

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE CUENCA

CARRERA: INGENIERÍA DE SISTEMAS

**Tesis previa a la obtención del Título de: Ingeniero de
Sistemas**

TEMA:

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN PROYECTO PILOTO
DE SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICO
EN TRES Y CUATRO DIMENSIONES PARA EL
GAD MUNICIPAL DEL CANTÓN CUENCA”**

AUTORES:

DARÍO XAVIER GÓMEZ RIVERA

GABRIELA PAZ FREIRE SEMPÉRTEGUI

DIRECTOR:

ING. ÁLVARO MEJÍA

Cuenca, Marzo del 2015

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DE TESIS

El Ing. Álvaro Mejía

CERTIFICA:

Haber dirigido y revisado prolijamente cada uno de los capítulos del proyecto de Tesis realizado por el Sr. Darío Gómez y Srta. Gabriela Freire y por cumplir con los requisitos básicos autorizo su presentación

Cuenca, 04 de Marzo del 2015

A handwritten signature in dark ink, appearing to read 'Álvaro Mejía', is written over a horizontal line.

Ing. Álvaro Mejía

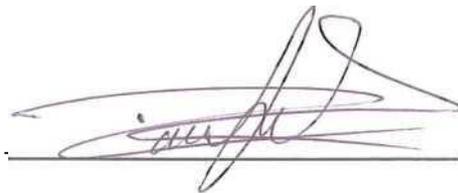
DIRECTOR

DECLARATORIA

El análisis teórico y conceptual, así como los criterios metodológicos desarrollados en el presente trabajo de grado son de total responsabilidad de los autores, donde cada texto consultado se enlaza a la referencia bibliográfica que le corresponde.

A través de la presente declaratoria otorgamos a la Universidad Politécnica Salesiana los derechos de propiedad intelectual para usos académicos, correspondiente a este trabajo, de acuerdo a la Ley de Propiedad Intelectual, al Reglamento y a la Normativa Institucional Vigente.

Cuenca, 04 de Marzo del 2015

A handwritten signature in dark ink, appearing to read 'Darío Xavier Gómez Rivera', written over a horizontal line.

Darío Xavier Gómez Rivera

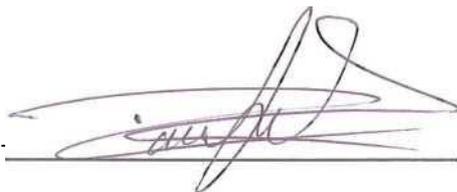
A handwritten signature in dark ink, appearing to read 'Gabriela Paz Freire Sempértegui', written over a horizontal line.

Gabriela Paz Freire Sempértegui

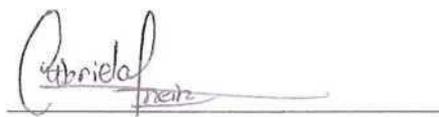
RESPONSABILIDAD

Los conceptos, análisis, conclusiones y elementos desarrollados son exclusiva responsabilidad de los autores.

Cuenca, 04 de Marzo del 2015

A handwritten signature in dark ink, appearing to read 'Darío Xavier Gómez Rivera', written over a horizontal line.

DARÍO XAVIER GÓMEZ RIVERA

A handwritten signature in dark ink, appearing to read 'Gabriela Paz Freire Sempértegui', written over a horizontal line.

Gabriela Paz Freire Sempértegui

DEDICATORIA

La primera persona que le quiero dedicar es a mi Madre aunque no esté presente en cuerpo pero si espiritualmente decirle que esto va por ti y que cumplí la meta que anhelabas. A mi Padre Néstor y mis hermanos Juan Pablo y Paul que hemos estado siempre juntos en buenas y malas. A mis Marías que siempre han sido mis grandes amigas o mejor dicho mis hermanas. Los amigos que siempre estuvieron ahí preocupados por mí y siempre apoyándome sea con una palabra de aliento o peleando.

Darío Xavier Gómez Rivera

AGRADECIMIENTO

Primero agradezco a Dios por haberme dado la fuerza de continuar en esta lucha diaria para culminar esta meta. A mi madre que no se encuentra presente físicamente pero sus enseñanzas y sus consejos siempre han estado presente durante todo este tiempo que han aportado para afrontar muchos obstáculos y lo seguiré haciendo desde el lugar donde se encuentre.

Este logro no puede faltar mi familia, mi padre y hermanos, que a pesar de muchos problemas han estado ahí, me han sabido comprender en cada una de mis caídas y me han apoyado para culminar esta meta.

A mis grandes amigos que durante estos años he conocido, en especial a mis queridas Marías, son muchas pero cada una de ellas saben que les agradezco un montón el haber aguantado a este loco, a esos amigos que nos amanecíamos estudiando o no pero siempre como buenos panas.

Al Departamento de Pastoral en especial a Damián Páez que me supo guiar en los momentos más difíciles de mi vida, el con sus enseñanzas pude crecer como persona humana y sensible. Y no puede faltar a nuestro profesor el Ing. Álvaro Mejía que con su constante guía y confianza me supo apoyar durante los años en la universidad y mucho más para terminar el presente trabajo.

Darío Xavier Gómez Rivera

DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico a mi familia quienes supieron guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban, enseñándome a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento.

Para mi padre Marco y hermana Diana, por su apoyo, consejos, comprensión, amor, ayuda en los momentos difíciles, y por ayudarme con los recursos necesarios para estudiar. Me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi carácter, mi empeño, mi perseverancia, mi coraje para conseguir mis objetivos.

Gabriela Paz Freire Sempértegui

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Politécnica Salesiana por permitirme ingresar a sus aulas y dar ejemplo de enseñanza e inspiración en el estudio y proyección profesional.

Al Ing. Álvaro Mejía por su dedicación, esfuerzo de enseñanza quien con sus conocimientos, experiencia y motivación permitió que este proyecto se culmine aportando con los objetivos planteados satisfactoriamente.

También me gustaría agradecer a mis profesores durante toda mi carrera profesional porque todos han aportado con un granito de arena a mi formación.

A los compañeros y amigos que tuve el gusto de conocer, compartir y admirar en el largo transcurso de estudio, a quienes con el paso de los años he llegado a apreciar y valorar su ayuda y consejos.

Gabriela Paz Freire Sempértegui

CONTENIDO

CAPITULO 1. CARTOGRAFÍA EN 3 DIMENSIONES (3D).....	1
1.1 Introducción.....	1
1.1.1 Conceptos fundamentales del modelado tridimensional.....	2
1.2 Metodología para implementación, arquitectura y soluciones de software ..	8
1.2.1 Implementaciones	8
1.2.2 La implementación de las características Multiparache 3D para la gestión de infraestructuras territoriales.....	8
1.2.2.1 Alternativas de implementación de un Modelo de Información 3D Integrado	12
1.2.2.2 Servicio de la Cartografía del Altas en 3D.....	13
1.2.2.3 Géoportail beta	14
1.2.3 Soluciones de Software	18
1.2.3.1 gvSIG 3D	18
1.2.3.2 AutoCAD Map 3D	21
1.2.3.3 Google Earth Pro.....	23
1.2.3.4 GRASS GIS	25
1.2.3.5 Capaware.....	27
1.3 Casos de éxito.....	29
1.3.1 Infraestructura de Datos Espaciales de España IDEE.....	29
1.3.2 NASA World Wind.....	35
1.3.3 OsgEarth.....	37
CAPITULO 2. CARTOGRAFÍA EN 4 DIMENSIONES (4D).....	39
2.1 Introducción.....	39
2.1.1 Datos espacio-temporales.....	39
2.1.2 Almacenamiento de datos temporales.....	40
2.2 Metodología para implementación, arquitectura y soluciones de software	40
2.2.1 Implementaciones	40
2.2.2 Soluciones de software.....	47
2.3 Casos de éxito.....	54
CAPÍTULO 3. DISEÑO DEL SISTEMA PROTOTIPO CON LA INFORMACIÓN MUNICIPAL	57

3.1	Recopilación de información geográfica vectorial y raster.....	57
3.2	Definición de estándares, software, hardware de la organización municipal. 58	
3.2.1	Software	58
3.2.2	Hardware	59
3.3	Elección de herramientas de Tecnologías de la Información y Comunicación.....	59
3.3.1	Revisión de herramientas para el sistema prototipo del visor 3D	59
3.3.2	Elección de herramientas de Software	81
3.4	Análisis y Diseño de modelo de Sistemas de Información Geográfico en tres dimensiones.	86
3.4.1	Análisis de requerimientos	86
3.4.2	Diseño	86
3.5	Análisis y Diseño de modelo de Sistemas de Información Geográfico en cuatro dimensiones.	91
3.5.1	Análisis de Requerimientos	91
3.5.2	Diseño	91
3.6	Implementación del modelo de Sistemas de Información Geográfico- Histórico	95
3.6.1	Proyecto Piloto de SIG 3D.....	95
3.6.2	Sistema prototipo del Visor 4D.....	97
	CAPÍTULO 4. EJECUCIÓN DE PLAN DE PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	99
4.1	Pruebas de ejecución del proyecto piloto	99
4.1.1	SIG en 3D.....	99
4.1.2	SIG en 4D.....	103
	CONCLUSIONES.....	122
	RECOMENDACIONES.....	124
	GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	125
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	128

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Ejemplos de representaciones del modelo de objetos espaciales.....	3
Ilustración 2: Visualización del modelo tridimensional [4].....	4
Ilustración 3: Representación de un sistema de coordenadas tridimensionales [4]	5
Ilustración 4: Representación de la proyección espacial [4].....	6
Ilustración 5: Representación de la vista tridimensional [4].....	6
Ilustración 6: Representación de los datos raster [4]	7
Ilustración 7: Representación del modelo TIN [5].....	8
Ilustración 8: Ejemplo de objeto Multiparche [6].....	9
Ilustración 9: Objetos insertados con texturas en ArcScene-ArcInfo [6].....	9
Ilustración 10: Geometrías del Multiparche [6].....	10
Ilustración 11: Ejemplo de los vía-conductos y redes de carreteras creadas con las herramientas CAD [6].....	11
Ilustración 12: Información alfanumérica derivada de la visualización 3D en cada objeto Multiparche [6].....	12
Ilustración 13: Clases semánticas 3DIM [7]	13
Ilustración 14: Arquitectura del prototipo [8].....	14
Ilustración 15: Captura del proyecto Geoportátil en 2D	16
Ilustración 16: Captura del proyecto Geoportátil en 3D	17
Ilustración 17: Pantalla de generación de objetos 3D de gvSIG 3D [9].....	19
Ilustración 18: Visión de capa 3D en gvSIG3D [9].....	20
Ilustración 19: Pantalla del aplicativo AutoCAD Map3D [10].....	22
Ilustración 20: Pantalla del aplicativo GoogleEarth [11].....	24
Ilustración 21: Pantalla 3D del aplicativo GRASSGIS [12]	26
Ilustración 22: Pantalla de la herramienta Capaware [13]	28
Ilustración 23: Pantalla del aplicativo IDE adegua. Ubicación: Valenzuela [15] [16]	30
Ilustración 24: Pantalla del aplicativo SITMA. Ubicación: Marbella 2D [12].....	31
Ilustración 25: Pantalla del aplicativo SITMA. Ubicación: Marbella 3D [17].....	32
Ilustración 26: Pantalla del aplicativo IDEC Local. Ubicación: Catalunya [16].....	33
Ilustración 27: Pantalla del aplicativo IDE Canarias. Ubicación: Canarias, se visualiza la capa cartográfica OrtoExpress (ortofotos) . [18]	34
Ilustración 28: Pantalla del visor NASA World Wind. Ubicación: Kingston – EEUU, se visualizan las capas: Atmósfera, estrellas e imágenes satelitales. [19]	36
Ilustración 29: Representación de imágenes en 3D del aplicativo.....	37
Ilustración 30: Representación de imágenes en 3D del aplicativo.....	38
Ilustración 31: Representación Entidad Espacio-Temporal [1]	40
Ilustración 32: Representación virtual de vía de la ciudad Kyoto-Japón. [4].....	41
Ilustración 33: Representación virtual 3D/4D de un barrio de la ciudad Kyoto, desde el año 1928 hasta el 2000. [7]	42
Ilustración 34: Representación del proyecto en la construcción de un objeto.	44

Ilustración 35: Aplicativo del visor disponible en la web http://calakmul.inah.gob.mx/[11]	46
Ilustración 36: Ubicación St. Louis Stadium, St. Louis, Missouri, obtenida de Google Earth Pro.....	48
Ilustración 37: Captura de interfaz con capas de Google Earth Pro, Ubicación Cuenca-Ecuador	50
Ilustración 38: Arquitectura de gvSIG con el Tiempo	53
Ilustración 39: Representación del aplicativo en 3D, con imágenes satelitales renderizadas por el color de elevación.	55
Ilustración 1: Comunidad urbana de Cherbourg	61
Ilustración 2: Visualizando modelo digital de elevación (DEM) de datos como terreno de color, a la sombra. Superposición de mapas o fotos en la parte superior del terreno con 3DEM para crear vistas en perspectiva.....	63
Ilustración 3: Captura de la navegación con el aplicativo Terra Explorer	65
Ilustración 4: Captura del aplicativo	67
Ilustración 5: Diseño lógico del visor 3D	90
Ilustración 6: Diseño lógico del visor 4D	94
Ilustración 7: Implementación del Proyecto Piloto SIG 3D.....	96
Ilustración 8: Implementación del Proyecto Piloto SIG 4D.....	98
Ilustración 1: Control de zoom Ilustración 2: Control de angulación.....	99
Ilustración 3: Control de desplazamiento.....	100
Ilustración 4: Detalle del visor Google Earth API	100
Ilustración 6: Captura del Aplicativo, Ciudad de Cuenca. Capa Planta 3. Mejor tiempo de respuesta.	101
Ilustración 7: Captura del aplicativo, ciudad de Cuenca. Capa Planta 3.....	102
Ilustración 8: Logo oficial de la GAD Cuenca.....	103
Ilustración 9: Panel de controles para la exploración del Mapa.....	104
Ilustración 10: Panel componentes del Mapa.....	104
Ilustración 11: Sub panel del componente Capas	105
Ilustración 12: Sub panel del componente Leyenda	105
Ilustración 13: Sub panel del componente Minimapa.....	105
Ilustración 14: Visor del Mapa. Capas visualizadas: Predios/Manzanas/Vías/Planta 1/Planta 2/Planta 3	106
Ilustración 15: Panel de muestra del posicionamiento de coordenadas	107
Ilustración 16: 9 de Octubre Raster en el año 2008	107
Ilustración 17: 9 de Octubre Raster en el año 2009	108
Ilustración 18: 9 de Octubre Raster en el año 2010	108
Ilustración 19: 9 de Octubre Raster en el año 2011	109
Ilustración 20: Pantalla del visor 4D, 9 de Octubre Raster en el año 2012.....	109
Ilustración 21: Pantalla del visor 4D, Control Sur Raster en el año 2009	110
Ilustración 22: Pantalla del visor 4D, Control Sur Raster en el año 2010	110
Ilustración 23: Pantalla del visor 4D, Control Sur Raster en el año 2011	111
Ilustración 24: Pantalla del visor 4D, Control Sur Raster en el año 2012	111
Ilustración 25: Captura de la Capa Manzanas del año 2008	113

Ilustración 26: Captura de la Capa Manzanas del año 2014	114
Ilustración 27: Pantalla del visor 4D, Predios en el año 2008	115
Ilustración 28: Pantalla del visor 4D, Predios en el año 2009	115
Ilustración 29: Pantalla del visor 4D, Predios en el año 2014	116
Ilustración 30: Pantalla del visor 4D, Vias en el año 2008	116
Ilustración 31: Pantalla del visor 4D, Vias en el año 2014	117
Ilustración 32: Pantalla del visor 4D, Planta 1 en el año 2014	118
Ilustración 33: Zoom de Capa Planta 1	118
Ilustración 34: Pantalla del visor 4D, Planta 2 en el año 2014	119
Ilustración 35: Zoom de Capa Planta 2	119
Ilustración 36: Pantalla del visor 4D, Planta 3 en el año 2014	120
Ilustración 37: Zoom de Capa Planta 3	120

JUSTIFICACION

El GAD Municipal del Cantón Cuenca necesita implementar mecanismos teóricos y metodológicos implicados en el análisis de cambios históricos-económicos y financieros relacionados con la información territorial que gestiona.

El acceso a la información geográfica, y en especial proyecta a las entidades gubernamentales a plantear acciones que logren mejorar la calidad de los productos y servicios públicos.

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) integran la información en bases de datos históricas y se emplean como una herramienta de visualización tanto en tres dimensiones, para la representación exacta de la realidad o en cuatro dimensiones para el análisis de las representaciones que agregan el intervalo de tiempo.

La Dirección de Avalúos, Catastros y Estadísticas disponen en la actualidad información predial en dos dimensiones y necesita establecer la factibilidad y metodología para implementación de proyectos en tres y cuatro dimensiones.

Este tipo de iniciativas se pueden observar en países como Estados Unidos, Portugal, España, Alemania, Holanda, India, Suecia, Mozambique entre otros. Un caso de éxito realizado en España muestra por ejemplo un sistema denominado “La Oficina Virtual del Catastro”, donde se recopila una amplia colección de registros cartográficos de la nación. Las consultas son de temporalidad actual o histórica y se encuentran disponibles en el sitio web de la institución.

Por todo lo expuesto es necesario que la Municipalidad de Cuenca a través de la Dirección de Avalúos, Catastros y Estadísticas y la Dirección de Informática, la misma que es responsable del desarrollo de proyectos informáticos, provea los recursos necesarios para la implementación de un

proyecto piloto pionero que defina la metodología y software para construir sistemas de información geográfica en tres y cuatro dimensiones que apoyen el trabajo interno de los servidores municipales y otorguen un beneficio para los ciudadanos del Cantón Cuenca.

