



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA  
SEDE BOGOTÁ

## FACULTAD DE INGENIERÍA

### Vicedecanatura Académica

### POSGRADOS

### PRESENTACIÓN PROPUESTA

TESIS DE DOCTORADO:

TESIS DE MAESTRÍA:

TRABAJO FINAL DE MAESTRÍA:

☒

TRABAJO FINAL DE ESPECIALIZACIÓN

1. PROPONENTE: Joan Sebastian Lopez Riaño CÉDULA: 1020741074
2. PROGRAMA: Maestría de Ingeniería de Sistemas y Computación
3. DIRECTOR PROPUESTO: Felipe Restrepo Calle  
DEPARTAMENTO: Departamento de Ingeniería de Sistemas e Industrial  
CO-DIRECTOR: John Alexis Guerra Gómez  
Profesor Universidad de Los Andes
4. TÍTULO: Técnica para la visualización de la evolución de cambios en el código fuente  
ÁREA: Visualización de Software  
LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Ingeniería de Software
5. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN:  
5.1 MARCO TEÓRICO

#### **Software Evolution o la naturaleza evolutiva del Software**

Desde los inicios de la computación moderna y la producción del software los procesos mediante los cuales se creaban programas informáticos fueron importados desde áreas del conocimiento como la Ingeniería Civil. Iniciando con modelo de desarrollo en cascada propuesto en 1970 y mas adelante pasando por los modelos cíclicos iterativos se llegó a acuñar el termino *Software Evolution* en los años noventa del siglo XX. Finalmente, en el año 2001 fue gracias a la llegada de las *metodologías ágiles de desarrollo* ("Manifiesto por el Desarrollo Ágil de Software," n.d.) que se analizó con rigurosidad académica el fenómeno de la naturaleza evolutiva del software, diferenciando esta característica de las recurrentes tareas de mantenibilidad al final del proceso de desarrollo. En términos prácticos la expresión *Software Evolution* sirve para referirse al conjunto de tareas más comunes en la producción de software relacionadas con el mantenimiento en todas las

etapas de la producción, esto incluye la corrección de errores, inclusión de mejoras y nuevas funcionalidades, optimización y adaptabilidad a nuevas tecnologías.

Dado que las labores de mantenimiento siempre tenían que ser consideradas en cualquier proyecto se llegó a la conclusión de que el software en esencia es de naturaleza evolutiva y no estática como se creía en los inicios de la Ingeniería de Software.

Las implicaciones de esta naturaleza evolutiva justificarían la necesidad de proveer visualizaciones de código que abarquen mas de un instante de tiempo pues los cambios que tuviesen los proyectos también deberían poder ser visualizados en una escala temporal (Mens and Demeyer, 2008). En la actualidad la evolución de un proyecto de software, en especial de código abierto puede ser analizada gracias a sistemas de versionamiento como *Subversion*, *Git*, *Mercurial*, *CVS* (“Subversion Alternatives and Similar Software - AlternativeTo.net,” n.d.) y plataformas colaborativas tales como *GitHub*, *SourceForge*, *RedMine*, entre otras (“GitHub Alternatives and Similar Software - AlternativeTo.net,” n.d.).

### **Minería de repositorios de Software**

La minería de repositorios de software se refiere a las técnicas usualmente aplicadas a repositorios públicos de software tales como *SourceForge*<sup>1</sup> o *GitHub*<sup>2</sup>, que permiten realizar extraer información valiosa de grandes conjuntos de datos como lo pueden ser: el código fuente, la concurrencia de usuarios activos en el proyecto, sistemas de gestión de *bugs*<sup>3</sup> de programa, listas de correo, entre otras. En conclusión la minería de repositorios de software se encarga de realizar tareas de ingeniería a grandes cantidades de datos relacionadas con proyectos de software para extraer información de valor a quienes la consulten (Thomas et al., 2014)

Los repositorios de software pueden ser privados o públicos, siendo estos últimos grandes colecciones de proyectos de software de código abierto los cuales proveen de un hospedaje en la web para todos los artefactos que puede comprender una pieza de software (código fuente, recursos, manuales, traducciones, etc) así como también provee de un sistema de control de versiones que permite llevar un seguimiento a la evolución histórica del proyecto así como para también realizar duplicados del mismo (también conocidos como “*forks*”).

---

1. Sitio web : *sourceforge.net*

2. Sitio web : *github.com*

3. Errores de programa , también conocidos por la expresión *bugs*. El termino se acuñó en el año 1967 al encontrarse presencia de insectos en la computadora Mark II.d

## Métricas del código fuente

Gracias al aporte de (Paulo Roberto Miranda Meirelles, 2013) se podrían generalizar las siguientes métricas del código fuente aplicadas a proyectos de la categoría *FLOSS*:

Métricas de tamaño		
Abreviatura	Descripción (en Inglés)	Descripción (Castellano)
LOC	<i>Lines Of Code</i>	Líneas de código
AMLOC	<i>Average Method Lines Of Code</i>	Promedio de líneas de código por método
-	<i>Total Number of Modules or Classes</i>	Cantidad total de módulos o clases
Métricas de mantenibilidad, flexibilidad y entendimiento de código		
Abreviatura	Descripción (en Inglés)	Descripción (Castellano)
NOA	<i>Number of Attributes</i>	Número de atributos por clase
NOM	<i>Number of Methods</i>	Número de métodos por clase
NPA	<i>Number of Public Attributes</i>	Número de atributos públicos
NPM	<i>Number of Public Methods</i>	Número de métodos públicos
ANPM	<i>Average Number of Parameters per Method</i>	Número promedio de parámetros por método
DIT	<i>Depth of Inheritance Tree</i>	Profundidad del árbol de herencia entre clases
NOC	<i>Number of Children</i>	Número de hijos por clase
RFC	<i>Response for a Class</i>	Respuestas para una clase
ACCM	<i>Average Cyclomatic Complexity per Method</i>	Promedio de complejidad ciclomática por método

Tabla 1. Métricas de tamaño

Métricas de acoplamiento entre clases		
Abreviatura	Descripción (en Inglés)	Descripción (Castellano)
ACC	<i>Afferent Connections per Class</i>	Conexiones aferentes de una clase
CBO	<i>Coupling Between Objects</i>	Acoplamiento entre objetos
COF	<i>Coupling Factor</i>	Factor de acoplamiento
LCOM	<i>Lack of Cohesion in Methods</i>	Ausencia de conexión entre métodos
SC	<i>Structural Complexity</i>	Complejidad Estructural

Tabla 2. Métricas de acoplamiento entre clases

## Visualización de Software

Comprende el área de la ingeniería de software que se encarga de desarrollar metodologías y herramientas visuales para entender mejor el diseño y funcionalidad de una aplicación usando como base el análisis a profundidad de artefactos como el código fuente (principalmente), la información extraída de repositorios de software, entre otros.

