC. *Software engineering - Product quality. Part 1*. International Standard. 2001. Disponible en: http://webstore.iec.ch/preview/info_isoiec9126-1%7Bed1.0%7Den.pdf. Consultado en fecha: 14/09/2012.
60. [SANCHO, 2002] Amparo Sancho. *Econometría de económicas. Función de producción Cobb-Douglas*. Universidad de Valencia. 2002 Disponible en: <http://www.uv.es/sancho/funcion%20cobb%20douglas.pdf>. Consultado en fecha: 27/09/2012.
61. [SEI, 2012]. Software Engineering Institute (SEI). *Software Product Lines Consulting Product Line Technical Probe*. SEI, 2012. Disponible en: <http://www.sei.cmu.edu/productlines/consulting/techprobe/index.cfm> . Consultado en fecha: 03/11/2012.
62. [PÉREZ, 2011] Ileana Pérez Pupo. *Propuesta de metodología para el diseño e implantación de repositorios de activos de software reutilizables*. Tesis de Maestría. Universidad de las Ciencias Informáticas, La Habana, Cuba. 2011.
63. [ORTIZ, 2012] Gabriel Ortiz. *Foro de Gabriel Ortiz. Tema: Licencias y Precios*. 2012. Disponible en: http://foro.gabrielortiz.com/topic.asp?TOPIC_ID=30600&SearchTerms=Licencias.precios. Consultado en fecha: 04/11/2012

Anexos

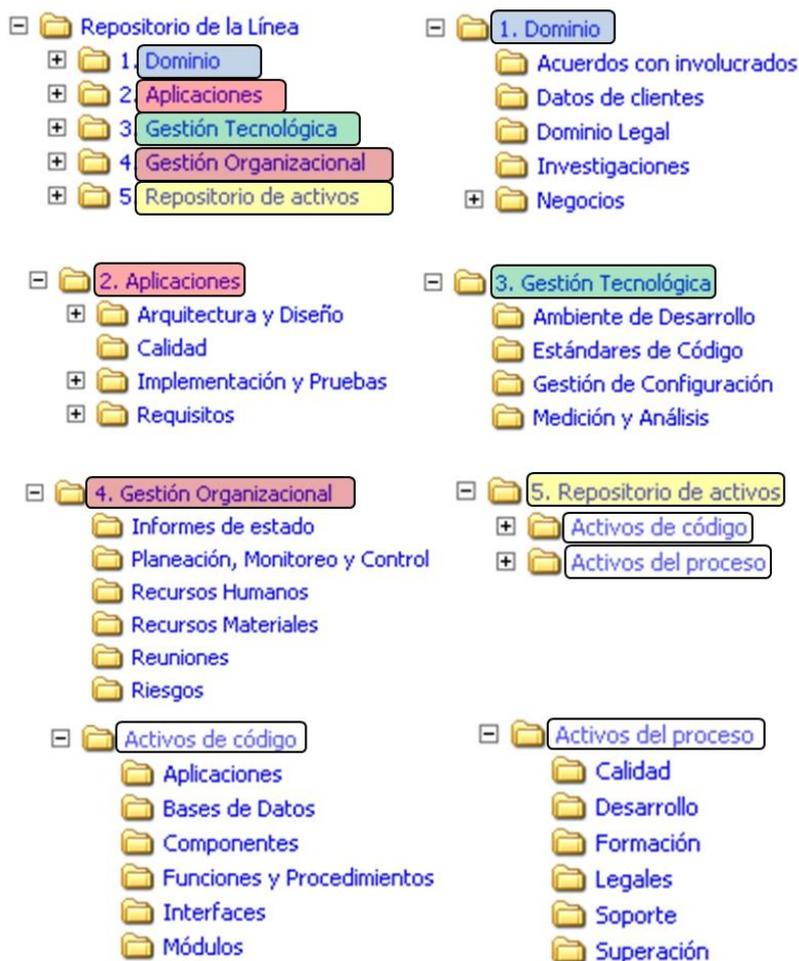
Anexo I Procesos para la gestión de activos

| Actividad | Descripción | Roles | Entradas | Tareas | Salidas | Tecnología |
|-------------------------|--|---|------------------------------------|--|------------------------------|---------------------------|
| Adicionar activo | Se adiciona un activo al repositorio | Jefe del equipo de Integración y componentes | Activo de software | Subir el activo según clasificación | | RapidSVN Subversion |
| | | | Documentación del activo | Subir documentación del activo según clasificación | | |
| Actualización de activo | Se actualiza un activo en el repositorio | Jefe del equipo de Integración y componentes | Activo | Actualizar el activo según clasificación | Acta de aprobación de cambio | RapidSVN Subversion |
| | | | Documentación del activo | Actualizar la documentación del activo | | |
| | | | Solicitud de cambio | Analizar la solicitud de cambio y si procede se aprueba y notifica | | |
| Solicitar activo | Se solicita la utilización de un activo | Desarrollador, Jefe del equipo de Integración y componentes | Solicitud de activo | Se revisa la solicitud del activo | Activo | RapidSVN Subversion Excel |
| | | | Registro de utilización de activos | Se busca el activo y se registra su utilización | | |