OBJETIVOS

GENERAL

- Implementar un Proyecto Piloto de Sistema de Información Geográfico en tres y cuatro dimensiones para el GAD Municipal del Cantón Cuenca

ESPECÍFICOS

- Analizar el contenido teórico y conceptual del tema.
- Investigar metodologías, arquitectura y software para la implementación del sistema en tres y cuatro dimensiones.
- Realizar la implementan de un proyecto piloto en base a la Información Geográfica Predial generada en la Dirección de Avalúos, Catastros y Estadísticas.

ALCANCE

El proyecto piloto busca apoyar y facilitar el proceso de consulta y actualización de información vial, plano manzanero y predial de la Dirección de Avalúos, Catastro y Estadísticas. Se busca definir el proceso de implementación de cartografía en 3D e identificar cambios históricos de la información predial en un SIG en 4D.

El sistema se realizará en base a normativas, software, hardware y estándares definidos por la Municipalidad, pero en caso de no disponer de las herramientas necesarias se recomendará la mejor opción a ser implementada.

CAPITULO 1. CARTOGRAFÍA EN 3 DIMENSIONES (3D)

1.1 Introducción

La administración del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Cuenca (*GAD Cuenca*) se involucró en el uso de herramientas de gestión de información geográfica, disponiendo su acceso al público en web de la institución. [3] La consulta implica datos de predios catastrales, nominación de vías, riesgos sobre el proyecto PRECUPA¹, permisos municipales y zonas de recolección de basura. [3] Sin embargo no se tiene acceso a un visor con capas geográficas basados en tres dimensiones y cuatro dimensiones (datos históricos) del cantón Cuenca.

Por lo antes expuesto se ve la necesidad de contar con el desarrollo del presente proyecto de tesis y contar con el marco conceptual y con la metodología que posibilite la implementación de estos nuevos proyectos innovadores y que serían de gran uso para los funcionarios internos y ciudadanía en general.

La tercera dimensión como plano visual fue aplicada en un principio por el método de visualización de objetos denominado estereoscopía². Hoy en día la representación 3D acopla campos multidisciplinarios, que van desde el arte hasta la medicina.

En la rama de la tecnología informática, el 3D se emplea como método de visualización e interacción usuario-máquina, a fin de mejorar la comunicación y entregar información en un formato comprensible, manipulable y administrable. [1]

En el tratamiento de información geográfica, los sistemas informáticos aplicados permiten interpretar eficientemente los datos espaciales para mapas

¹ PRECUPA: Proyecto de Prevención de Desastres Naturales en la Cuenca del Paute

² Estereoscopía: técnica de extracción de información visual de tres dimensiones, que permite crear visualización del objeto en 3D.

2D, y la adición la variable de altura da un enfoque fotorrealista³ del paisaje representado en 3D.

La generación de mapas 3D integra opciones interactivas, como la “*simulación de movimiento en tiempo real, la simulación de objetos en el paisaje, análisis de fenómenos dinámicos, selección de distancia desde un punto de vista, entre otros*”. [2]

Los datos espaciales que componen los datos del entorno, se almacenan en bases de datos topográficos⁴. Para el formato vector corresponde el dato como punto, línea o un polígono cerrado, para el formato raster podrá ser en su forma original o en un dataset⁵.

El modelo de datos 3D se fundamenta cuando se precisa la altura como atributo, definiendo un conjunto de tres coordenadas X, Y y Z. [3]

1.1.1 Conceptos fundamentales del modelado tridimensional

La cartografía es una fuente básica de datos para los SIG, representando cada elemento geográfico con dimensiones espaciales, facilitando su geolocalización.

A continuación se revisan los conceptos generales relevantes sobre el estudio cartográfico orientado al modelado tridimensional.

1.1.1.1 Cartografía

La cartografía proviene del griego *charta*, traducido como “mapa” y *grafia* que hace referencia a la acción de “escribir”. [1]

La Asociación Cartográfica Internacional declara:

“Es la disciplina que trata con la creación, producción, difusión y estudio de los mapas en todas las formas” [1]

La Sociedad Británica de Cartografía define:

“Es el Arte, Ciencia y Tecnología de la elaboración de mapas.” [3]

De esta manera la cartografía, se describe como la ciencia dedicada al estudio y elaboración de mapas de naturaleza geográfica.

³ Fotorrealismo: característica de una imagen digital no capturada por una cámara fotográfica, que mediante cálculos y algoritmos matemáticos simula efectos de una imagen real.

⁴ Topografía: es la ciencia dedicada a la representación gráfica de la superficie terrestre, con aspectos naturales y artificiales

⁵ Dataset: colección de clases de entidad conjuntamente almacenadas y disponibles para la creación de relaciones de objetos espaciales.

1.1.1.2 Mapa cartográfico

El mapa es una representación generalmente de un área geográfica, graficada o impresa en una superficie plana. Dentro del mapa se incluyen detalles sobre la escala, forma, posiciones geográficas, etc. [4]

El mapa puede agruparse en dos clases [4]:

- Por su extensión

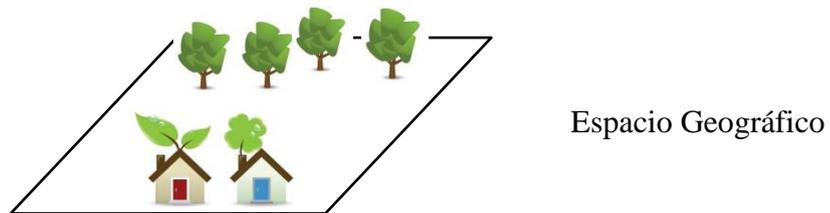
Se reúne a las representaciones de la superficie terrestre en diferentes proporciones de longitud, como son: mapas mapamundi, continental, nacional, autonómico y local.

- Por su finalidad

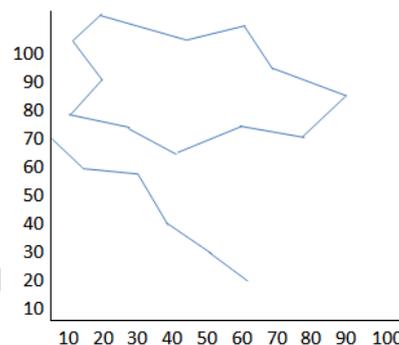
Se identifican los mapas topográficos, es decir los que representan el suelo y sus características, y los mapas temáticos que presentan datos de índole política, económica, geológica, poblacional y climática.

1.1.1.3 Modelado de objetos espaciales

Es el proceso de creación y manipulación de un conjunto de datos numéricos distribuidos en un espacio mediante una nube de puntos opcionalmente definidos en un sistema de coordenadas, para la posterior representación de un objeto espacial. [4] [2]



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1		1	1	1	1	1	1	1		
2		1	1	1	1	1	1	1	1	
3		1	1	1	1	1	1	1	1	
4		1	1	1	1	1	1	1	1	
5	3	1	1	1	1	1	1	1	1	
6			3	3				1		
7				3	3	2	2	2	2	
8			4					2	2	
9								3		
10									3	



Modelo Raster

Modelo Vectorial

Ilustración 1: Ejemplos de representaciones del modelo de objetos espaciales

1.1.1.4 Modelado tridimensional

El modelado 3D⁶ se refiere a la descripción espacial y ubicación de objetos tridimensionales, escenas y entornos mediante el uso de herramientas tecnológicas.

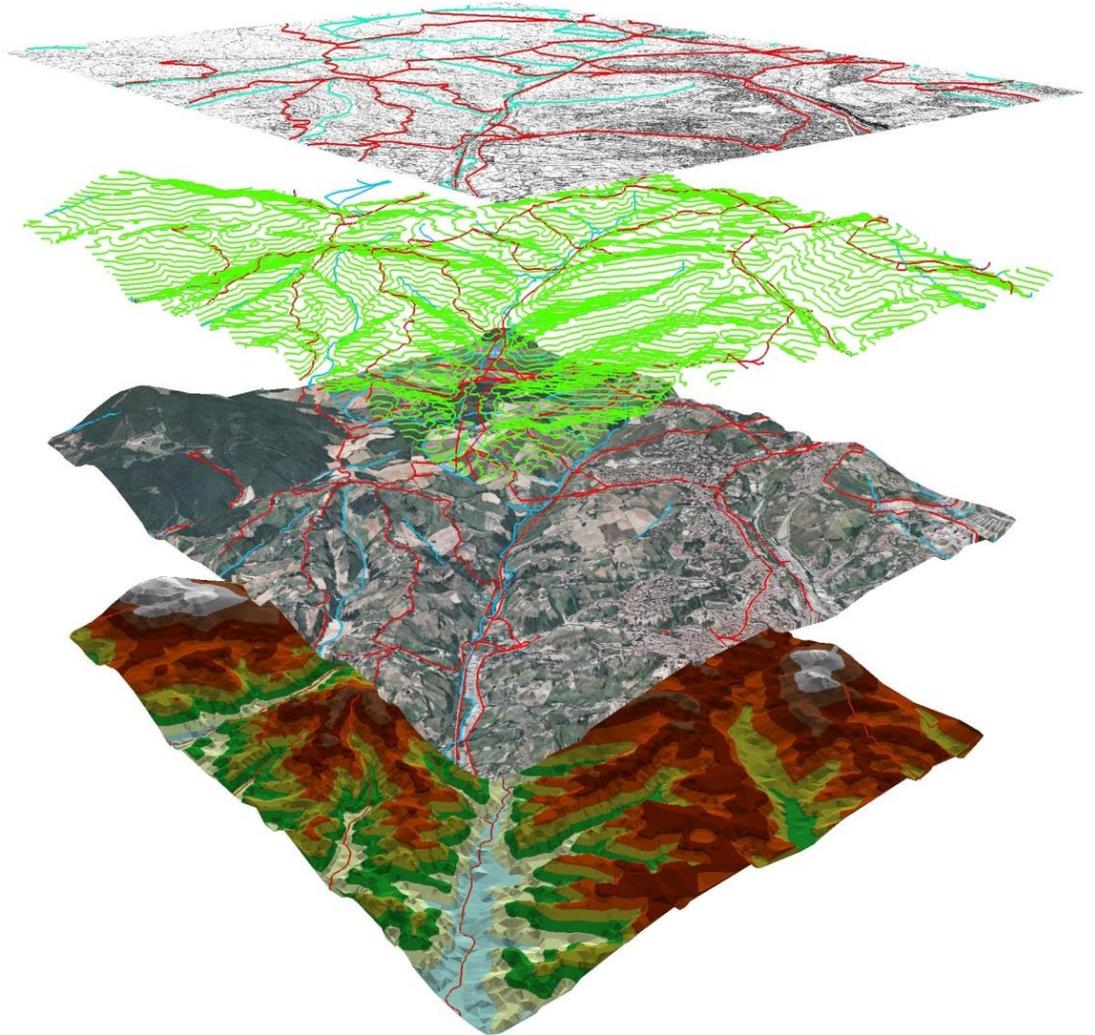


Ilustración 2: Visualización del modelo tridimensional [4]

Se revisan los siguientes conceptos relacionados [4]:

- Escenario de trabajo

Define los límites del espacio contenedor del objeto a modelar.

⁶ 3D: conjunto de vértices en un sistema de coordenadas tridimensional, los cuales se identifican como coordenadas X, Y, y Z

- Origen
Se refiere al punto de referencia para el posicionamiento absoluto del modelo.
- Punto o vértice
Es el punto definido por una posición en los ejes XYZ.
- Línea o arista
Segmento de recta, en la que dos planos, caras o superficies se cruzan y se limitan por la posición de otros segmentos.
- Normal
Corresponde a la perpendicular de una superficie, la cual define la dirección de la superficie visible.

1.1.1.5 Sistema de coordenadas tridimensionales

Un sistema de referencia X,Y integra un tercer eje de coordenadas Z para representar una variable de medida. [4]

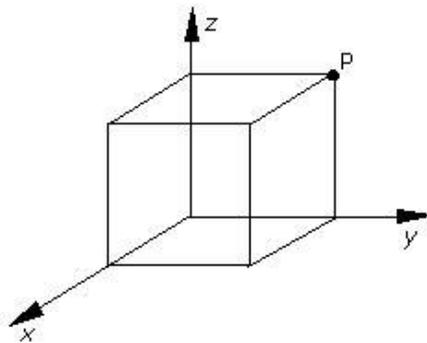


Ilustración 3: Representación de un sistema de coordenadas tridimensionales [4]

1.1.1.6 Proyección espacial

En el modelado tridimensional se entiende como una técnica de representación de objetos de un espacio N-dimensional en un espacio (N-1) dimensional. [4]

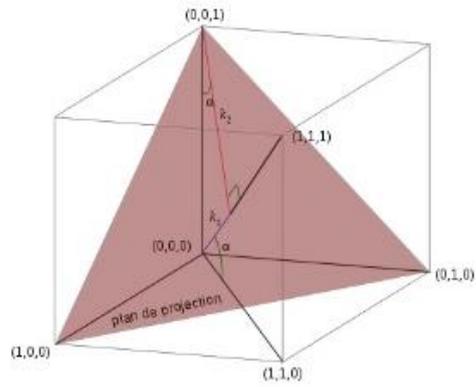


Ilustración 4: Representación de la proyección espacial [4]

1.1.1.7 Vista tridimensional

La vista tridimensional se refiere a las alternativas de visualización de datos desde diferentes perspectivas, siempre proyectándose en una superficie de visión. [4]

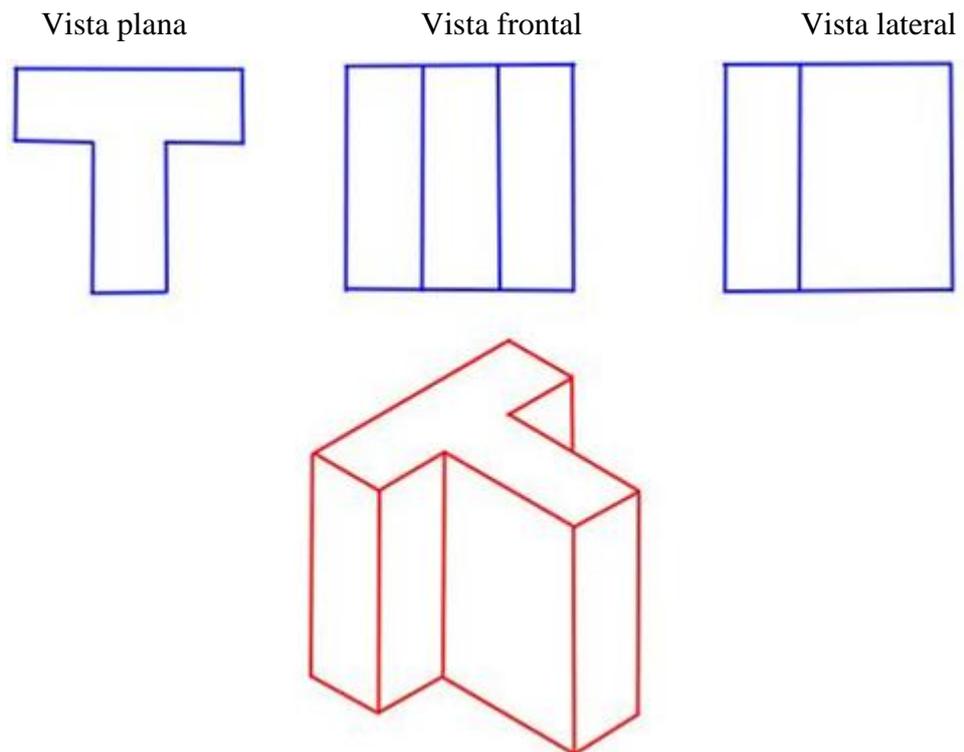
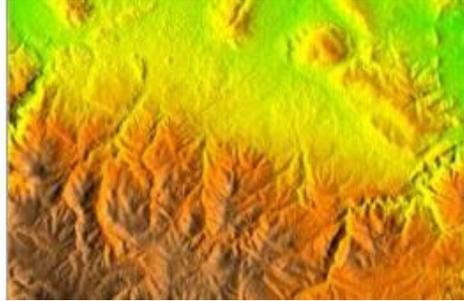


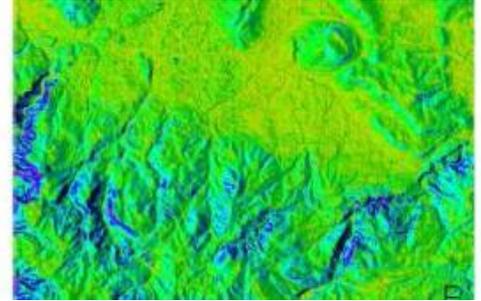
Ilustración 5: Representación de la vista tridimensional [4]

1.1.1.8 Conjunto de Datos Raster

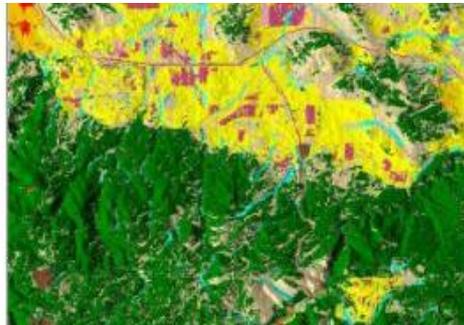
Representa un grupo de celdas de tamaño regular, que contienen los atributos asignados, como puede la altitud, temperatura, pendiente, reflectancia⁷, entre otros. [4]



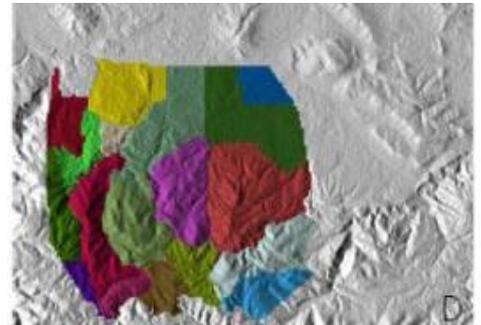
Elevación



Pendientes



Cobertura del suelo



Áreas de

formación

Ilustración 6: Representación de los datos raster [4]

1.1.1.9 Modelos de reconstrucción de las superficies en 3D

Modelo TIN es empleado en la reconstrucción de superficies 3D, a partir de puntos distribuidos irregularmente, líneas y polígonos, formando una red de triángulos irregulares. [5]

⁷ Reflectancia: es la capacidad de un cuerpo para reflejar la luz.