Sin embargo una apropiada definición se extendería al relacionar otros aspectos que vayan más allá de la visualización de artefactos de software y el proceso de desarrollo del mismo. En el área de investigación de la visualización de software se encaminan esfuerzos para el desarrollo de propuestas que permitan la visualización de *estructura*, *comportamiento* y la *evolución* de todas las piezas que comprenden un programa (Diehl, 2007).

El proceso según el cual se construyen las visualizaciones podría resumirse como : Adquisición de información, luego análisis de la misma y finalmente el mapeado de lo analizado en una representación visual, la cual puede estar compuesta por una o mas imágenes, incluso hasta animaciones (Diehl, 2007).

### **Aplicaciones de la *visualización de software***

Según investigaciones y encuestas enfocadas en el estudio de los principales beneficios de la implementación de metodologías de visualización en proyectos de software, se encuentran (Stefan-Lucian Voinea, 2007):

- Reducción en los costos de producción del software
- Mejor comprensión del sistema
- Incremento en la productividad
- Gestión de la complejidad
- Asistencia en la búsqueda de errores
- Mejoramiento de la calidad

### **Grafos y metáforas de visualización**

Las visualizaciones podrían clasificarse en dos grandes grupos: Representaciones de grafos y metáforas visuales. Las representaciones de grafos por lo general se componen de representaciones abstractas compuestas de conjuntos de nodos y conexiones entre los mismos, así como también diagramas tipo árbol o las ya clásicas representaciones por medio de figuras geométricas como cilindros, rectángulos, cubos, etc.

Por otra parte las metáforas visuales son todas aquellas representaciones donde se usan conceptos de la realidad tales como edificios, arboles, planetas, plumas, entre otras, con el objetivo de *“transferir propiedades de el dominio específico de la representación gráfica al dominio de la entidad o concepto abstracto que se quiere representar”* (Diehl, 2007).

### **Enfoques de las metodologías de visualización**

Dependiendo del enfoque del objeto o concepto a visualizar se pueden también clasificar las metodologías de como estáticas, dinámicas y de evolución. Las visualizaciones estáticas son aquellas que se enfocan en el análisis y comprensión de aspectos relacionados con la estructura del sistema o pieza de software, lo cual incluye no solo el código fuente sino también toda aquella información relacionada con el proceso de desarrollo o versionamiento. Por otra parte las visualizaciones dinámicas son aquellas que se componen por todas aquellas metodologías que estudian el comportamiento de los flujos de información cuando el programa esta ejecutándose y

que busca abstraer conceptos relacionados con algoritmia, optimización y localización de fallos en entornos de pruebas.

### **Visualización de la evolución del software**

En su disertación doctoral (Stefan-Lucian Voinea, 2007) plantea que la principal aplicación de la visualización de software cuando se enfoca en el área de evolución es la de facilitar las tareas de la fase de mantenimiento de sistemas de software complejos. En general el autor plantea que la principal cuestión de la nascente área de la visualización de la evolución del software es: “*¿Como habilitar a los usuarios para obtener información sobre la evolución de un sistema de software?*”. Gracias al planteamiento de esta cuestión se pueden esbozar los principales problemas o retos donde la aplicación de metodologías de visualización podría contribuir:

- *Escalabilidad*
- *Intuición*
- *Usabilidad*
- *Integración*

Por otra parte (Diehl, 2007) plantea cinco campos de aplicación de metodologías de visualización enfocadas en el análisis de la evolución de sistemas de software:

- *Visualización de cambios en métricas relacionadas con el software*
- *Visualización de archivos o artefactos*
- *Visualización del cambio estructural*
- *Visualización del acoplamiento evolutivo*
- *Minería de datos visuales*

## **5.2 ESTADO DEL ARTE**

### **Objeto de estudio**

El presente estudio tiene como objetivo indagar sobre las principales tendencias de la actualidad respecto a la producción académica en el área de visualización de software, pero mas específico en el campo de ***metodologías (con sus correspondientes implementaciones) para la generación de visualizaciones por medio de metáforas enfocadas en el análisis de la evolución del software y que a su vez tengan un componente de interacción con el usuario final.***

Para hacerse a una idea del comportamiento de la comunidad académica y de las investigaciones que permitan acotar el campo de estudio es necesario primero establecer las principales

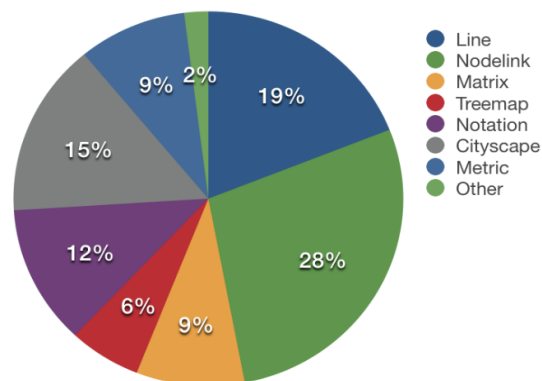
características de las propuestas en la línea de visualización de software en su conjunto. La mejor forma de acercarse al entendimiento de este fenómeno es a través del estudio de revisiones sistemáticas de la literatura desde el año 2015 hasta el año 2017. Finalmente después de acotar los trabajos de investigación mas relacionados con el área de estudio se expondrán algunos de los mas relevantes con el objetivo de llegar a un conjunto de conclusiones que permitan delimitar la definición del problema y la justificación de la propuesta.

### Producción y diversidad de representaciones visuales

En su investigación (Xu et al., 2015) buscó encontrar relaciones cuantificando la producción académica del momento partiendo primero de la idea de clasificar las propuestas encontradas (un total de 81) según la tarea que abordaban así como el tipo de representación visual implementada. Respecto a las tareas o tipo de análisis que soportaban las investigaciones estudiadas los autores implementaron las tres categorías definidas por (Diehl, 2007):

- Análisis estático: 54 estudios
- Análisis dinámico: 15 estudios
- Evolución: 12 estudios

De igual forma el mencionado estudio busco cuantificar y clasificar los distintos tipos de representaciones visuales implementadas. Dicho análisis se puede resumir en el siguiente gráfico:



*Fig 1. Cantidad de estudios por tipo de representación visual (metáforas)*

Dentro de las principales conclusiones de dicha investigación se encuentran:

- La mayoría de las metáforas implementadas son de tipo abstracto (diagramas, grafos) por sobre las metáforas análogas a conceptos de la realidad (ciudades, arboles, etc).
- La mayoría de estudios se enfocan en la generación de nuevas propuestas de representación visual por sobre la validación de las ya existentes.
- La mayoría de estudios enfocados en la evolución se concentran en el análisis de los cambios de distintas métricas del código fuente.