Anexo II Procesos de la Entidad de Aplicaciones

| Actividad | Descripción | Roles | Tareas | Entradas | Salidas | Tecnología |
|---|--|--|--|---------------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Solicitar Aplicativo | Se solicita a la línea el desarrollo de un aplicativo SIG | Cliente, Jefe de Proyecto | Realizar la reunión de inicio | Solicitud de desarrollo de aplicativo | Notificación de aceptación | |
| Realizar levantamiento de funcionalidades | Se realiza un levantamiento de las funcionalidades del SIG | Desarrolladores | Realizar procesos asociados al levantamiento de requisitos | | Cronograma | GESPRO |
| | | Jefe del equipo de gestión, Planificador | Confeccionar del cronograma | | | |
| Ejecutar acciones de desarrollo | Se desarrolla el aplicativo SIG | Desarrolladores | Ejecutar tareas de desarrollo según cronograma | Requisitos | Aplicativo SIG | Herramientas de desarrollo |
| Liberar producto | Se libera el producto por calidad | Equipo de Ingeniería | Revisar artefactos | Doc. Técnica Aplicación | Acta de Liberación | Herramientas de pruebas |
| Desplegar producto | Se despliega el producto | Equipo de Integración y componentes | Desplegar el producto | Aplicativo SIG, RNF | Acta de Aceptación | Instaladores y scripts. |

Anexo III Estructura detallada del repositorio de la línea



Anexo IV Módulos principales de la Plataforma GeneSIG

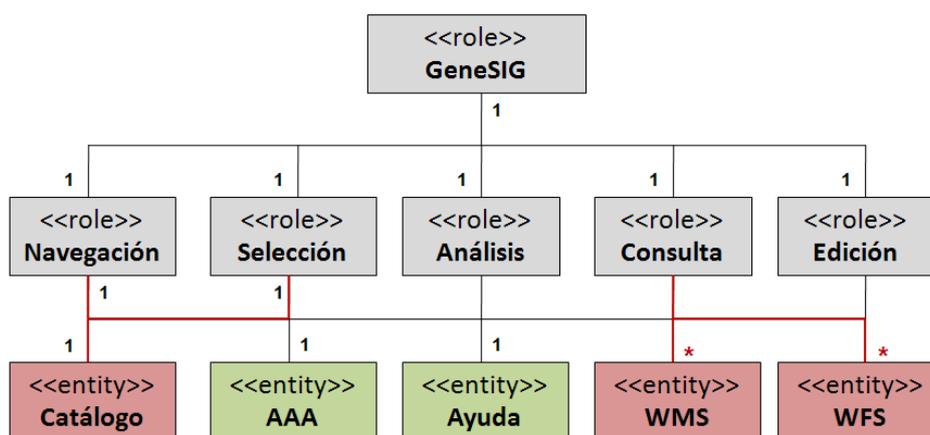
- *Módulo de Navegación*, que se encarga de gestionar toda la interacción del usuario con la interfaz visual donde se encuentra el mapa y garantiza que éste pueda realizar las operaciones de movimiento, acercamiento (Zoom in) y alejamiento (Zoom out) en sus diferentes variantes.
- *Módulo de Selección*, ofrece la posibilidad de selección de objetos geográficos por el usuario dentro de las capas seleccionables definidas y realizar operaciones de consulta o persistencia de selección.
- *Módulo de Consulta Espacial*, ofrece la posibilidad de consultar espacialmente objetos puntuales o los determinados por un área que defina el usuario, rectangular, circular o poligonal irregular.
- *Módulo de Configuración del Mapa*, permite la configuración de la aplicación para el manejo de los datos y el mapa, unidades de medidas, tipo coordenadas, proyección, entre otras variables de trabajo.

- *Módulo de Impresión*, ofrece la posibilidad de impresión del área que defina el usuario en el formato de papel que corresponda.
- *Módulo de Catálogo*, ofrece la posibilidad de configurar la representación del mapa en cuanto a estilos y simbología desde una interfaz amigable, generando un archivo de configuración que es utilizado por un servidor de mapas para su representación, y haciendo persistente esta configuración en una base de datos.