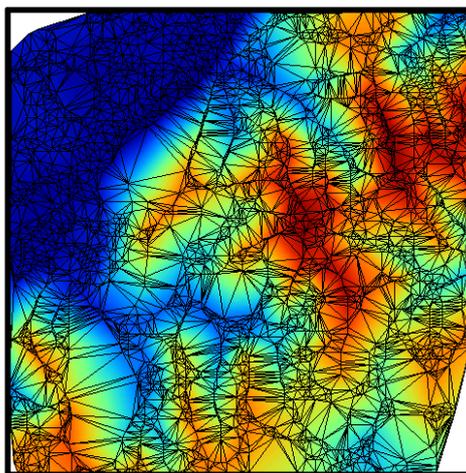


Ilustración 7: Representación del modelo TIN [5]

Es aplicado en la representación de mapas con datos raster, creando un espacio transformado en mosaico de teselas regulares.

Este método precisa de las siguientes condiciones a cumplir [5]:

- El número de triángulos debe ser el máximo
- El área debe ser mínima
- Los triángulos de preferencia deben ser equiláteros

1.2 Metodología para implementación, arquitectura y soluciones de software

A continuación se describen los proyectos en desarrollo de SIG en 3D.

1.2.1 Implementaciones

1.2.2 La implementación de las características Multiparache 3D para la gestión de infraestructuras territoriales

El análisis territorial de áreas críticas, es decir con mayor probabilidad de afectación dadas sus características geológicas y geo-hidrológicos, han sido materia de estudio de los SIG. La edición y visualización fotorrealista de objetos georreferenciados⁸ son importantes aspectos considerados en el software CAD.

El estudio del tratamiento de la información cartográfica en 3D sobre la red de vías y carreteras, propone la implementación de un modelo prototipo de un

⁸ Georreferenciación: técnica de posicionamiento espacial de una entidad geográfica.

Sistema de Gestión de Infraestructuras para el procesamiento espacial de SIG en ambientes 3D. [6]

El sistema acopla el software CAD y el SIG, mediante la función de escritura Multiparache, para encapsular objetos complejos de una manera compacta y añadir texturas en las superficies, proporcionando una visualización real de los objetos.

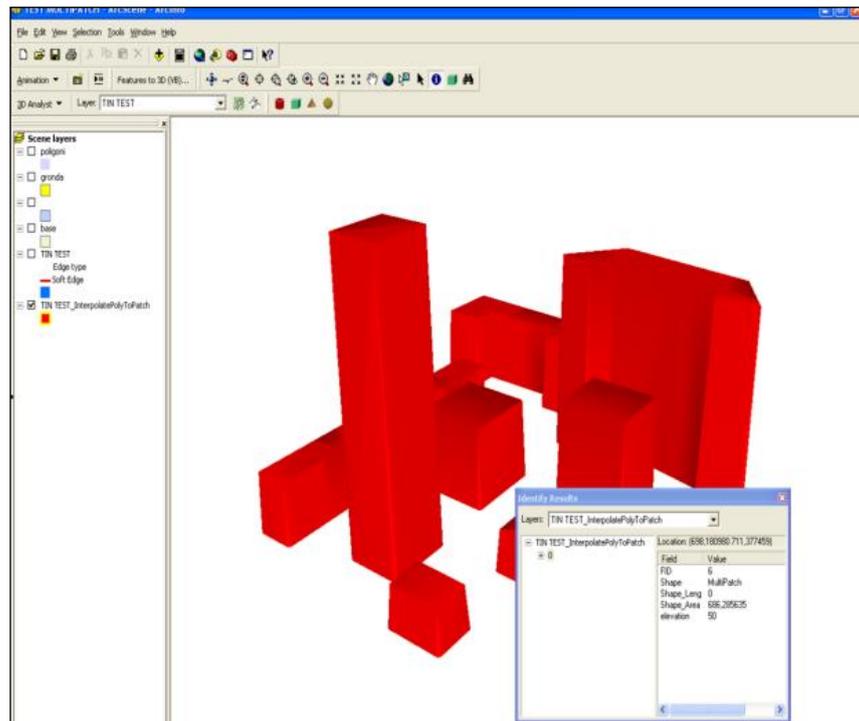


Ilustración 8: Ejemplo de objeto Multiparache [6]

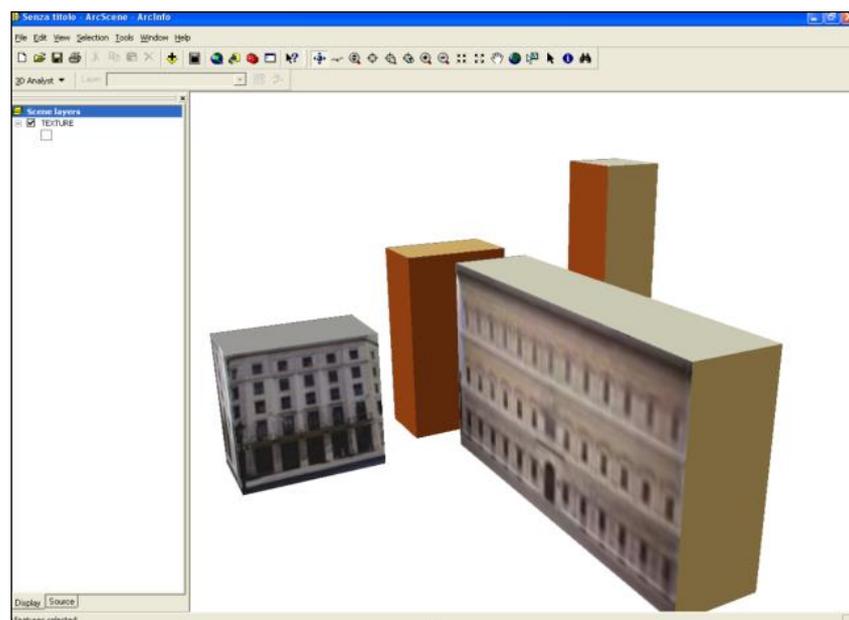


Ilustración 9: Objetos insertados con texturas en ArcScene-ArcInfo [6]

Un parche es una estructura de información almacenada, relacionada a las características de un objeto SIG, como es la textura, color, transparencia y geometría. El Multiparche por su parte, almacena el conjunto de parches a fin de representar un objeto 3D como un solo registro o fila, en una base de datos.

El Multiparche se representa de forma similar a los objetos espaciales convencionales, como puntos, líneas, polígonos. Estos se gestionan en un archivo de formato *shape*⁹, con atributos alfanuméricos. [6]

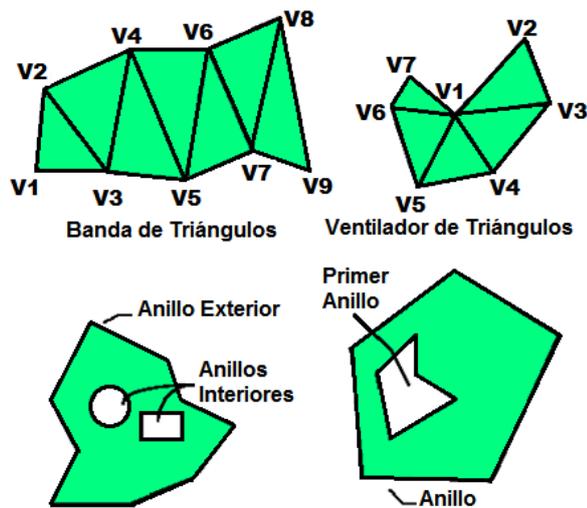


Ilustración 10: Geometrías del Multiparche [6]

El sistema prototipo, emplea las herramientas [6]:

- AutoCAD
- CAD2Shape
- ArcScene – ArcInfo

Con las herramientas CAD, los objetos procesados (arcos, viaductos, carreteras conectadas, etc.) demuestran las superficies 3D. [6]

⁹ Shapefile: es un formato vectorial de almacenamiento de archivos digitales con elementos geográficos y sus propiedades.

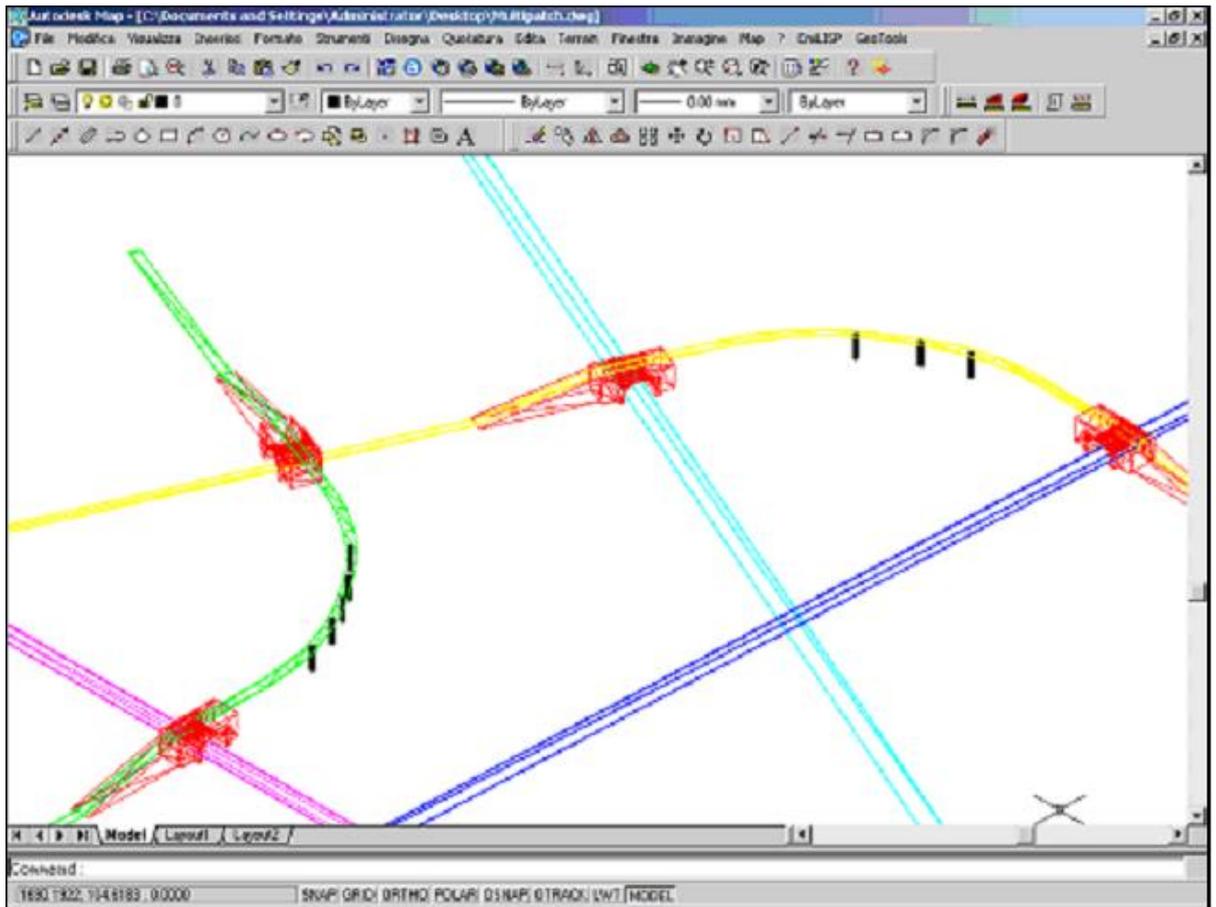


Ilustración 11: Ejemplo de los vía-conductos y redes de carreteras creadas con las herramientas CAD [6]

La mayoría de formatos de archivos cartográficos vienen en el tipo *dwg*¹⁰ o *dxf*¹¹ (*Drawing Exchange Format*), para la creación de un archivo shape de tipo Multiparce, se emplea la conversión de datos con la herramienta CAD2Shape. Cada procesamiento dependerá de las características de los objetos representados. [6]

¹⁰ *dwg*: Es un formato de archivo de objetos utilizado por AutoCAD.

¹¹ *dxf*: Formato de archivo para dibujos CAD, y permite interoperabilidad entre los archivos *dwg*.

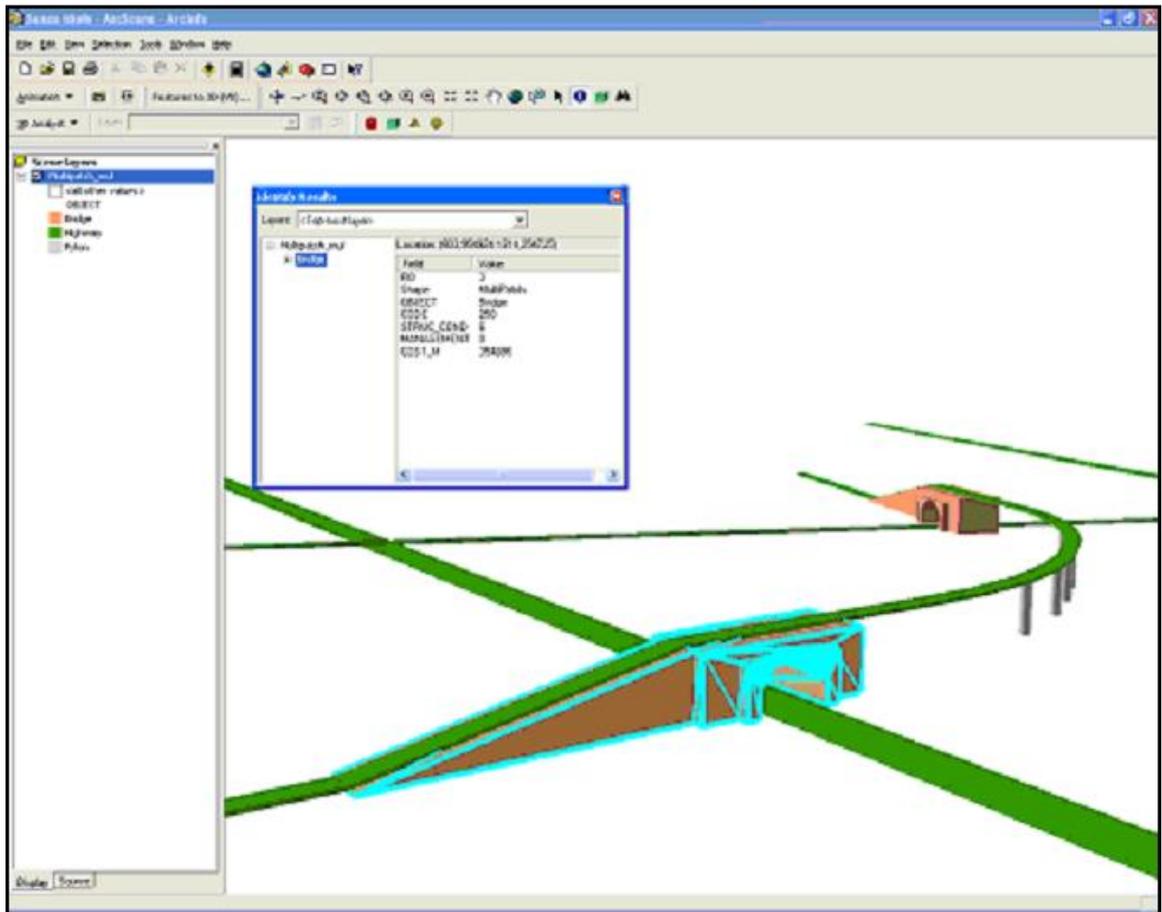


Ilustración 12: Información alfanumérica derivada de la visualización 3D en cada objeto Multiparcho [6]

En la Ilustración 12, se identifica un objeto Multiparcho, el cual almacena la información alfanumérica con la que pueden ejecutarse consultas temáticas en el entorno visual 3D de ArcGIS.

1.2.2.1 Alternativas de implementación de un Modelo de Información 3D Integrado

El 3DIM es un modelo que integra funciones geográficas para el estudio de la superficie terrestre dentro de un esquema común geométrico-semántico para ambientes 3D. [7]

La implementación del modelo de datos 3DIM, contiene semántica temática y mapeo de información de las superficies naturales o manipuladas por el hombre, tanto superficies subterráneas como descubiertas. [7]

Los tipos de datos geométricos aptos para el modelo son los utilizados en una DBMS, como es el punto, la curva, superficie y sólidos. [7]

Para objetos volumétricos, se los representa con tetraedros y poliedros.