### **Técnicas de visualización según el enfoque**

En (Salameh et al., 2016) se evidencia un trabajo por llevar a cabo una revisión sistemática de la literatura que permitiera dar cuenta de una clasificación actual para los trabajos de investigación en herramientas aplicadas a la visualización de la evolución del software.

La propuesta establece la siguiente clasificación de los tipos de técnicas de visualización implementadas y los porcentajes de la distribución de la cantidad de los mismos:

- Basada en grafos - 45%
- Basada en notaciones - 3%
- Basada en matrices - 29%
- Basada en metáforas - 7%
- Otras - 16%

Para una clasificación que dividiera los trabajos encontrados respecto a su objetivo o concepto a representar los autores proponen las siguientes categorías:

- *Visualización enfocada en los cambios sobre artefactos*
- *Visualización enfocada en los cambios sobre métricas*
- *Visualización enfocada en los cambios sobre características*
- *Visualización enfocada en los cambios sobre la arquitectura*

### **Herramientas que soportan la visualización de software**

En (Cruz et al., 2016) se llevó a cabo una revisión sistemática de la literatura donde a partir del análisis de 52 investigaciones se pudieron identificar 28 técnicas de visualización así como 33 herramientas o implementaciones de dichas técnicas. Los resultados del estudio, fueron clasificados según la técnica, el enfoque (estructura, jerarquía, artefactos, dependencia, evolución y métricas) , el tipo de análisis (estático o dinámico) , el formato (grafos abstractos o metáforas) entre otras características y si existía o no una herramienta de software concreta que implementara dicha técnica o metodología de visualización. El siguiente cuadro resume la clasificación descrita:

	Técnica	Dimensión	Análisis	Formato	Herramienta
Estructura	3D-HEB	3D	Estática	Grafos/Metáfora de Ciudad	-
	BoxTree	3D	Estática	Cajas / Árboles	Bloom
	City	3D	Estática	Metáfora de Ciudad	CodeCity UnifiedCity VizzAspect
	Nested View	2D	Estática	Rectángulos anidados	Creole
	Solar System	3D	Estática	Metáfora de Sistema Solar	-
	Spring	3D	Estática	Grafos	Creole
	Sunburst	3D	Estática	Grafos Discos anidados	-
	Tree	2D	Estática	Bosques / Árboles	Creole CodeForest CodeTrees
	TreeMap	2D	Estática	Rectángulos anidados	Shrimp Concept Creole SourceMiner CRISTA X-Ray
	Verso	3D	Estática	Cajas / Cilindros	-
	Técnica	Dimensión	Análisis	Formato	Herramienta
Jerarquía	Hiperbolic Tree	2D	Estática	Árbol radial	Concept
	Nested View	2D	Estática	Rectángulos anidados	Creole
	Polymetric Views	2D	Estática	Rectángulos en formato de árbol	CodeCrawler SourceMiner X-Ray VizzAspect CodeTrees JCHVT
	Radial Tree	2D	Estática	Árbol radial	SA4J
Código fuente	Animation System	3D	Dinámica	Diversas Formas	GASP ReqViz3D
	File Maps	2D	Dinámica	Columnas paralelas	Bloom
	Layouts	3D/2D	Dinámica	Grafos	Bloom
	Point Maps	3D	Dinámica	Puntos de dispersión	Bloom
	Polycilinders	3D	Estática	Cilindros	SeeIT
	Spirais	3D	Dinámica	Espiral	Bloom
Dependencias	Package Blueprint	2D	Estática	Matriz	-
	Hypergrafos	2D	Estática	Grafos	SEXTANT TraceCrawler Rigi
	Pyramid	2D	Estática	Tablas dispuestas como pirámide	SA4J
	Semantic Dependency Matrix	2D	Estática	Matriz	Softwareonaut
Evolución	Edge Evolution Film Strip	2D	Estática	Grafos	Softwareonaut
	RelVis	2D	Estática	Grafos/Diagramas Kiviat	-
	Timeline	3D	Estática	Metáfora de Cidade	-
Métricas	Graphs	2D	Dinámica	Gráficos	Evolve
Detalles	Exploded View	3D	Estática	Diversas Formas	-

Fig.3 Clasificación de técnicas y herramientas para la visualización de software



De los resultados encontrados en el estudio de (Cruz et al., 2016) se puede identificar que las representaciones abstractas son mas implementadas que las metáforas y de como en el enfoque evolutivo no se encuentran muchas herramientas concretas que signifiquen una puesta en práctica de las técnicas mencionadas.

### **Implementación de metáforas en la visualización**

Gracias a los aportes de las revisiones sistemáticas de la literatura mencionados anteriormente se puede evidenciar el uso y evolución en el tiempo de las distintas metáforas visuales propuestas. Se pueden resumir las propuestas de metáforas implementadas en la siguiente tabla:

Metáfora	Trabajos relacionados
Ciudades	(Balogh et al., 2016, 2015; Caserta et al., 2011; Florian Fittkau et al., 2015; Steinbrückner and Lewerentz, 2010; Wettel and Lanza, 2008, 2007)
Casas	(Boccuzzo and Gall, 2007)
Bosques	(Erra et al., 2012)
Plumas	(Beck, 2014)
Sistemas solares	(Graham et al., 2004)
Mapas cartográficos	(Hawes et al., 2015; Kuhn et al., 2010; Steinberg and Ziv, 1992)
Dispersión de ondas	(Magnavita, 2016)
Mapas de calor	(Benomar et al., 2013)
Lineas del metro	(Martínez et al., 2008a)
Paisajes	(Balzer et al., 2004; Martínez et al., 2008b; Zirkelbach, 2016)
Estructuras moleculares	(Malloy and Power, 2005)

Si bien el campo de las metáforas puede ser tan amplio como los esfuerzos de la comunidad académica se lo permitan, existen metáforas muy versátiles que pueden ajustarse a distintos enfoques utilizando la misma analogía. Tal es el caso de la metáfora de las Ciudades. En estos casos se encuentran implementaciones del modelo de ciudades aplicado a tareas de comprensión de software (Zirkelbach, 2016), análisis de métricas de código fuente (Balogh et al., 2016), evolución (Lanza et al., 2009), arquitectura (Kobayashi et al., 2013), acoplamiento (Caserta et al., 2011), revisiones críticas de la metáfora en si misma (Steinbrückner and Lewerentz, 2010) así como distintas aproximaciones en términos de interactividad como el uso de la realidad virtual para navegar por la visualización (F. Fittkau et al., 2015).

También podría considerarse algunas metáforas como re-interpretaciones de otras analogías, tal es el caso de la implementación de bosques para la representación de características del software reemplazando la metáfora del edificio en una ciudad por la de un árbol en un bosque. Por otra parte existen proyectos artísticos, por fuera del dominio de la ingeniería de software, que buscan “dar un rostro” a los artefactos de código fuente, siendo los mas relevantes Malwarez (Dragulescu, 2014), que implementa una metáfora de organismos unicelulares y Codeology (Leyden, 2016) que usa la metáfora de insectos sobre proyectos hospedados en Github.