Anexo V Validación de los instrumentos de recolección de datos – Grupo II

| CONFIABILIDAD | | | | | | | | |
|---|-------------|-----------------------------|----------|-------------|-----------|------------|-------------|------------|
| Procedimiento de dos mitades (división de ítems en pares e impares) | | | | | | | | |
| 1° Se calcula el Índice de Correlación (Pearson) | | | | | | | | |
| $r = \frac{n \sum AB - (\sum A) (\sum B)}{\sqrt{[n \sum A^2 - (\sum A)^2][n \sum B^2 - (\sum B)^2]}}$ | | | | | | | | |
| 2° Corrección de r con la ecuación de Spearman - Brown | | | | | | | | |
| $R = \frac{2r}{1+r}$ | | | | | | | | |
| Items | Alto | Medio | Bajo | A | B | AB | A2 | B2 |
| Sujetos | | | | | | | | |
| Auto-descriptividad | 31 | 9 | 6 | 37 | 9 | 333 | 1369 | 81 |
| Capacidad de expansión | 26 | 3 | 4 | 30 | 3 | 90 | 900 | 9 |
| Generalidad | 30 | 8 | 4 | 34 | 8 | 272 | 1156 | 64 |
| Modularidad | 25 | 9 | 3 | 28 | 9 | 252 | 784 | 81 |
| | | | S | 129 | 29 | 947 | 4209 | 235 |
| n | 6 | | | | | | | |
| n (SAB) | 5682 | | | | | | | |
| (SA) (SB) | 3741 | | | | | | | |
| Numerador | 1941 | | | | | | | |
| n (SA ²) | 25254 | n (SA ²) - (SA) | 8613 | | | | | |
| (SA) ² | 16641 | | | | | | | |
| n (SB ²) | 1410 | n (SB ²) - (SB) | 569 | | | | | |
| (SB) ² | 841 | | | | | | | |
| | | Producto | 4900797 | | | | | |
| | | Raíz Cuadra | 2213,77 | | | | | |
| Indice de correlación de Pearson (r) : | | | | 0,88 | | | | |
| Corrección según Spearman-Brown (R) : | | | | 0,93 | | | | |
| 2r / (1+r) | | | | | | | | |
| Entre más cerca de 1 está R, más alto es el grado de confiabilidad | | | | | | | | |

Anexo VI Diagrama de entidades. Método Kobra



Anexo VII Resumen de evaluación de calidad de los expertos

| Datos generales | | | | | Áreas del conocimiento que dominan | | | | |
|-----------------|--------------------------------|------------|--------|------|------------------------------------|--------|------|------|------|
| No | Nombre y Apellidos | Entidad | Título | Exp. | Dom. | Aplic. | Tec. | Org. | CMMI |
| 1 | Manuel Enrique Puebla Martínez | UCI | MsC. | 5 | X | X | X | X | |
| 2 | Yuniel Eliades Proenza Arias | UCI | MsC. | 5 | X | X | X | X | |
| 3 | Romanuel Ramón Antúnez | UCI | MsC. | 4 | X | X | X | X | X |
| 4 | Vladimir Martell Fernández | UCI | Ing. | 4 | X | X | X | X | X |
| 5 | Adrián Gracia Aguila | UCI | Ing. | 3 | X | X | X | X | |
| 6 | David Silva Barreras | UCI | MsC. | 7 | X | X | X | X | |
| 7 | Yudisney Vázquez Ortíz | UCI | MsC. | 4 | | | X | X | X |
| 8 | Orlando Enrique González Cento | ALBET | MsC. | 5 | | | X | X | X |
| 9 | Yeleny Zulueta Véliz | UCI | MsC. | 6 | X | | | X | X |
| 10 | Surayne Torres López | UCI | MsC. | 5 | X | X | X | X | X |
| 11 | Rómulo Jesús del Pino Sanfiel | GIDEA - UH | Dr.C | 15 | X | X | X | X | |
| 12 | José Manuel Aco González | GIDEA - UH | Dr.C | 12 | X | X | X | X | |
| 13 | Darvin Cedeño Rodríguez | GIDEA - UH | MsC. | 6 | X | X | X | | |
| 14 | Yurisel Aleaga Reynosa | GIDEA - UH | MsC. | 6 | X | X | X | | |
| 15 | Hemer Fonseca Illistagui | GIDEA - UH | Ing. | 3 | X | X | X | | |
| 16 | Gladys María Fuentes Marín | GIDEA - UH | Ing. | 4 | X | | | X | |
| 17 | Yuniesky Alberto Ramos La O | GIDEA - UH | MsC. | 7 | X | | X | | |
| 18 | Pedro Enrique Millán Moreira | GIDEA - UH | MsC. | 7 | X | X | X | | |
| 19 | Jesús Valdespino Marrieta | GEOCUBA | Dr.C | 18 | X | X | X | | |