También maneja el concepto de LOD o Nivel de Detalle, el cual permite que las funciones geométricas se representen con precisión y detalle diferentes, es decir, correspondan a las características reales de la superficie terrestre. [7]

El sistema implementado, puede adaptarse a varias temáticas de acuerdo a la superficie de representación. Se define en la siguiente tabla:

Características sobre la superficie	Características en la superficie	Características por debajo de la superficie
Construcción	Transporte	Geología
Trabajos de construcción	Cubierta Vegetal	Espacios por debajo de la superficie
Vegetación		Utilidad
Inmobiliaria		Agua

Ilustración 13: Clases semánticas 3DIM [7]

1.2.2.2 Servicio de la Cartografía del Atlas en 3D

Este proyecto presentado como maestría del Instituto de la Cartografía y Geoinformación de Zurich, evalúa el estado de la geovisualización en 3D, para facilitar la implementación de un sistema prototipo de un atlas en 3D, con una arquitectura orientada a servicios Web. [8]

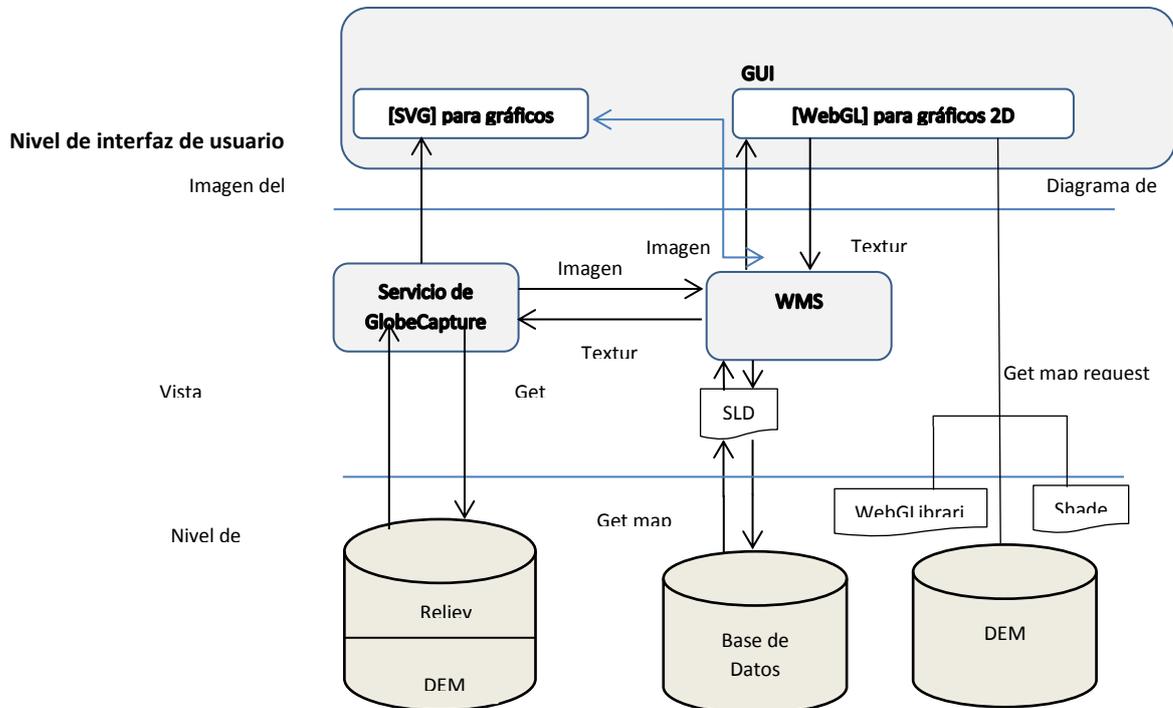


Ilustración 14: Arquitectura del prototipo [8]

El prototipo utiliza una combinación del servicio web 3D, GCS¹² y QGIS Server¹³, que es un WMS (*Web Map Service* o *Servicio Web de Mapas*) o servicio de mapas sobre la web el cual presenta una vista panorámica del paisaje.

El servicio de mapas QGIS proporciona texturas a la imagen. [8]

El prototipo además implementa diagramas de bloques mediante la herramienta WebGL. Sin embargo el GCS tiene falencias en el rendimiento e interoperabilidad, debido a la falta de normas y estándares aplicados, además no cuenta con el soporte de los navegadores web más utilizados, como Google Chrome, Mozilla Firefox, entre otros. [8]

1.2.2.3 Géoportail beta

En la República Francesa, el Instituto Geográfico Nacional y la Oficina de Investigación Geológica y Minera desarrollaron el servicio web de mapeo Geoportátil para proveer el despliegue de datos geográficos en 2D/3D del área territorial francés.

¹² GCS: Global Consulting Services o Servicios Globales de Consultoría, es una empresa dedicada al desarrollo de Tecnologías de Información y negocios de contratación

¹³ QGIS Server: es un servidor de mapas WMS

Permite la consulta y visualización de las carreteras, mapas administrativos, mapas topográficos, levantamientos catastrales y de construcción, mapas de servicios públicos de servicio público, mapas de transporte, mapas hidrográficos, mapas atmosféricos y meteorológicos, mapas geológicos, mapas de uso del suelo, mapas de sitios culturales, entre otras.

El módulo de consulta de mapas 3D requiere de la instalación del complemento VirtualGeo¹⁴GP compatible con cualquier navegador web instalado en los sistemas operativos Windows, Mac y Linux.

¹⁴ VirtualGeo: Es una aplicativo para la visualización interactivo 3D de conjunto de datos geoespaciales de gran tamaño.

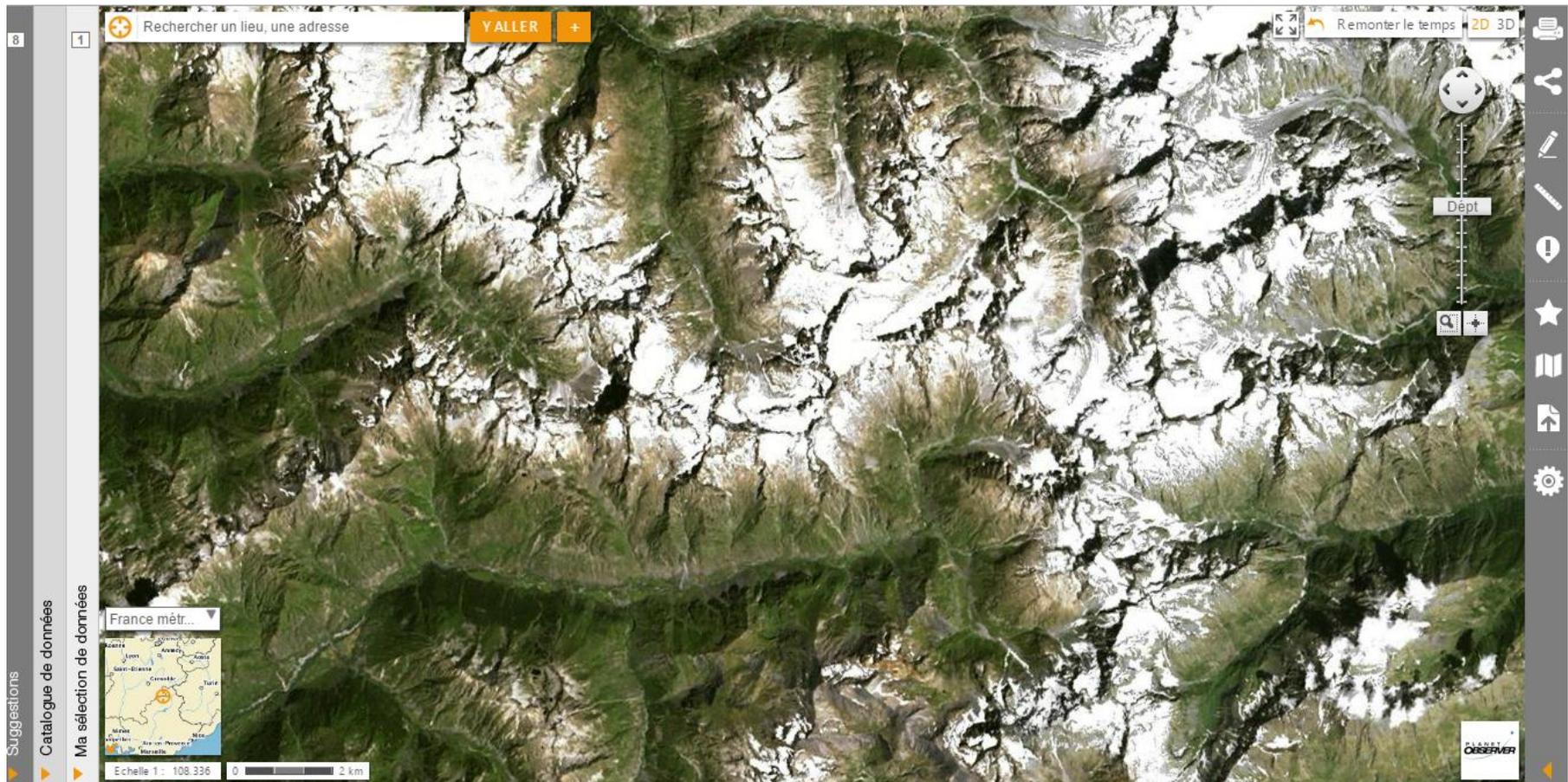


Ilustración 15: Captura del proyecto Geoportátil en 2D

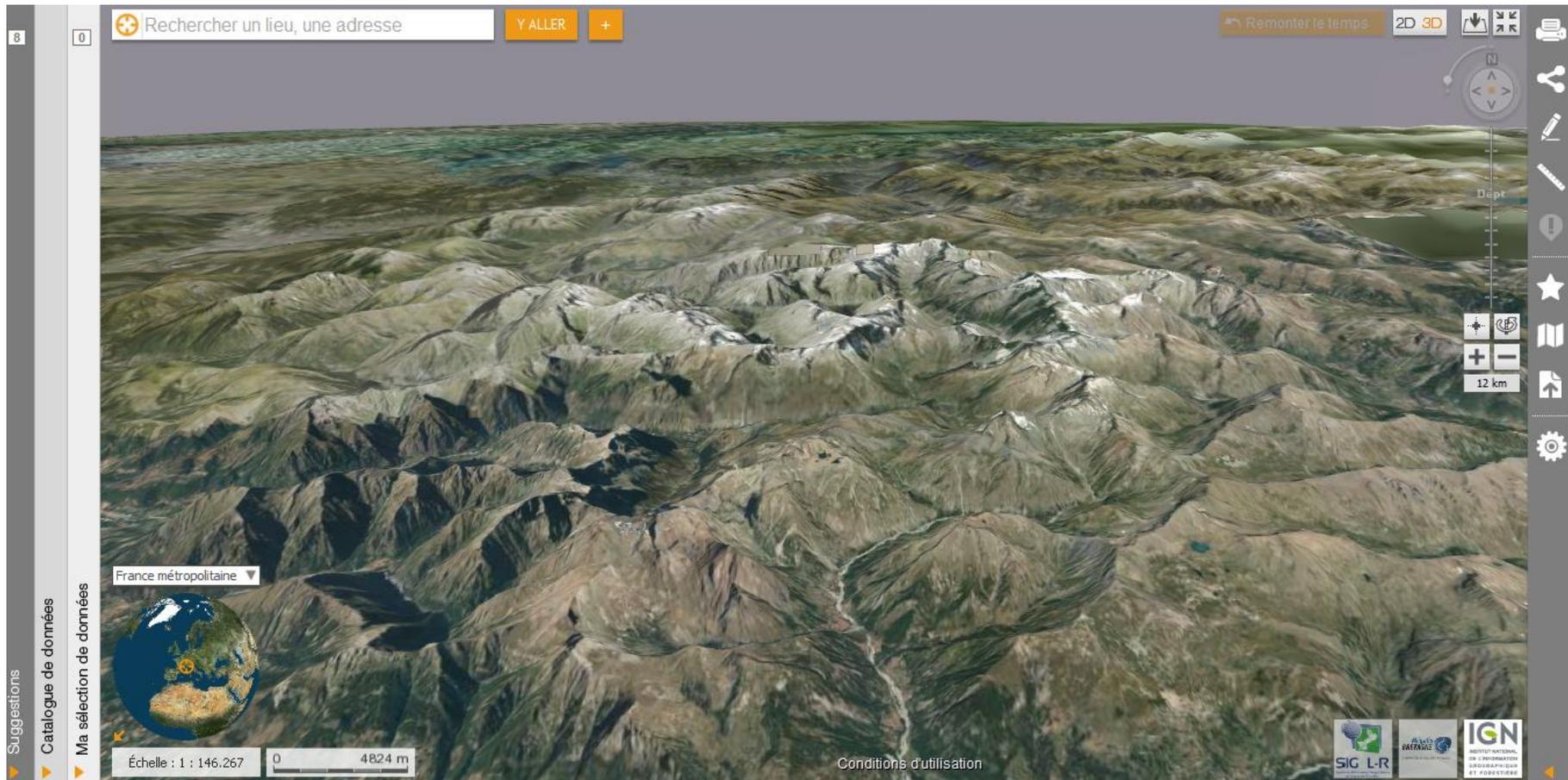


Ilustración 16: Captura del proyecto Geoportátil en 3D

1.2.3 Soluciones de Software

Se describen a continuación, las herramientas o sistemas de software que apoyan el desarrollo de SIG basados en 3D.

1.2.3.1 gvSIG 3D

Es una herramienta de código abierto y libre basado en SIG, que funciona como extensión de visualización 3D para el sistema gvSIG, la misma que debe ser instalada en un computador. [9]

Funcionalidades [9]:

- Capa de objeto 3D
- Nubes de puntos 3D
- Herramientas de navegación 3D
- Navegación forzada en la orientación norte
- Zoom a una o varias capas
- Control interactivo de transparencia de la capa
- Simbología 3D avanzada, incluyendo objetos 3D como símbolos
- Soporte para la extrusión de las leyendas
- Herramientas avanzadas de visualización (estereoscopia y opción de pantalla completa).
- Edición del modelo 3D
- Modelos CityGML¹⁵
- Selección e información para el apoyo de puntos

¹⁵ CityGML: es un modelo de datos con licencia GNU, basado en el formato XML para archivos por el almacenamiento e intercambio de modelos virtuales 3D.

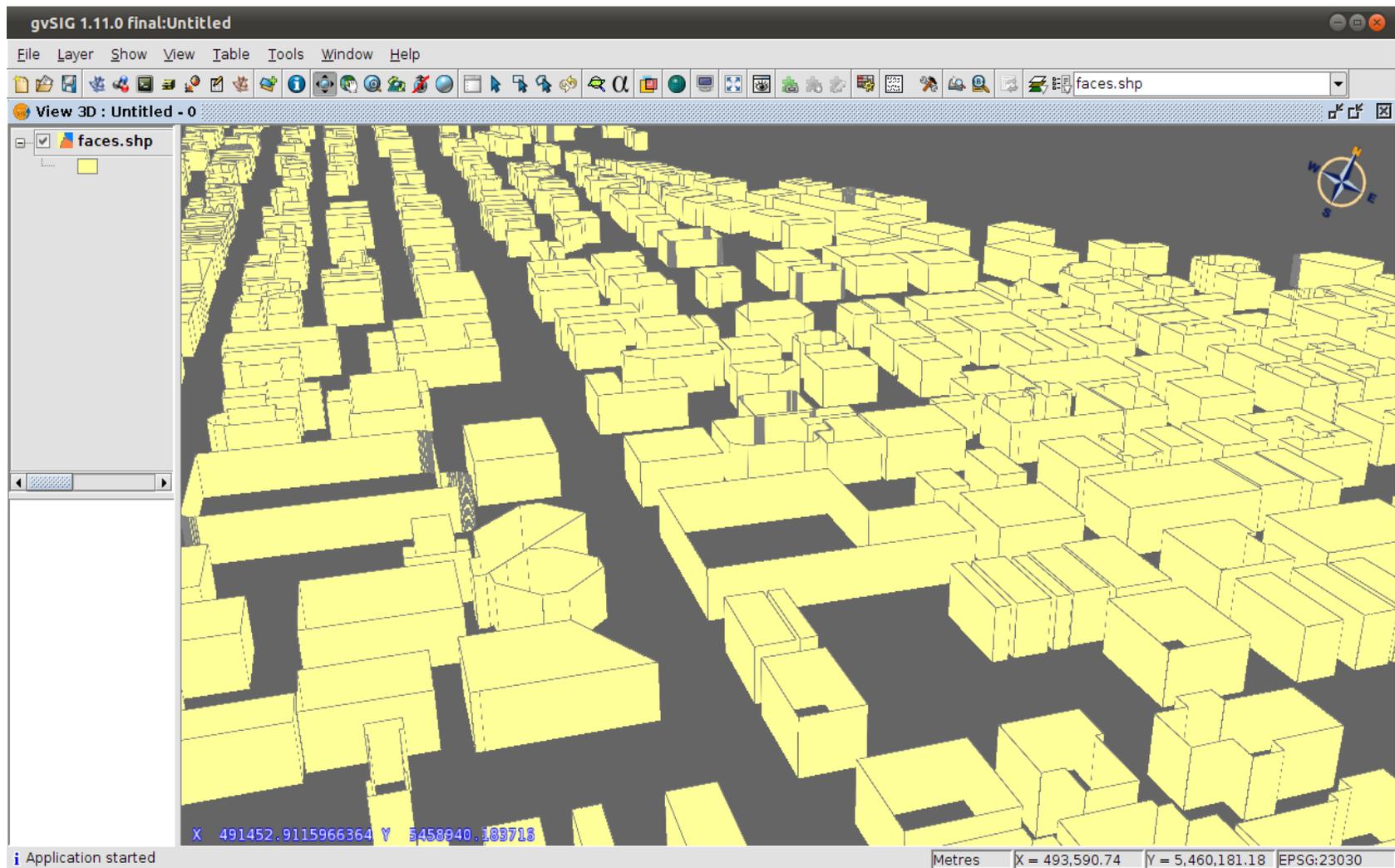


Ilustración 17: Pantalla de generación de objetos 3D de gvSIG 3D [9]