### Visualizaciones aplicadas a la evolución del Software

Dentro de los trabajos recientes mas relevantes relacionados con el tema de evolución del software, se encuentra *Evowave* (Magnavita, 2016). Dicho proyecto resalta por la versatilidad para representar distintos conjuntos de información relacionados con el proceso de desarrollo y evolución de un proyecto de software, involucrando distintas métricas que van desde el análisis de cambios de artefactos hasta los autores que se han involucrado en el desarrollo. La metáfora de las ondas es análoga al fenómeno de la dispersión de las mismas a lo largo del tiempo de forma circular. En la siguiente figura se puede ver la participación de varios autores siendo el anillo mas interior el tiempo inicial y el anillo exterior el tiempo final del análisis:

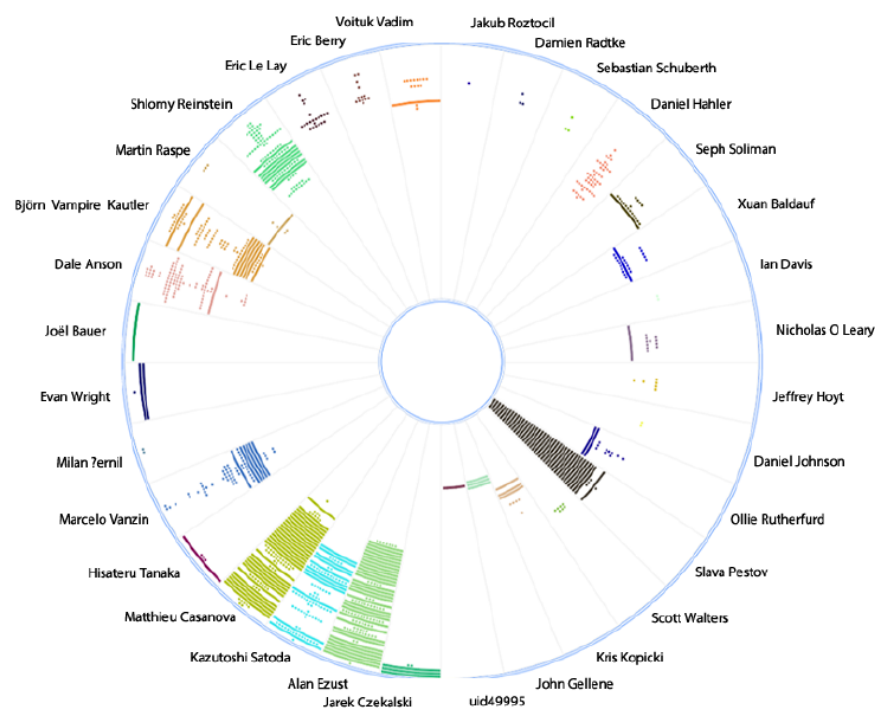


Fig 4. Visualización generada por Evowave para representar la cantidad de trabajo de cada autor en un proyecto de software a lo largo del tiempo.

Por otra parte el proyecto *Evospaces* (Alam and Dugerdil, 2007; Lanza et al., 2009) es una herramienta desarrollada por el mismo equipo de investigadores que implementaron las metodologías de *CodeCity* (Wettel and Lanza, 2008) y *CocoViz* (Boccuzzo and Gall, 2007), unificando ambos conceptos en una herramienta que sintetiza las características de sus predecesores pero que a su vez implementa categorías nuevas como lo es el análisis dinámico de las trazas de ejecución.

Respecto al análisis de la evolución en el tiempo y de la participación de autores en los procesos de desarrollos los mas fuertes referentes en el campo son el proyecto de animación basada en los sistemas de versionamiento *Gource* ("Gource - a software version control visualization tool," n.d.) y en el estudio de las interacciones y la historia de los *commits* de un proyecto se encuentra *Code\_swarm* (Ogawa and Ma, 2009).

### **La interactividad en las técnicas de visualizaciones implementadas**

Dentro de el conjunto de herramientas que implementan técnicas de visualización, solo algunas de ellas tienen un componente interactivo, es decir, que el usuario final puede manipular la visualización resultante, bien sea modificando su conjunto de origen de datos, los enfoques de proximidad o simplemente navegando por la visualización. Dentro de los proyectos que mas resaltan por su interactividad encontramos:

(*Shah and Guyer, 2016*) –Una herramienta para la visualización del grafo de llamadas entre métodos. Desarrollado en la plataforma *Processing* la cual permite implementar una interfaz de usuario interactiva.

(*Schneider et al., 2016*) – *CuboidMatrix*, implementa una visualización dentro de un cubo, donde uno de sus ejes representa el tiempo, permitiendo de esta manera navegar por un conjunto de datos desde la interfaz de usuario.

(*Merino et al., 2016*) – *Metavis* , implementa la metáfora de nubes, o *tags* para navegar por conceptos relevantes marcados en un conjunto de datos.

(*Hawes et al., 2015*) – *CodeSurveyor*, su interactividad está dada por la navegación que se puede tener a lo largo de la visualización, la cual implementa la metáfora de un mapa cartográfico permitiendo realizar acercamientos a distintos niveles de detalle.

(Benomar et al., 2013) – A través de una visualización que mezcla la metáfora de la ciudad con la de mapas de calor, este trabajo implementa elementos de navegación a lo largo de un entorno 3D.

(Erra et al., 2012) –Al igual que el trabajo con mapas de calor, esta propuesta implementa la metáfora del bosque y árboles donde el usuario puede navegar por el escenario 3D generado por el proceso de visualización.

## Conclusiones del estado del arte

1. Es notable que la mayoría de propuestas se decantan por el uso de representaciones gráficas abstractas (nodos, grafos, diagramas) por sobre la implementación de metáforas.
2. Son escasas las propuestas que implementan visualizaciones enfocadas a tareas de la evolución del software con componentes interactivos enfocados en el usuario final.
3. No son muchas las propuestas dentro de la categoría de estudio de la evolución del software que implementen metáforas figurativas. Si bien existen muchas metodologías y trabajos que se enmarcan dentro del área de visualización de software, no todas las propuestas implementan herramientas concretas que permitan poner en práctica las mismas.

## 6. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA:

Dependiendo del enfoque de los trabajos de investigación publicados, cada una de las metáforas encontradas en la literatura tiene aplicaciones distintas, pero muchas de las mismas tienen en común el estudio de artefactos de software en momentos específicos del tiempo, pues no es de su interés el análisis de la evolución y los cambios que pudieron haber afectado al código y en consecuencia a la visualización resultante (Salameh et al., 2016).