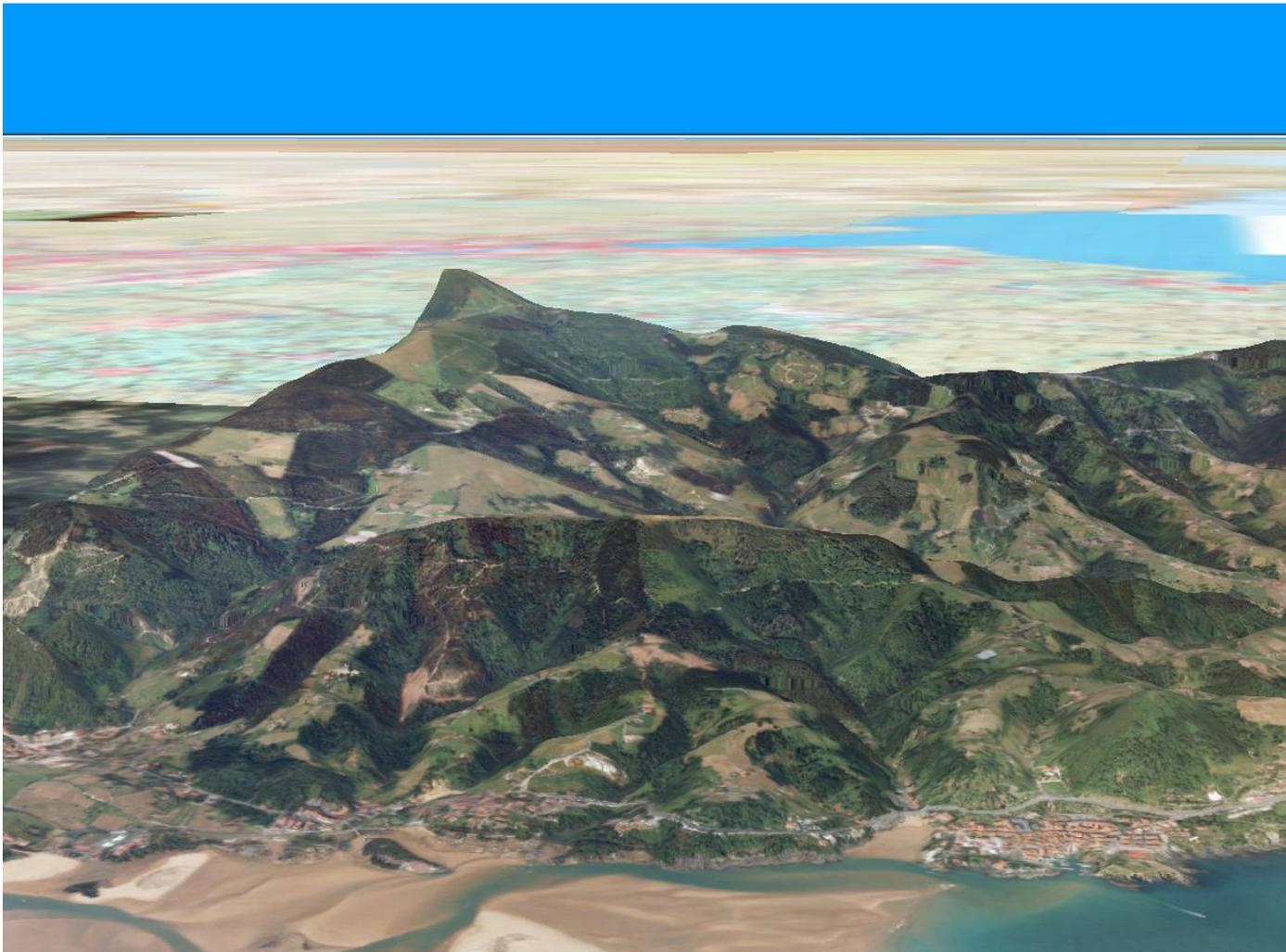


Ilustración 18: Visión de capa 3D en gvSIG3D [9]

1.2.3.2 AutoCAD Map 3D

Este software proporciona acceso a los datos cartográficos en 3D y la visualización de SIG, apoyando la planificación y gestión de datos. Los modelos y herramientas CAD colaboran con la aplicación de las normas regionales y específicas. [10]

Map3D da soporte a las actividades de: construcción y modelado de roca, de igual manera gestiona diferentes aplicaciones de ingeniería civil y geotécnica. [10]

El programa permite elaborar modelos 3d de manera rápida y sencilla, caracterizándose por los siguientes atributos [10]:

- Sistema 3D CAD autónomo para la construcción de modelos
- SIG integrado para el almacenamiento, análisis y despliegue de la información geográfica referenciada.
- Elemento de control avanzado de tensión de suelos (BEM)
- Programa de Precisión, donde un procedimiento automatizado de discretización controla la precisión de elementos concentrados en determinadas áreas.
- Multiprocesamiento en tareas de procesamiento en paralelo con un número disponible de procesadores, como lo es el cálculo de tiempos de escalas lineales. Adicionalmente agrega la funcionalidad de lectura y escritura de múltiples discos superpuestos.
- Pre-procesamiento, es decir ejecuta tareas de revisión y chequeo de errores y rutinas de corrección automática.
- Post-procesamiento, con opciones de presentación visual y formato exportación de los datos.



Ilustración 19: Pantalla del aplicativo AutoCAD Map3D [10]

1.2.3.3 Google Earth Pro

Google Earth es una de las más conocidas aplicaciones virtuales de visualización geográfica global a nivel público. [2] [11]

Su versión gratuita, ofrece distintos tipos de vistas en diferentes módulos: Google Street View, Flight Simulator, Google Ocean, Google Sky and Google Sketch up. [11]

Maneja formatos de datos vector, raster e incluso KML¹⁶, así como objetos dinámicos, modelos de construcción 3D, superficies estáticas y efectos atmosféricos/luz. [11]

Google Earth puede adquirirse y utilizarse como aplicación de escritorio, complemento web y aplicación móvil.

¹⁶ KML: Keyhole Markup Language

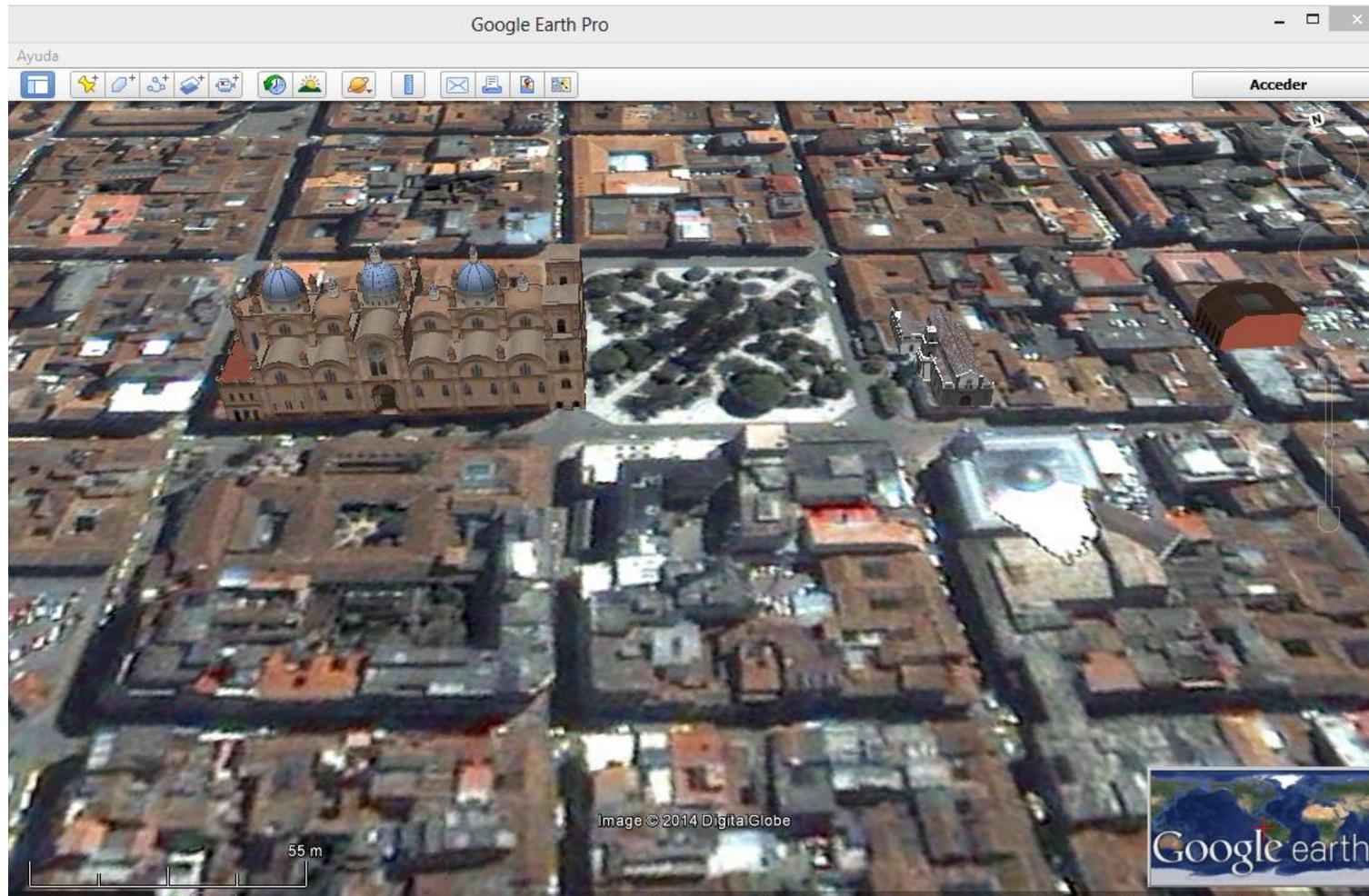


Ilustración 20: Pantalla del aplicativo GoogleEarth [11]

1.2.3.4 GRASS GIS

Sistema de Análisis de Recursos Geográficos (Geographic Resources Analysis Support System) es un SIG de código abierto. GRASS GIS además de su mecanismo de gestión de mapas 3D, apoya el desarrollo de datos de volumen los cuales almacena en archivos raster 3D. El volumen representado en la unidad voxel (pixel de volumen) y está diseñado para representar los campos de 3 valores. [12]

Los mapas 3D emplean el mismo sistema de coordenadas como mapas raster 2D, adicionando una dimensión de profundidad “z”. [12]

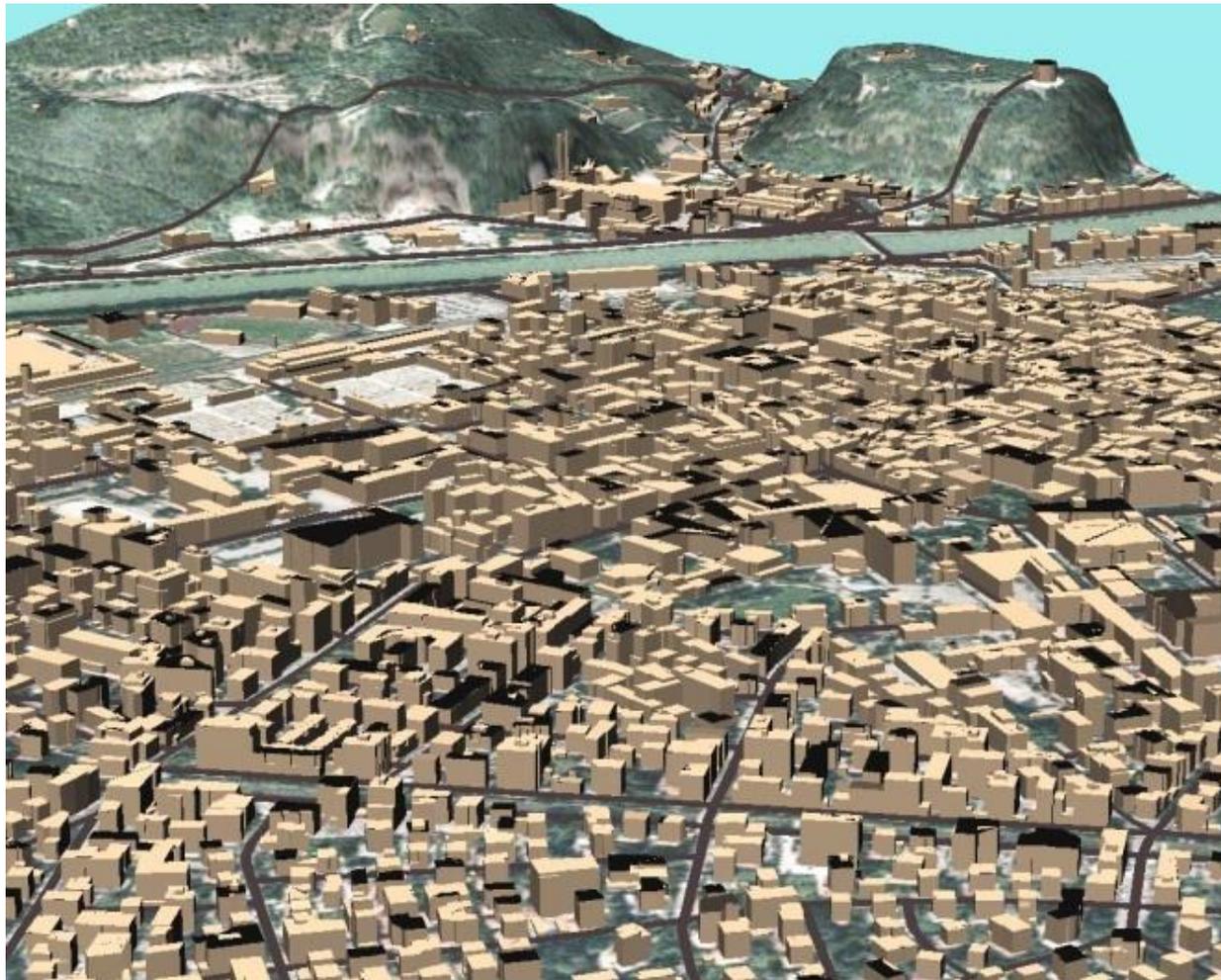


Ilustración 21: Pantalla 3D del aplicativo GRASSGIS [12]

1.2.3.5 Capaware

Es un visor global virtual para usos generales, de libre distribución.

Capaware permite la interacción en mapas de terrenos virtuales 3D, multicapa y abierto al desarrollo de aplicativos. Además permite la conexión a diferentes fuentes de datos o servidores externos bajo el protocolo OGC. De esta manera se puede configurar y administrar las capas de los elementos y recursos representables en el terreno. [13]

Capaware acoge a componentes de software libre para su mejor rendimiento, estos son [13]:

- OpenScenograph: rendimiento de elementos 3D
- wxWidgets: bibliotecas que apoyan el desarrollo de interfaces gráficas programadas en lenguaje C++.
- Curl: herramienta que actúa como intérprete de comandos para la transferencia de archivos con sintaxis URL.
- Boost: bibliotecas C++ portables.



Ilustración 22: Pantalla de la herramienta Capaware [13]

1.3 Casos de éxito

Se presentan los proyectos que han logrado cumplir con las expectativas y necesidades iniciales, así como con las normas y estándares de diseño y gestión de SIG en 3D.

1.3.1 Infraestructura de Datos Espaciales de España IDEE

El gobierno español junto a otras instituciones tales como el Ministerio de Fomento y el Consejo Superior Geográfico, impulsaron el desarrollo de la plataforma IDEE¹⁷. [14]

Esta infraestructura vincula varios sistemas de información espacial de las regiones o comunidades independientes del gobierno de España. [14]

Cada comunidad tiene publicado y anexado un visor independiente a la página principal de IDEE. Cada visor cuenta con herramientas comunes, como lo son los controles de navegación, leyenda, selección de área, carga de datos KML y servicios WMS. Sin embargo solo en ciertas aplicaciones se dispone del visor 3D.

El visor 3D es soportado únicamente por el Sistema Operativo Windows, y sobre los exploradores web Internet Explorer, Mozilla Firefox y Google Chrome. [14]

Entre las comunidades que permiten la visualización 3D, se encuentran:

¹⁷ IDEE: Infraestructura de Datos Espaciales de España

- IDE adegua: Infraestructura de Datos Espaciales de la Asociación Desarrollo del Guadajoz y Campiña Este de Córdoba (ADEGUA).
[14] [15]

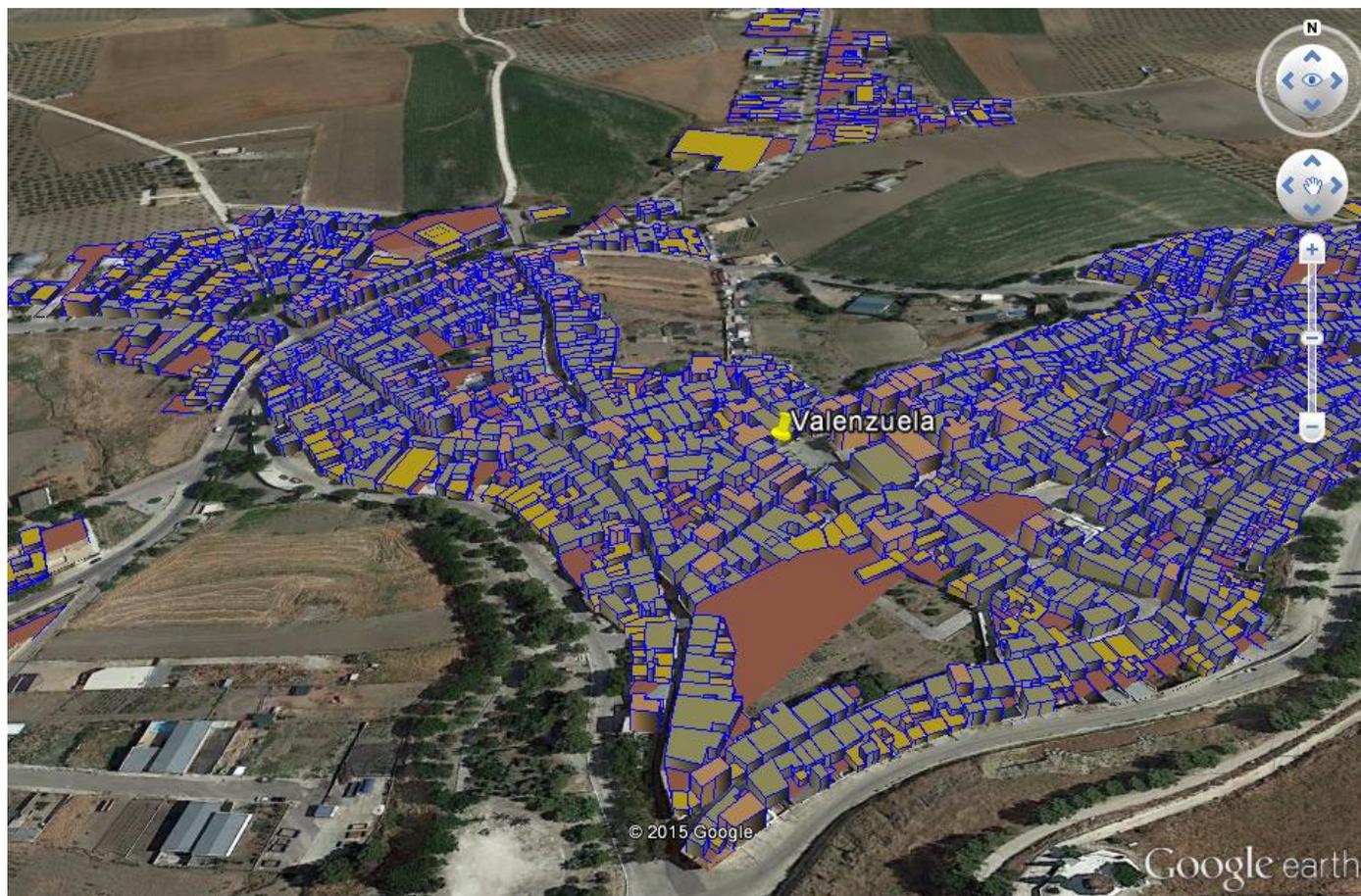


Ilustración 23: Pantalla del aplicativo IDE adegua. Ubicación: Valenzuela [15] [16]

- SITMA: visualizador del Sistema de Información Territorial del Ayuntamiento de Marbella [14] [17]

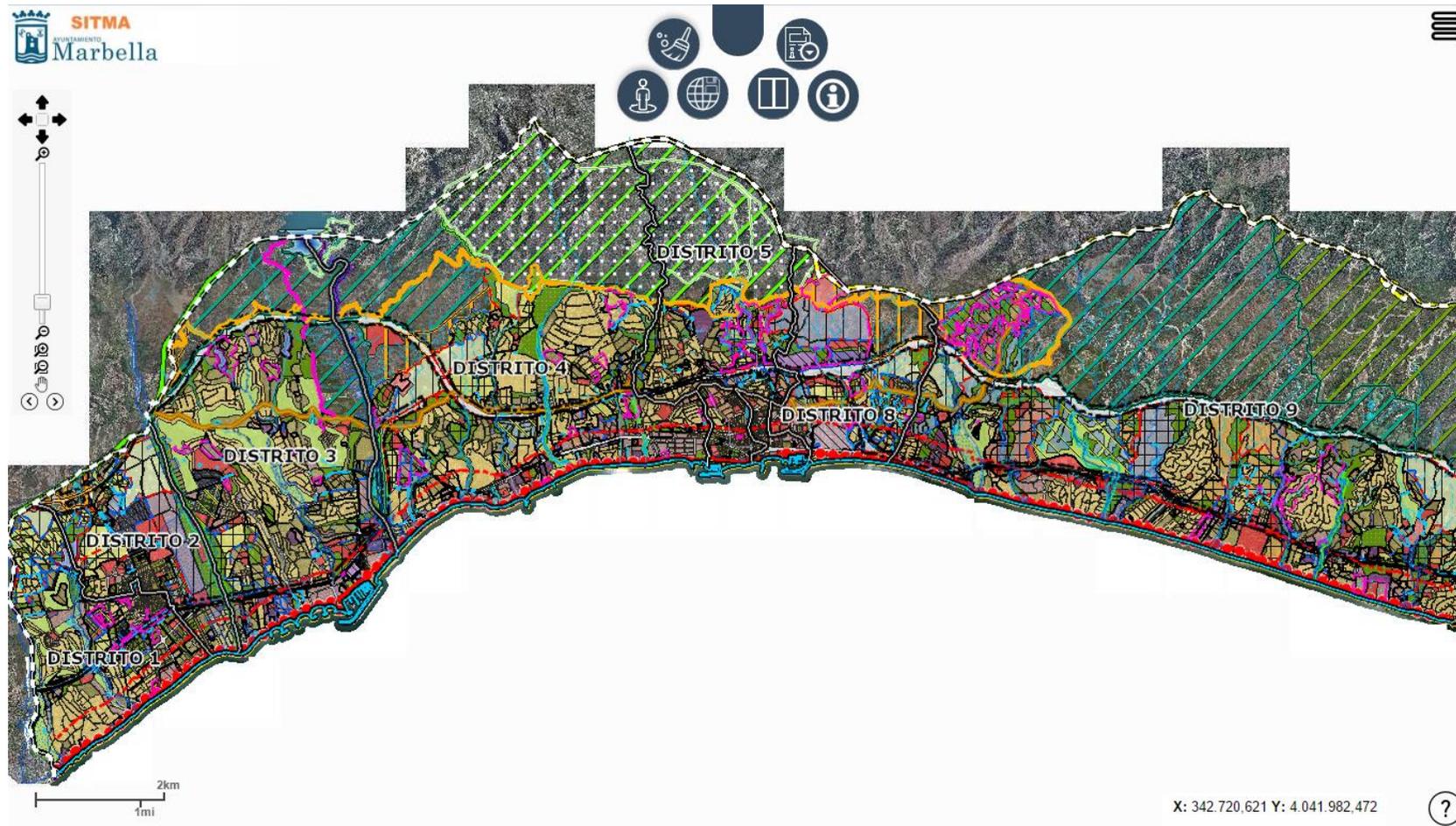


Ilustración 24: Pantalla del aplicativo SITMA. Ubicación: Marbella 2D [12]

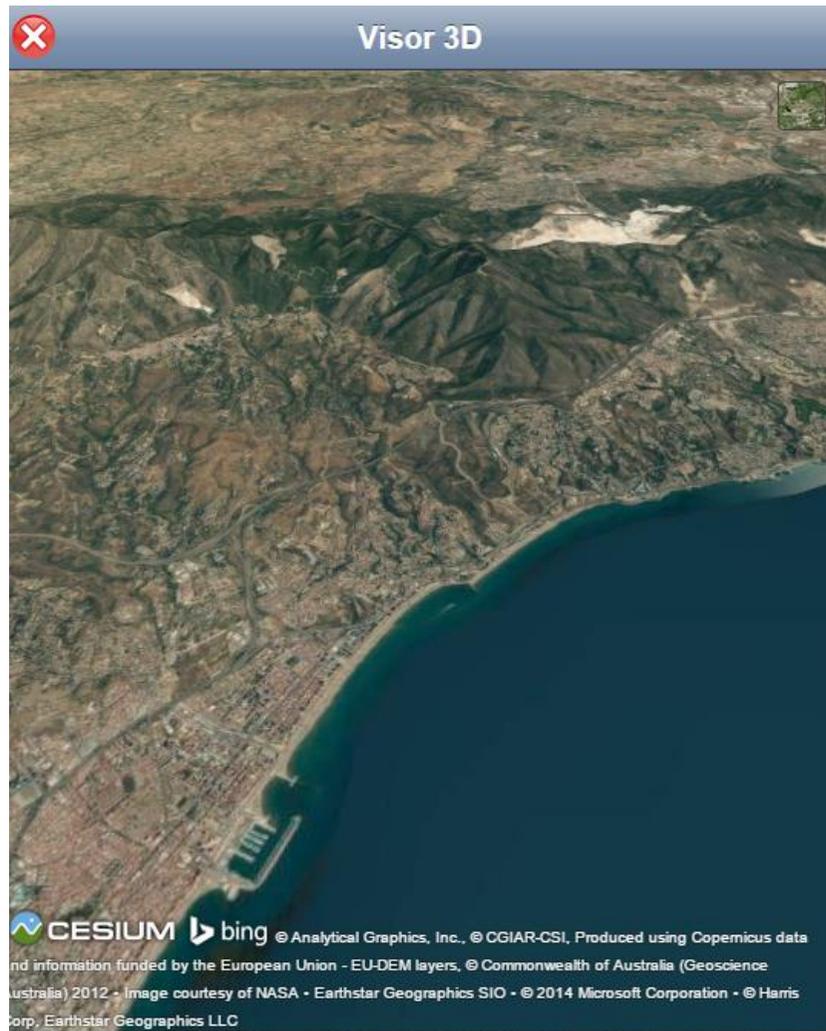
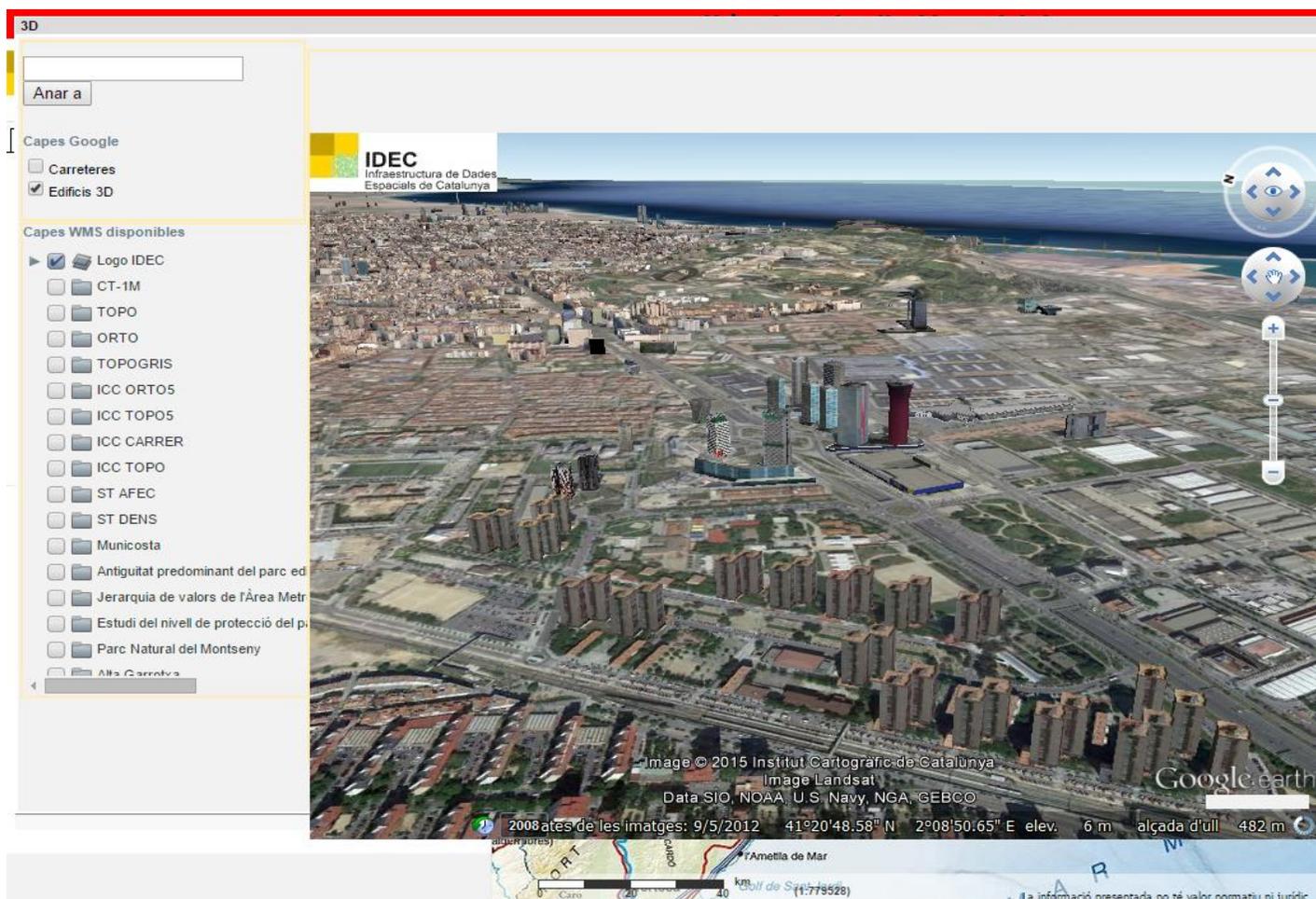


Ilustración 25: Pantalla del aplicativo SITMA. Ubicación: Marbella 3D [17]

- IDEC Local: Infraestructura de Datos Espacial de Catalunya



Il·lustración 26: Pantalla del aplicativo IDEC Local. Ubicación: Catalunya [16]

- IDE Canarias

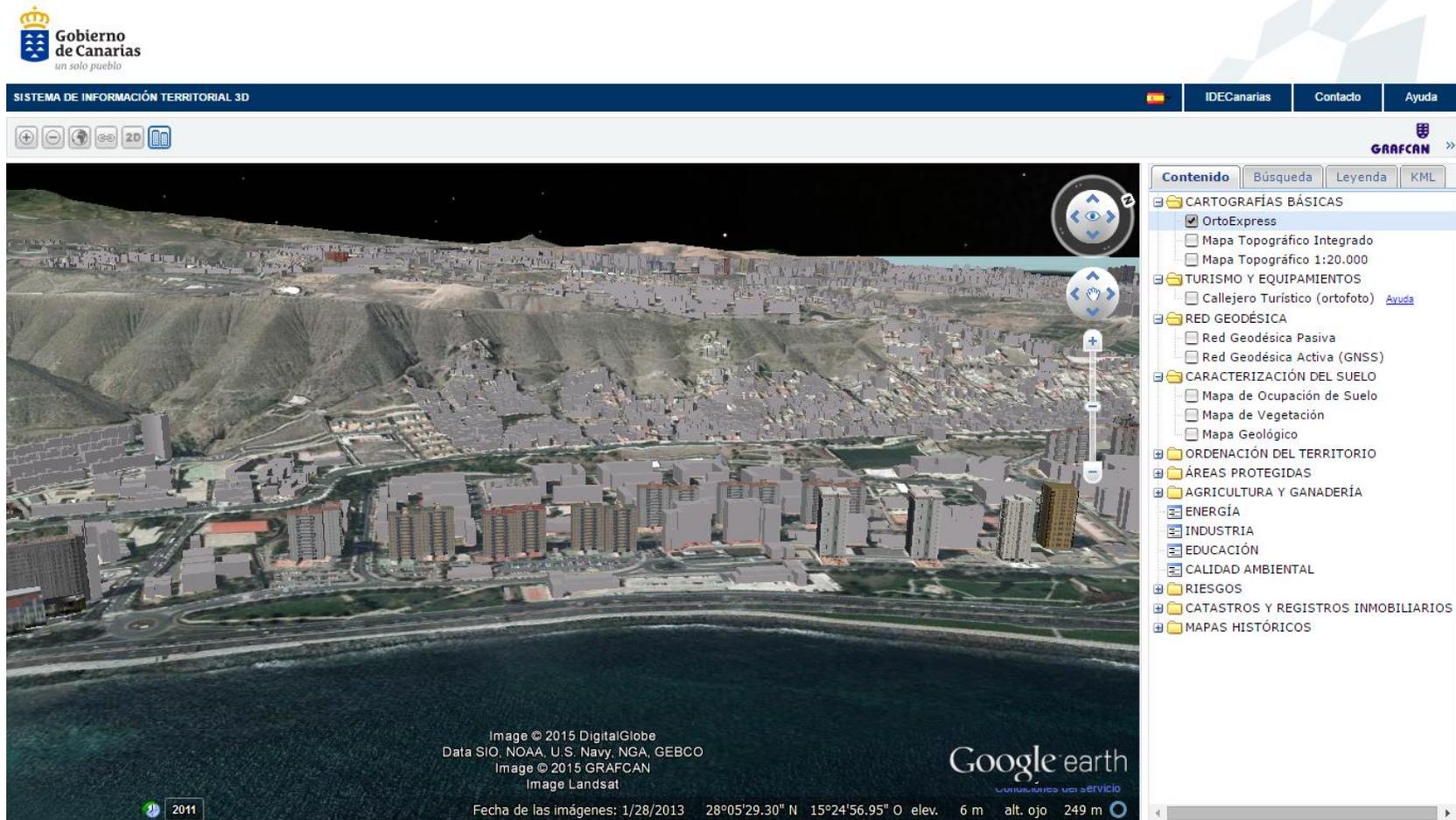


Ilustración 27: Pantalla del aplicativo IDE Canarias. Ubicación: Canarias, se visualiza la capa cartográfica OrtoExpress (ortofotos) . [18]

1.3.2 NASA World Wind

Es una aplicación de globo virtual gratuita y de código libre.