En ingeniería de *Software* se entiende el concepto metáfora de visualización como *“aquella analogía que subyace a una representación gráfica de una entidad o concepto abstracto con el objetivo de transferir propiedades del dominio específico de la representación gráfica al dominio de la entidad abstracta o concepto que se quiere comprender”* (Diehl, 2007). Existen diversos ejemplos de metáforas de visualización aplicadas al código fuente, de las cuales algunas ya se han establecido como clásicos dentro del campo de estudio, como lo son las metáforas de ciudades (Wettel and Lanza, 2007), hasta otras propuestas más experimentales o artísticas como las de representaciones con plumas de aves (Beck, 2014) o sistemas solares (Graham et al., 2004).

En trabajos recientes se puede evidenciar que no son muchas las propuestas de visualizaciones enfocadas a representar características relacionadas con la evolución del software y en igual medida también son escasas las implementaciones concretas de dichas propuestas (Cruz et al., 2016). Al contemplarse que se llevará a cabo una implementación de la técnica de visualización, es necesario tener en cuenta aspectos de la experiencia de usuario al momento de navegar por los conjuntos de información que proveerá la visualización resultante, pues para mejorar la asimilación y comprensión de los conceptos representados por medio de metáforas el diseño de componentes interactivos es primordial (Cybulski et al., 2015)

Se justifican entonces propuestas de metodologías y sus respectivas implementaciones que generen visualizaciones que vayan más allá de una “fotografía” en un instante del tiempo de cada artefacto analizado, expandidas con una funcionalidad que permita ver distintas características relacionadas con la evolución en el tiempo que ha tenido el código fuente y que a su vez tengan un componente interactivo. La aplicación propuesta buscar relacionar distintas áreas de la ingeniería de *Software*, como lo son la visualización de métricas de código fuente y la minería de repositorios abiertos con el propósito de permitir al usuario obtener información en tiempo real de los siguientes tópicos (obtenidos a partir de las visualizaciones):

- Visualización de distintos conjuntos de características estáticas del código fuente.
- Visualización del crecimiento y evolución de los distintos artefactos que componen una aplicación.

## 7. OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

### **Objetivo general:**

Diseñar y evaluar una técnica que permita visualizar la evolución en el tiempo del código fuente de una aplicación implementando una representación visual de las características de cada artefacto de *software* analizado.

### **Objetivos específicos:**

1. Investigar el estado del arte de las técnicas de visualización de *Software* que estén enfocadas en la representación de características relacionadas con la evolución del código fuente.
2. Diseñar una técnica de visualización de un conjunto de evolución de código fuente.
3. Implementar una validación de usabilidad preliminar de la técnica diseñada por medio de prototipos de baja fidelidad.
4. Desarrollar una aplicación de software que implemente la técnica de visualización propuesta y que tomando como entrada un conjunto de artefactos de código fuente produzca una visualización que represente distintas características a analizar de dichos elementos.
5. Validar la técnica de visualización propuesta mediante su aplicación en proyectos de código abierto y un estudio de usabilidad preliminar.

## 8. METODOLOGÍA:

### **Estrategia General**

Para la efectiva implementación del proyecto se optará por una metodología exploratoria, es decir, que se partirá de una comprensión de la actualidad en el tema de visualización de Software, la implementación de representaciones visuales y como se ha tratado el aspecto de la naturaleza evolutiva del código fuente.

Con el propósito de llevar a cabo lo definido en el objetivo principal (diseñar una técnica para la visualización de la evolución del código fuente) se definirán un conjunto de posibles propuestas de representaciones visuales las cuales serán validadas mediante la construcción de una aplicación de software por cada una. Finalmente se espera aplicar la metodología propuesta a algunos casos de estudio y a partir de los productos obtenidos poder elaborar y exponer las conclusiones del trabajo realizado.

Los cuatro objetivos específicos se repartirán en cuatro fases de evolución del proyecto, las cuales se pueden resumir como: Levantamiento del estado del arte en el tema de visualizaciones enfocadas en la evolución del software, definición de la metáfora visual y sus características, implementación de la metodología y finalmente validación de la misma mediante algunos casos de estudio.

### **Fases del proyecto**

#### **Fase I: Construcción del estado del arte**

Representa el esfuerzo inicial por comprender el estado del arte en el tema de visualizaciones de software, la evolución del mismo y la implementación de representaciones visuales para la representación de las distintas características a analizar, clasificándolas según su relevancia y/o utilidad.

#### **Fase II: Diseño de la técnica de visualización de la evolución de código fuente**

Contempla la exploración de varias propuestas para la representación visual de la técnica a diseñar, escogiendo aquellas que cuenten con las bases más sólidas que justifiquen su usabilidad y pertinencia. De igual manera se definirá el conjunto de características a extraer tanto de los artefactos de código fuente como de los repositorios de versionamiento de cada proyecto.

### Fase III: Implementación de la técnica

Definida la representación visual y las características del código fuente que se desea representar, se procederá a la implementación de dicha técnica mediante la construcción de una aplicación que tenga como objetivo generar las visualizaciones sobre los artefactos de código de un proyecto open source como caso de estudio. Para la realización del prototipo se utilizará la metodología de desarrollo *SCRUM*<sup>4</sup> simplificada, la cual, aplicada a un equipo unipersonal con sprints o iteraciones semanales permitirá agilizar la generación cada semana de nuevas versiones que se acerquen más a la visualización deseado.

### Fase IV: Validación de la técnica

En esta fase final se planea realizar un análisis exploratorio que tenga como objetivo sustentar la justificación de la metáfora visual seleccionada al estudiar distintas visualizaciones generadas por medio de la técnica propuesta aplicada a algunos artefactos de código fuentes que serán tratados como casos de estudio.

#### 9. ACTIVIDADES A DESARROLLAR:

Fase I: Construcción del estado del arte	
OBJETIVO	<i>Investigar el estado del arte de las técnicas de visualización de Software que estén enfocadas en la representación de características relacionadas con la evolución del código fuente</i>
ACTIVIDADES	A1. Definir un marco teórico mínimo para las temáticas de visualización de software. A2. Realizar un filtrado inicial de referencias recientes en el campo de la visualización de software. A3. Realizar un segundo filtrado de referencias para seleccionar los proyectos relacionados con representaciones visuales del código fuente. A4. Elaborar las conclusiones del estado del arte.
PRODUCTOS	P1. Reporte técnico del marco teórico y estado del arte del proyecto

Fase II: Definición de la metáfora visual	
OBJETIVOS	<i>Diseñar una técnica de visualización de un conjunto de evolución de código fuente. Implementar una validación de usabilidad preliminar de la técnica diseñada por medio</i>

<sup>4</sup> “...Es un modelo de referencia que definen un conjunto de prácticas y roles, y que pueden tomarse como punto de partida para definir el proceso de desarrollo que se ejecutará durante un proyecto” (Schwaber and Beedle, 2001).