Desarrollada por el Proyecto de Tecnologías del Aprendizaje de la NASA e impulsada por la comunidad de desarrolladores de código abierto y el personal comprometidos. [19]

Implementa imágenes satelitales, DEM¹⁸ y herramientas de navegación. Además aplica diversos módulos que soportan WMS, el formato vector y raster, elevaciones, modelos y objetos 3D. [19]

El archivo ejecutable se dispone bajo la plataforma de Java Web Start, por lo que su programación y desarrollo se realiza con Java Software Development Kit. [19]

¹⁸ DEM: Digital Elevation Model o Modelo de Elevación Digital

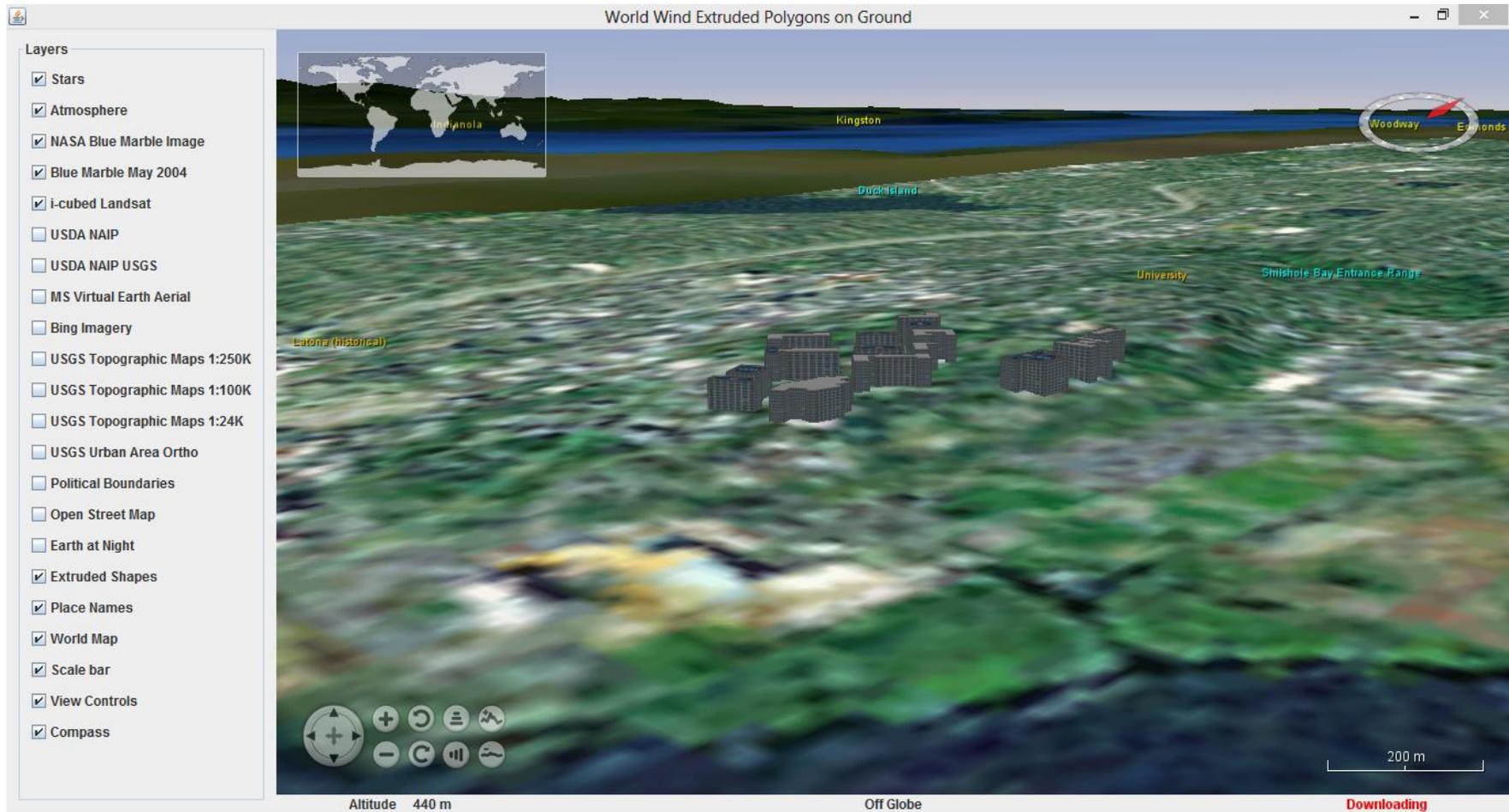


Ilustración 28: Pantalla del visor NASA World Wind. Ubicación: Kingston – EEUU, se visualizan las capas: Atmósfera, estrellas e imágenes satelitales. [19]

1.3.3 OsgEarth

Es un proyecto de globo virtual gratuito y de código abierto, basado en la estructura de un GeoId.

OsgEarth está desarrollado y administrado por la firma Pelican Mapping (Estados Unidos).

EL proyecto agrupa herramientas de renderizado escalable¹⁹ de terreno, que forma parte de OSG (OpenSceneGraph). Está escrito en el lenguaje de programación C++, empleando la multiplataforma y compilador de OpenGL. OSG es un conjunto de herramientas de gráficos de alto rendimiento que da solución al diseño de juegos, superficies virtuales y visualizaciones científicas.

OsgEarth soporta los formatos de datos raster, vector, datos de elevación del terreno y modelos 3D.

Los datos son gestionados en las estructuras de servicios WMS, WMS-T (tiempo), WCS, TMS (Tile Map Standard).



Ilustración 29: Representación de imágenes en 3D del aplicativo.

¹⁹ Renderizado: proceso de generación de imagen o video basado en el cálculo de iluminación GI de un modelo 3D.

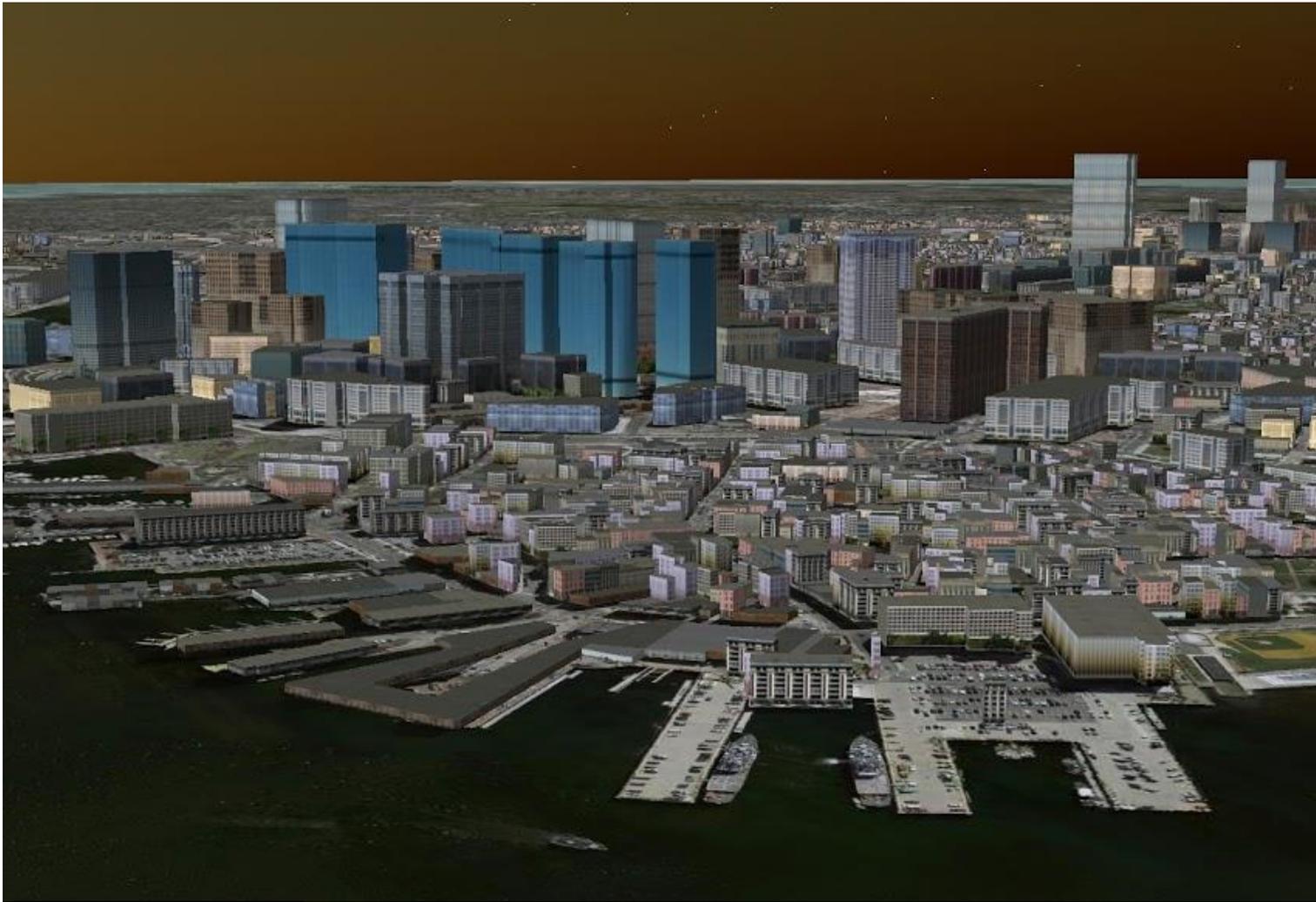


Ilustración 30: Representación de imágenes en 3D del aplicativo.

CAPITULO 2. CARTOGRAFÍA EN 4 DIMENSIONES (4D)

2.1 Introducción

A razón de la dinámica de un objeto en la tierra está en constante movimiento, expansión o cambios de estructuras, se evidenció la necesidad un control de seguimiento de estos procesos, para la cual el análisis en la línea temporal es la opción ideal. [20]

Tres dimensiones conforman la medición espacial de un área geográfica en cuestión, una 4ta dimensión, permite controlar cambios limítrofes, de infraestructura, geológicos, entre otros en torno a la variable del tiempo.

Desde el año 2005, la compañía de desarrollo de servicios y productos tecnológicos Google, impulsó el uso de la información cartográfica, para más tarde incluir la visualización espacio-temporal de los mapas geográficos. [20]

El tiempo, como variable de contraste de datos, permite incluir cambios en rangos de hora y fecha, ejecutando consultas y respuestas en tiempo real. [20]

Las fuentes tecnológicas de recolección de información emplean imágenes satelitales, fotografías aéreas, SIG globales 3D y GPS de alta precisión. [21]

2.1.1 Datos espacio-temporales

Los modelos de datos espaciales representan los comportamientos basados en datos estáticos. Al incorporar modelos dinámicos y dependientes de la variable temporal, se obtiene una representación del mundo real en torno a los cambios y evolución de los fenómenos geográficos. [22]

El tiempo y espacio son variables en las que un elemento geográfico se ve afectado constantemente y no puede ser aislado del flujo espacio-temporal²⁰.

En cada etapa del ciclo de vida, el elemento puede cambiar de localización, estructura o infraestructura, dependiendo la naturaleza del mismo. [22]

La información admisible y gestionada en un SIG, de acuerdo al flujo espacio-temporal, inicia en la recopilación de los geodatos y termina en el momento que éstos se destruyen. [22]

²⁰ Flujo espacio-tiempo inicia cuando un elemento geográfico es creado, y finaliza cuando muere o se destruye.

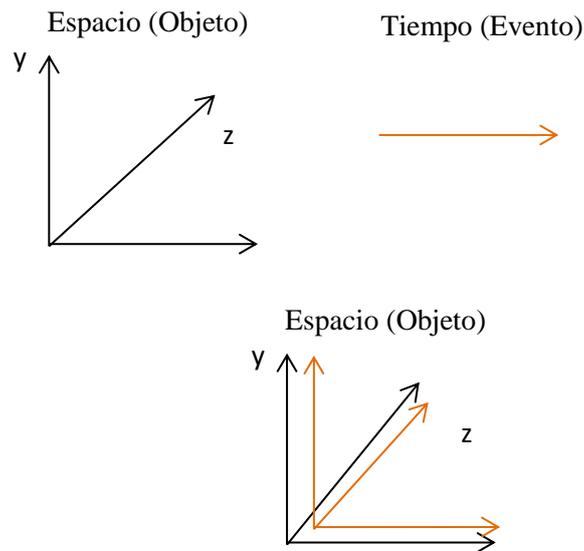


Ilustración 31: Representación Entidad Espacio-Temporal [1]

2.1.2 Almacenamiento de datos temporales

El formato digital varía de acuerdo al uso y necesidad, pero básicamente la compactibilidad y portabilidad los datos son características básicas.

Los formatos conocidos y recomendados son [22]: NetCDF (*Networked Common Data Form*), HDF (*Hierarchical Data Format*), XML (*eXtensible Markup Language*), GML (*Geographic Markup Language*) y KML (*Keyhole Markup Language*).

2.2 Metodología para implementación, arquitectura y soluciones de software

2.2.1 Implementaciones

A continuación se presentan los casos de proyectos que dan usos particulares a la 4ta dimensión en el tratamiento de información geográfica.

2.2.1.1 Reconstrucción y visualización de “Espacio-tiempo virtual de Kyoto”, un SIG 4D de la ciudad

En la ciudad de Kyoto-Japón, la reconstrucción posguerra, puso en evidencia la necesidad de establecer un registro de las estructuras y contrastar los cambios de las mismas en términos de progreso y protección ambiental.

El tiempo actual es considerado el punto de inicio, además recorre retrospectivamente desde el siglo XX al XVII, y del período XII al VIII. [23] Primeramente se reconstruyó la ciudad en 3D, para luego generar el SIG 4D, con documentación histórica e información obtenida de Realidad Virtual.



Ilustración 32: Representación virtual de vía de la ciudad Kyoto-Japón. [4]

Para la documentación histórica se emplearon datos LIDAR²¹ (*Laser Imaging Detection and Ranging*), mapas digitales 2D y fotografías aéreas. [7]

²¹LIDAR: tecnología que calcula la distancia existente entre emisor láser a un objeto o plano mediante la pulsación de un haz de láser.

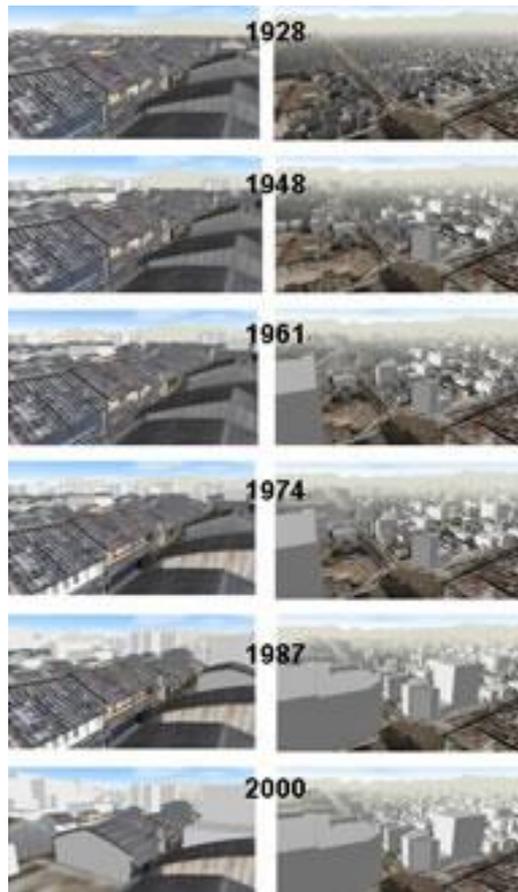


Ilustración 33: Representación virtual 3D/4D de un barrio de la ciudad Kyoto, desde el año 1928 hasta el 2000. [7]

A continuación se describen las especificaciones de cada material de datos utilizado.

LIDAR o perfilador láser [9]:

- Datos punto de la nube, obtenidos por un perfilador laser aerotransportado que captura la elevación de terrenos y edificios.
- Escala: aproximadamente 1m
- Exactitud-Vertical: 15cm
- Exactitud -Horizontal: 30cm
- Cada punto tiene latitud y longitud
- Foto aérea [9]:
- Foto digital aérea y coordinación de información local estandarizada
- Resolución: 20-40cm por pixel

Mapa de datos 2D [9]:

- Datos vectoriales basados en mapas 2D
- Esquemas y datos de atributos de los objetos, tales como edificios, vías y ferrocarriles.

La generación automática del visor 3D genera un modelo geométrico preciso de terrenos y edificios, con fachadas foto-realistas.

2.2.1.2 Desarrollo del modelo de SIG 4D para la Planificación y Programación de un proyecto de construcción

La Universidad Técnica de Estambul, impulsa la implementación de un modelo SIG 4D para construcción de mapas que contrasten los cambios reales de la tierra. [10]

La investigación se basa en los cambios que pueden ocurrir en las placas tectónicas, realizando consultas con datos actualizados a la fecha ingresada.

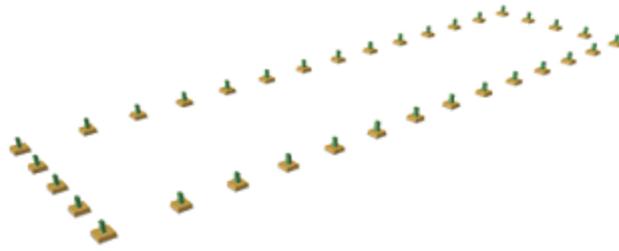
El proyecto se propone dar soporte a la actividad de construcción, así como al control del trabajo. La metodología se basa en un sistema de monitoreo del progreso en la construcción, destacando las posibles soluciones de *networking*²² y análisis de datos 3D, creando un sistema de coordenadas para la posterior creación del modelo 4D. [10]

El estudio evidencia los beneficios del uso de los SIG aplicado a la gestión de proyectos de construcción, utilizando herramientas para el control y monitoreo del progreso en el levantamiento de las estructuras, como lo son ArcGIS, Primavera, AutoCad y Visual Studio. [10]

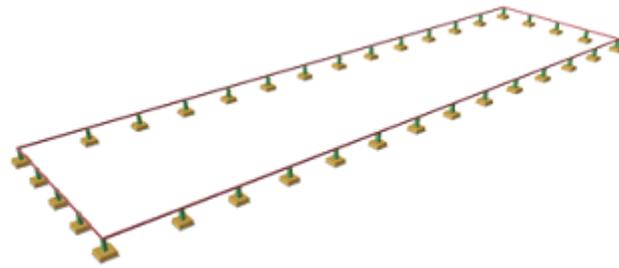
La minimización de retrasos y sobrecostos, son los principales beneficios de este proyecto.