	<i>de prototipos de baja fidelidad.</i>
ACTIVIDADES	<p>A5. Escoger y clasificar un conjunto inicial de características relacionadas con la evolución del <i>software</i> de acuerdo a las conclusiones del estado del arte.</p> <p>A6. Proponer y desarrollar varias propuestas de representaciones visuales para la representación de las características anteriormente seleccionadas.</p> <p>A7. Diseñar un experimento de usabilidad de la representación visual generada usando prototipos de baja fidelidad.</p>
PRODUCTOS	<p>P2. Reporte técnico de la descripción de la representación visual a implementar y de las otras posibles propuestas descartadas.</p> <p>P3. Reporte técnico de la propuesta de la metáfora principal, utilidad y aplicaciones.</p>

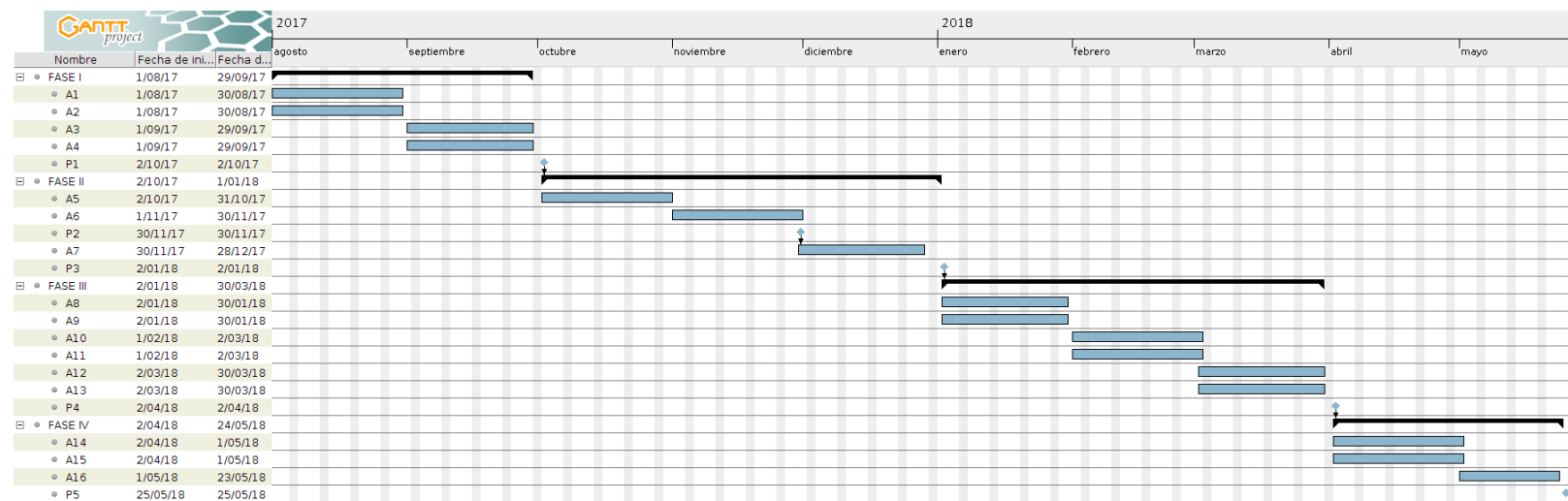
<b>Fase III: Implementación de la técnica</b>	
OBJETIVO	<i>Desarrollar una aplicación de software que implemente la técnica de visualización propuesta y que tomando como entrada un conjunto de artefactos de código fuente produzca una visualización que represente distintas características a analizar de dichos elementos.</i>
ACTIVIDADES	<p>A8. Documentar los casos de uso y diagramas de flujo de la aplicación a desarrollar.</p> <p>A9. Escoger la tecnología a implementar en la propuesta de visualización y conexiones con los repositorios de código fuente.</p> <p>A10. Diseñar la arquitectura y el modelado de información para la generación de las visualizaciones.</p> <p>A11. Implementar el diseño (desarrollo de la aplicación).</p> <p>A12. Realización de iteraciones semanales que generen productos mínimos viables para la generación de las visualizaciones deseadas.</p> <p>A13. Realización de controles semanales de lo que se ha hecho y lo que no, por cada versión del prototipo liberada.</p>
PRODUCTOS	P4. Prototipo de software por cada iteración realizada.

<b>Fase IV: Validación de la metodología</b>	
OBJETIVO	<i>Validar la técnica de visualización propuesta mediante su aplicación en proyectos de código abierto y un estudio de usabilidad preliminar.</i>
ACTIVIDADES	A14. Definir un grupo delimitado artefactos de código fuente que pertenezcan a un mismo proyecto del tipo <i>open source</i> y generar visualizaciones por cada tarea



	<p>propuesta.</p> <p>A15. Llevar a cabo un estudio de usabilidad preliminar con un grupo focal para extraer retroalimentaciones iniciales de las visualizaciones generadas.</p> <p>A16. Generar un listado de conclusiones respecto al estudio de usabilidad.</p>
PRODUCTOS	<p>P5. Reporte técnico con la descripción del proceso de validación y de conclusiones respecto a posibles usos y aplicaciones de la técnica propuesta.</p>

## 10. CRONOGRAMA:



Fecha inicio: 1/08/2017 – Fecha finalización: 25/05/2018

## 11. BIBLIOGRAFÍA BÁSICA:

1. Alam, S., Dugerdil, P., 2007. EvoSpaces Visualization Tool: Exploring Software Architecture in 3D, in: 14th Working Conference on Reverse Engineering (WCRE 2007). Presented at the 14th Working Conference on Reverse Engineering (WCRE 2007), pp. 269–270.  
doi:10.1109/WCRE.2007.26
2. Balogh, G., Gergely, T., Beszédes, Á., Gyimóthy, T., 2016. Using the City Metaphor for Visualizing Test-Related Metrics, in: 2016 IEEE 23rd International Conference on Software Analysis, Evolution, and Reengineering (SANER). Presented at the 2016 IEEE 23rd International Conference on Software Analysis, Evolution, and Reengineering (SANER), pp. 17–20. doi:10.1109/SANER.2016.48
3. Balogh, G., Szabolics, A., Beszédes, Á., 2015. CodeMetropolis: Eclipse over the city of source code, in: 2015 IEEE 15th International Working Conference on Source Code Analysis and Manipulation (SCAM). Presented at the 2015 IEEE 15th International Working Conference on

Source Code Analysis and Manipulation (SCAM), pp. 271–276.

doi:10.1109/SCAM.2015.7335425

4. Balzer, M., Noack, A., Deussen, O., Lewerentz, C., 2004. Software Landscapes: Visualizing the Structure of Large Software Systems. Presented at the IEEE TCVG.  
doi:10.2312/VisSym/VisSym04/261-266
5. Beck, F., 2014. Software Feathers figurative visualization of software metrics, in: 2014 International Conference on Information Visualization Theory and Applications (IVAPP). Presented at the 2014 International Conference on Information Visualization Theory and Applications (IVAPP), pp. 5–16.
6. Benomar, O., Sahraoui, H., Poulin, P., 2013. Visualizing software dynamicities with heat maps, in: 2013 First IEEE Working Conference on Software Visualization (VISOFT). Presented at the 2013 First IEEE Working Conference on Software Visualization (VISOFT), pp. 1–10.  
doi:10.1109/VISOFT.2013.6650524
7. Boccuzzo, S., Gall, H., 2007. CocoViz: Towards Cognitive Software Visualizations, in: 2007 4th IEEE International Workshop on Visualizing Software for Understanding and Analysis. Presented at the 2007 4th IEEE International Workshop on Visualizing Software for Understanding and Analysis, pp. 72–79. doi:10.1109/VISSOF.2007.4290703
8. Caserta, P., Zendra, O., Bodénès, D., 2011. 3D Hierarchical Edge bundles to visualize relations in a software city metaphor, in: 2011 6th International Workshop on Visualizing Software for Understanding and Analysis (VISOFT). Presented at the 2011 6th International Workshop on Visualizing Software for Understanding and Analysis (VISOFT), pp. 1–8.  
doi:10.1109/VISSOF.2011.6069451
9. Cruz, A., Bastos, C., Afonso, P., Costa, H., 2016. Software visualization tools and techniques: A systematic review of the literature, in: 2016 35th International Conference of the Chilean Computer Science Society (SCCC). Presented at the 2016 35th International Conference of the Chilean Computer Science Society (SCCC), pp. 1–12. doi:10.1109/SCCC.2016.7836048
10. Cybulski, J.L., Keller, S., Saundage, D., 2015. Interactive Exploration of Data with Visual Metaphors. *Int. J. Softw. Eng. Knowl. Eng.* 25, 231–252. doi:10.1142/S0218194015400082
11. Diehl, S., 2007. Software Visualization: Visualizing the Structure, Behaviour, and Evolution of Software. Springer Science & Business Media.
12. Dragulescu, A., 2014. From the Malwarez and Ekisto series. *diacritics* 42, 110–117.  
doi:10.1353/dia.2014.0005

13. Erra, U., Scanniello, G., Capece, N., 2012. Visualizing the Evolution of Software Systems Using the Forest Metaphor, in: 2012 16th International Conference on Information Visualisation. Presented at the 2012 16th International Conference on Information Visualisation, pp. 87–92. doi:10.1109/IV.2012.25
14. Fittkau, F., Krause, A., Hasselbring, W., 2015. Software landscape and application visualization for system comprehension with ExplorViz. Inf. Softw. Technol. doi:10.1016/j.infsof.2016.07.004
15. Fittkau, F., Krause, A., Hasselbring, W., 2015. Exploring software cities in virtual reality, in: 2015 IEEE 3rd Working Conference on Software Visualization (VISOFT). Presented at the 2015 IEEE 3rd Working Conference on Software Visualization (VISOFT), pp. 130–134. doi:10.1109/VISOFT.2015.7332423
16. GitHub Alternatives and Similar Software - AlternativeTo.net [WWW Document], n.d. . AlternativeTo. URL <http://alternativeto.net/software/github/> (accessed 9.22.16).
17. Gource - a software version control visualization tool [WWW Document], n.d. URL <http://gource.io/> (accessed 8.26.16).
18. Graham, H., Yang, H.Y., Berrigan, R., 2004. A Solar System Metaphor for 3D Visualisation of Object Oriented Software Metrics, in: Proceedings of the 2004 Australasian Symposium on Information Visualisation - Volume 35, APVis '04. Australian Computer Society, Inc., Darlinghurst, Australia, Australia, pp. 53–59.
19. Hawes, N., Marshall, S., Anslow, C., 2015. CodeSurveyor: Mapping large-scale software to aid in code comprehension, in: 2015 IEEE 3rd Working Conference on Software Visualization (VISOFT). Presented at the 2015 IEEE 3rd Working Conference on Software Visualization (VISOFT), pp. 96–105. doi:10.1109/VISOFT.2015.7332419
20. Kobayashi, K., Kamimura, M., Yano, K., Kato, K., Matsuo, A., 2013. SARF map: Visualizing software architecture from feature and layer viewpoints, in: 2013 21st International Conference on Program Comprehension (ICPC). Presented at the 2013 21st International Conference on Program Comprehension (ICPC), pp. 43–52. doi:10.1109/ICPC.2013.6613832
21. Kuhn, A., Erni, D., Loretan, P., Nierstrasz, O., 2010. Software Cartography: thematic software visualization with consistent layout. J. Softw. Maint. Evol. Res. Pract. 22, 191–210. doi:10.1002/smr.414
22. Lanza, M., Gall, H., Dugerdil, P., 2009. EvoSpaces: Multi-dimensional Navigation Spaces for Software Evolution, in: 2009 13th European Conference on Software Maintenance and Reengineering. Presented at the 2009 13th European Conference on Software Maintenance and Reengineering, pp. 293–296. doi:10.1109/CSMR.2009.14

23. Leyden, K., 2016. Turning Code into Gold with Codeology [WWW Document]. Strongly Typed. URL <http://www.braintreepayments.com/blog/turning-code-into-gold-with-codeology/> (accessed 9.19.16).
24. Magnavita, R.C., 2016. Evowave: A Multiple Domain Metaphor for Software Evolution Visualization.
25. Malloy, B.A., Power, J.F., 2005. Using a molecular metaphor to facilitate comprehension of 3D object diagrams, in: 2005 IEEE Symposium on Visual Languages and Human-Centric Computing (VL/HCC'05). Presented at the 2005 IEEE Symposium on Visual Languages and Human-Centric Computing (VL/HCC'05), pp. 233–240. doi:10.1109/VLHCC.2005.66
26. Manifiesto por el Desarrollo Ágil de Software [WWW Document], n.d. URL <http://agilemanifesto.org/iso/es/manifesto.html> (accessed 11.13.16).
27. Martínez, A.A., Cosín, J.J.D., García, C.P., 2008a. A Metro Map Metaphor for Visualization of Software Projects, in: Proceedings of the 4th ACM Symposium on Software Visualization, SoftVis '08. ACM, New York, NY, USA, pp. 199–200. doi:10.1145/1409720.1409754
28. Martínez, A.A., Cosín, J.J.D., García, C.P., 2008b. A Landscape Metaphor for Visualization of Software Projects, in: Proceedings of the 4th ACM Symposium on Software Visualization, SoftVis '08. ACM, New York, NY, USA, pp. 197–198. doi:10.1145/1409720.1409753
29. Mens, T., Demeyer, S., 2008. Software Evolution. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg.
30. Merino, L., Ghafari, M., Nierstrasz, O., Bergel, A., Kubelka, J., 2016. MetaVis: Exploring Actionable Visualization, in: 2016 IEEE Working Conference on Software Visualization (VISSOFT). Presented at the 2016 IEEE Working Conference on Software Visualization (VISSOFT), pp. 151–155. doi:10.1109/VISSOFT.2016.19
31. Ogawa, M., Ma, K.L., 2009. code\_swarm: A Design Study in Organic Software Visualization. IEEE Trans. Vis. Comput. Graph. 15, 1097–1104. doi:10.1109/TVCG.2009.123
32. Paulo Roberto Miranda Meirelles, 2013. Monitoramento de métricas de código-fonte em projetos de software livre.
33. Salameh, H.B., Ahmad, A., Aljammal, A., 2016. Software evolution visualization techniques and methods - a systematic review, in: 2016 7th International Conference on Computer Science and Information Technology (CSIT). Presented at the 2016 7th International Conference on Computer Science and Information Technology (CSIT), pp. 1–6. doi:10.1109/CSIT.2016.7549475

34. Schneider, T., Tymchuk, Y., Salgado, R., Bergel, A., 2016. CuboidMatrix: Exploring Dynamic Structural Connections in Software Components Using Space-Time Cube, in: 2016 IEEE Working Conference on Software Visualization (VISSOFT). Presented at the 2016 IEEE Working Conference on Software Visualization (VISSOFT), pp. 116–125.  
doi:10.1109/VISSOFT.2016.17
35. Shah, M.D., Guyer, S.Z., 2016. An Interactive Microarray Call-Graph Visualization, in: 2016 IEEE Working Conference on Software Visualization (VISSOFT). Presented at the 2016 IEEE Working Conference on Software Visualization (VISSOFT), pp. 86–90.  
doi:10.1109/VISSOFT.2016.14
36. Stefan-Lucian Voinea, 2007. Software evolution visualization. Technische Universiteit Eindhoven, Eindhoven.
37. Steinberg, D., Ziv, H., 1992. Software visualization and Yosemite National Park, in: Proceedings of the Twenty-Fifth Hawaii International Conference on System Sciences. Presented at the Proceedings of the Twenty-Fifth Hawaii International Conference on System Sciences, pp. 607–618 vol.2. doi:10.1109/HICSS.1992.183312
38. Steinbrückner, F., Lewerentz, C., 2010. Representing Development History in Software Cities, in: Proceedings of the 5th International Symposium on Software Visualization, SOFTVIS '10. ACM, New York, NY, USA, pp. 193–202. doi:10.1145/1879211.1879239
39. Subversion Alternatives and Similar Software - AlternativeTo.net [WWW Document], n.d. . AlternativeTo. URL <http://alternativeto.net/software/subversion/> (accessed 9.22.16).
40. Thomas, S.W., Hassan, A.E., Blostein, D., 2014. Mining Unstructured Software Repositories. *Evol. Softw. Syst.* 139.
41. Wettel, R., Lanza, M., 2008. CodeCity: 3D Visualization of Large-scale Software, in: Companion of the 30th International Conference on Software Engineering, ICSE Companion '08. ACM, New York, NY, USA, pp. 921–922. doi:10.1145/1370175.1370188
42. Wettel, R., Lanza, M., 2007. Visualizing Software Systems as Cities, in: 2007 4th IEEE International Workshop on Visualizing Software for Understanding and Analysis. Presented at the 2007 4th IEEE International Workshop on Visualizing Software for Understanding and Analysis, pp. 92–99. doi:10.1109/VISSOF.2007.4290706
43. Xu, Y., Liu, Y., Zheng, J., 2015. To Enlighten Hidden Facts in The Code: A Review of Software Visualization Metaphors., in: The 27th International Conference on Software Engineering and Knowledge Engineering, SEKE 2015, Wyndham Pittsburgh University Center, Pittsburgh, PA, USA, July 6-8, 2015. pp. 294–297. doi:10.18293/SEKE2015-203

44. Zirkelbach, C., 2016. ExplorViz - Live Trace Visualization for System and Program Comprehension in Large Software Landscapes, in: [Invited Talk] In: ZBW Research Colloquium, 27 Jul 2016, Kiel, Germany . Presented at the ZBW Research Colloquium, Kiel, Germany.

## 12. RECURSOS FÍSICOS:

- Equipo de cómputo para desarrollo, redacción y acceso a la Internet (Propio del investigador)
- Equipo de cómputo para el desarrollo de la etapa de experimentación (Propio del investigador)
- Fotocopias y material de papelería.
- Artículos y libros de referencia (Facilitados por la división de bibliotecas de la Universidad Nacional de Colombia)

## 13. COSTOS DEL TRABAJO Y FUENTES DE FINANCIACIÓN:

La principal fuente de financiamiento para el proyecto propuesto sera mixta, es decir que estará compuesta de recursos propios del autor y de parte de los recursos que provee la Universidad Nacional de Colombia en el convenio que como estudiante de la Maestría de Ingeniería de Sistemas y Computación el autor es beneficiario. La siguiente descripción de gastos se aplica para un cálculo anual, es decir durante la duración de los doce meses de ejecución del proyecto. La estimación de costos de personal resulta de un estimado en la experiencia del costo de un desarrollador junior (para el caso del investigador) y de estimados en los gastos de profesores. Otros rubros como el gasto de Internet y equipos son también estimados con base en la experiencia y tasas actuales de prestadores de servicios públicos.

CONCEPTO	FUENTE	TOTAL
<b>GASTOS DE PERSONAL</b>		
Salario investigador	Investigador	\$26.400.000,00
Salario Director	Universidad Nacional de Colombia	\$18.000.000,00
<b>EQUIPOS Y SOFTWARE</b>		
Computador de escritorio	Investigador	\$2.300.000,00
<b>MATERIALES DE SUMINISTRO Y BIBLIOGRAFÍA</b>		
Conexión a Internet	Investigador	\$960.000,00
Papelería e impresiones	Investigador	\$200.000,00
Bibliografía y acceso a artículos académicos	Universidad Nacional de Colombia	\$1.000.000,00
<b>TOTAL</b>		<b>\$48.860.000,00</b>

14. COMENTARIO CON VISTO BUENO DEL DIRECTOR:

15. FIRMA DEL PROPONENTE

---

Joan Sebastian Lopez Riaño

16. FIRMA DEL DIRECTOR (ASESORES)

---

Felipe Restrepo Calle PhD

---

John Guerra Gómez PhD

17. FECHA