Se prevé en un futuro la integración de inteligencia artificial al sistema, para dar respuesta a los cambios globales climático-geológicos. [10]

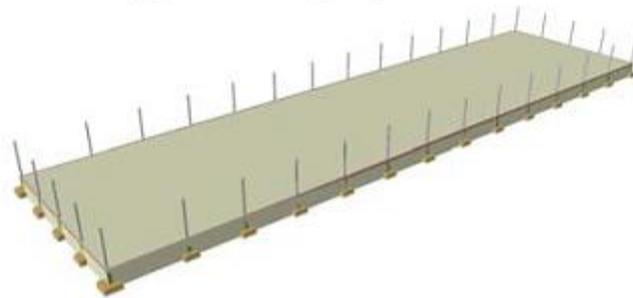
²² Soluciones de *networking* se refiere a las instalaciones de red de cualquier tipo.



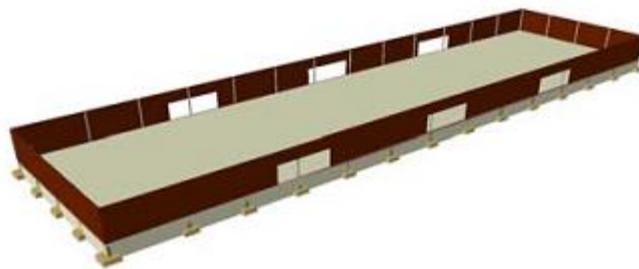
Vista de un pedestal de construcción



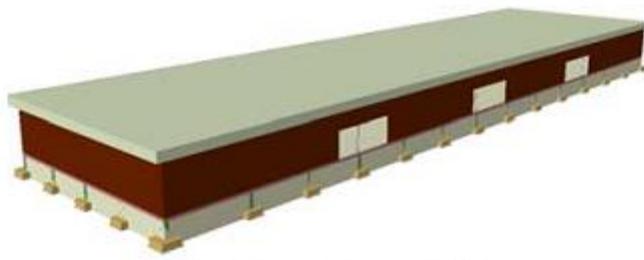
Vista de un pedestal de vigas



Vista de una columna



Vista de una pared de bloques



Vista final de la construcción de una fábrica

Ilustración 34: Representación del proyecto en la construcción de un objeto.

2.2.1.3 Desarrollo y uso de un SIG 4D para dar soporte a la conservación de Calakmul (México, el Programa de Patrimonio de la Humanidad)

Calakmul es una reserva ecológica dentro de una ciudad de Maya en la península de Yucatan-México. [11] La conservación de la biósfera protegida se mantiene desde 1989, por lo que en el año 2007 el proyecto la UNESCO apoya el desarrollo del Sistema de Gestión de Información con el fin de coordinar las acciones de conservación, gestión, planeamiento, supervisión e investigación realizada en el área.

El Sistema de Gestión de Información dispondrá de un visualizador cargado como servicio en la web, integrando capas SIG 2D, la variable temporal y objetos 3D en capas grandes y pequeñas. [11]

Los datos almacenados corresponderán al inventario arqueológico, la cartografía individual de Calakmul y la cartografía de las áreas naturales protegidas.

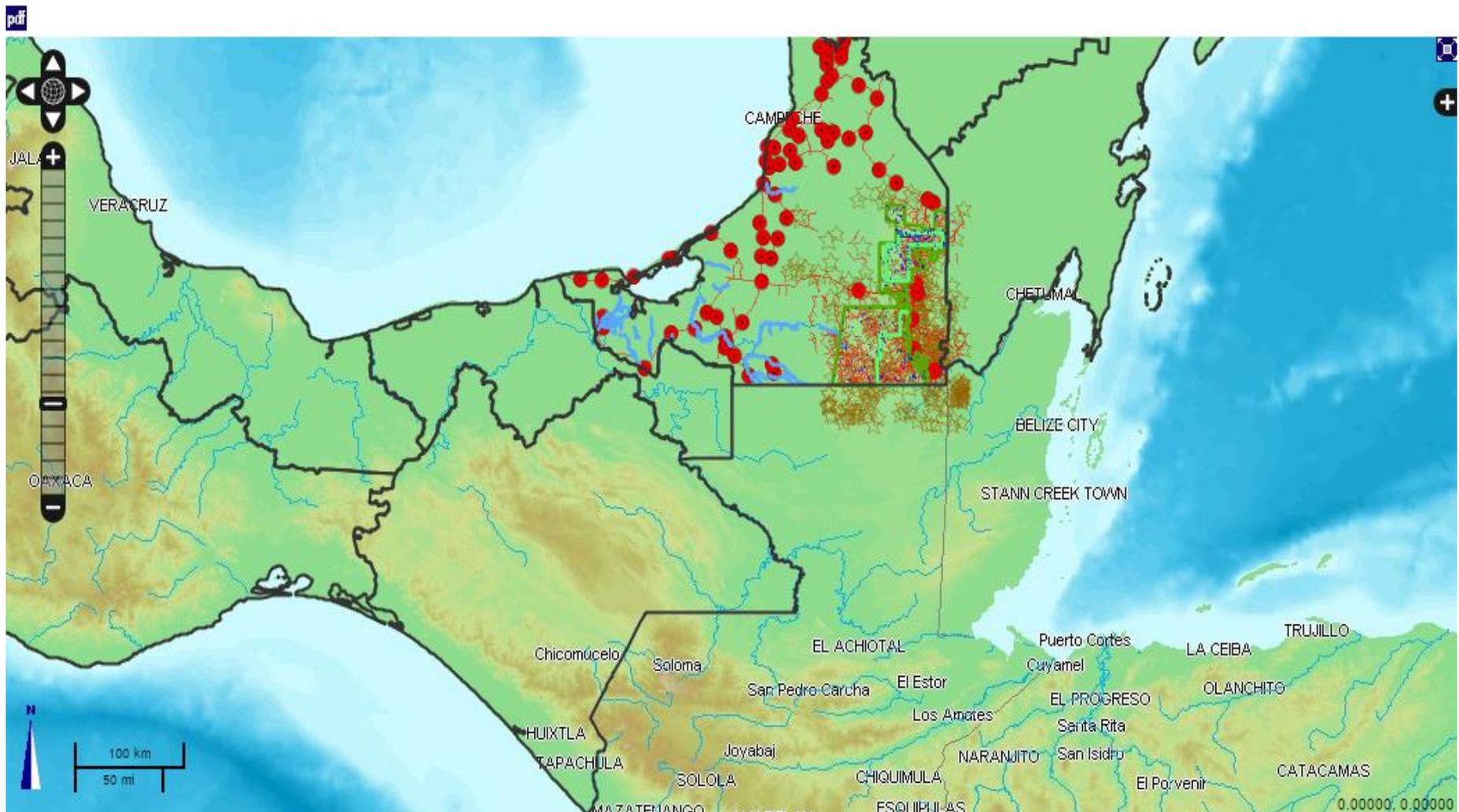


Ilustración 35: Aplicativo del visor disponible en la web <http://calakmul.inah.gob.mx/>[11]

2.2.2 Soluciones de software

Las herramientas o sistemas de software que apoyan el desarrollo de SIG basados en 4D, se describen.

2.2.2.1 Google Earth

Desarrollada por la empresa Google. Es su primer servicio web para la tecnología de búsqueda geográfica. Esta herramienta acapara imágenes y mapas 3D, con vista satélite. [22]

Desde su 5ta versión, Google Earth agregó la opción de visualizar imágenes históricas capturadas en diferentes rangos de años dependiendo de la fecha de la imagen satelital capturada. [22]



Ilustración 36: Ubicación St. Louis Stadium, St. Louis, Missouri, obtenida de Google Earth Pro

Está orientado al usuario consultor, sobre cualquier dirección o área geográfica global. Sus funcionalidades se especifican como [22]:

- **Búsqueda**
Da acceso a la vista aérea de Google Earth, por medio de un vuelo virtual acoplado a los parámetros de búsqueda.
- **Lugares**
Opción que registra las actividades, o lugares y recorridos visitados o especificados como favoritos.
- **Capas**
Característica multifuncional, para visualizar los lugares de búsqueda con capas agregadas como edificaciones 3D, carreteras, fotografías, océanos, estado del tiempo/clima, relieve, entre otras.

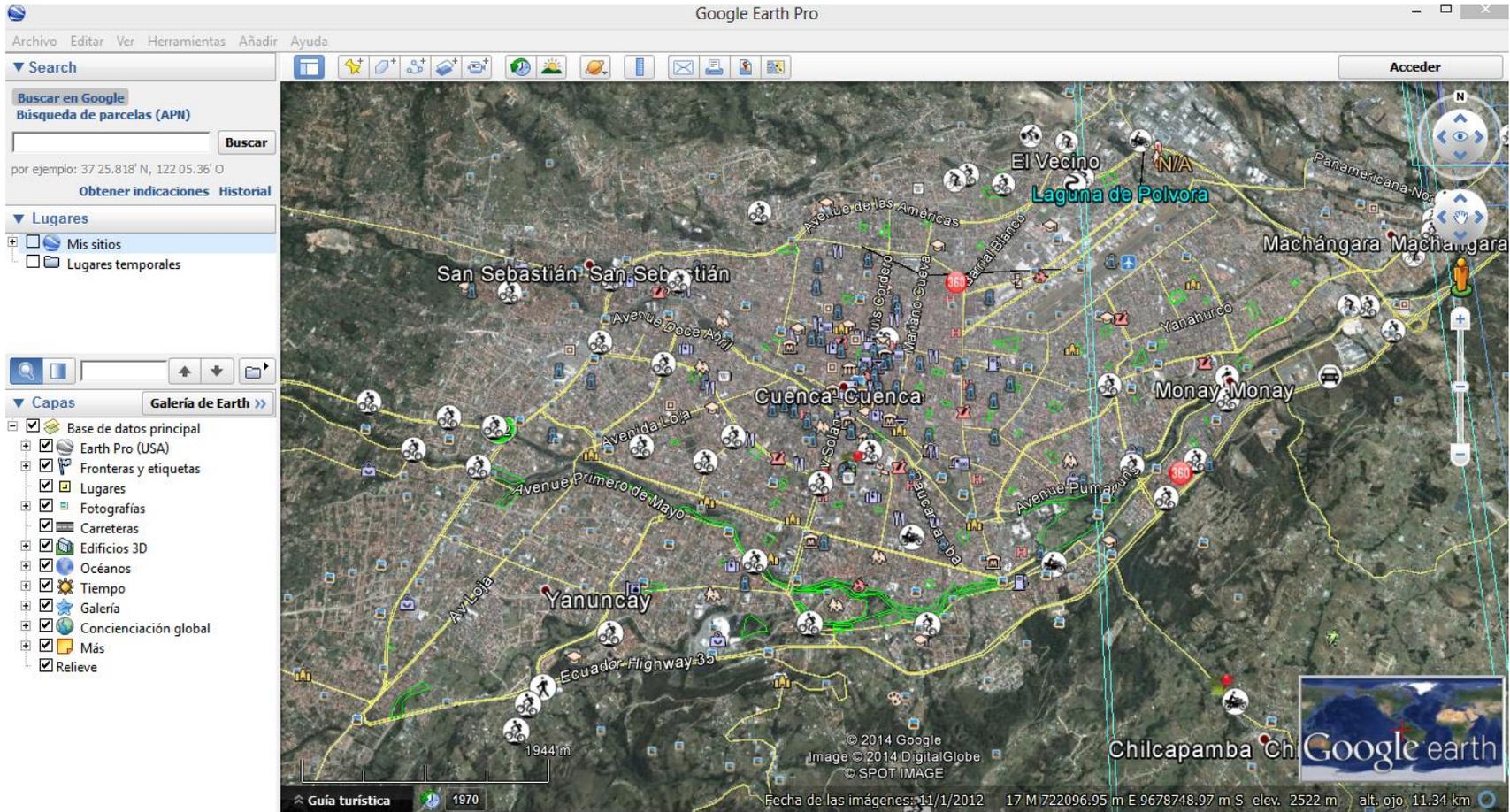


Ilustración 37: Captura de interfaz con capas de Google Earth Pro, Ubicación Cuenca-Ecuador

2.2.2.2 GoCAD

Paquete de herramientas aplicado al análisis integral, cuantitativo, multidisciplinario de modelos 3D/4D. Permite importar datos de diseños de sondajes de exploración, y el software gestor del proyecto en cuestión puede controlarse desde una aplicación de software central. [24]

GoCAD está orientado a las actividades de exploración minera, evaluación de recursos, y diagnóstico del peligro geotécnico. [24]

Se caracteriza por su entorno de consultas 3D-SIG totalmente integrado y visualización avanzada, para distintos modelados: geológico, de bloque y modelado de propiedades. [24]

Paquetes:

- Software de modelado e interpretación geológica avanzada
- Maneja aplicaciones del modelado topológico en 3D.
- Software de interpolación y geoestadística²³
- Conjunto de algoritmos geoestadísticos para la estimación y simulación espacial en el modelado de empleando cualquier variable continua y categórica.
- Software de análisis de geoquímica y exploratorio de datos
- Software Geotécnico

Evaluación integrada, en tiempo real, basado en 4D-GIS geotécnico de riesgo para proyectos de minería subterránea y a cielo abierto. Trabaja con el control de flujo de trabajo tanto para 4D, análisis de respaldo y previsión del peligro geotécnico. [24]

2.2.2.3 GeoVisionary

GeoVisionary, combina un motor de datos y un conjunto de herramientas virtuales geológicas para la visualización, interpretación y distribución de conjuntos de datos. [25]

Surge de la colaboración entre Virtualis, empresa desarrolladora de sistemas en realidad virtual, y el Servicio Geológico Británico.

²³ Geoestadística: Rama de la Geografía matemática, que analiza conjuntos de datos espaciales o espacio-temporales.

GeoVisionary tiene versiones funcionales para estaciones de trabajo en oficina o también computadores portátiles. [25]

Trabajan con conjunto de datos CAD, que provee una mejor resolución 3D.

Las capacidades del GeoVisionary en su versión 2 incluyen [25]:

- Visualización de voxels²⁴ para la interpretación de modelos volumétricos o de bloques.
- Alta capacidad de generación de nubes de puntos a partir de los datos de escaneo láser.
- Manejo de 4D o series de tiempo, permitiendo la comparación y análisis de tendencias entre los datos recopilados en diferentes períodos de tiempo.

2.2.2.4 GvSig

Se trata de un proyecto de código libre para el desarrollo de SIG. Incluye los proyectos derivados: gvSIG Desktop, gvSIG Mobile, i3Geo, gvSIG Educa, gvSIG commons. [26]

gvSIG Desktop es el paquete de software, orientado al manejo de la información geográfica con mediciones cartográficas, por lo tanto da tratamiento a los formatos vectorial y ráster. Entre sus funcionalidades está la captura, almacenamiento, manipulación, análisis y despliegue de información geográficamente referenciada. [26]

Además cumple con las especificaciones del OGC²⁵ (Open Geospatial Consortium) para el alojamiento de la información en los servidores: WMS (Web Map Service), WFS (Web Feature Service), WCS (Web Coverage Service), Servicio de Catálogo y Servicio de Nomenclátor. [26]

El lenguaje de programación de desarrollo es Java, permitiendo compatibilidad con los sistemas operativos Windows, Linux y Mac OSX. [26]

²⁴ Voxels: unidad cúbica que compone un objeto tridimensional, equivalente a un píxel en el modelo 3D

²⁵ OGC: Es una organización internacional de estándares consensuados voluntariamente para servicios y contenido geoespacial, procesamiento y compartición de datos SIG.

La característica de presentación de la información geográfica en 4D, emplea el formato NETCDF (Network Common Data Form), para datos vectoriales y raster y multitemporales. [26]

La arquitectura de datos para el tratamiento de los datos en la línea de tiempo se basa en la animación de información recogida de un Marco de mapeo, enlazando a las variables de tiempo para desplegar los visores para las capas 2D o 3D respectivamente

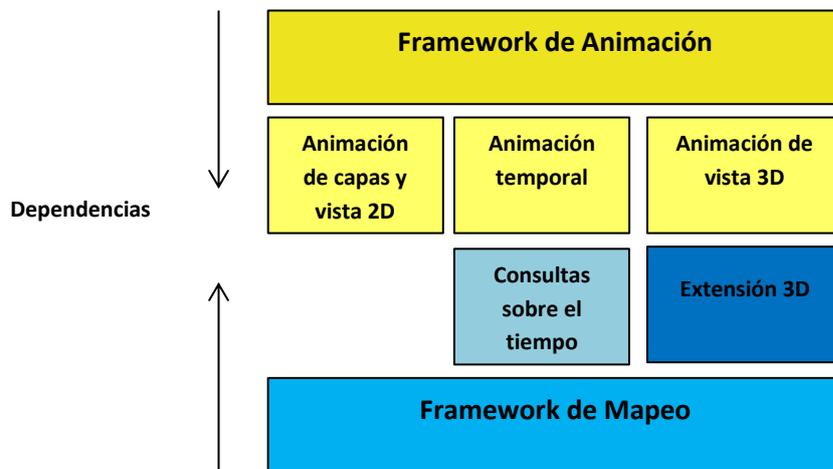


Ilustración 38: Arquitectura de gvSIG con el Tiempo

Para el manejo de la información vectorial da acceso a los esquemas GML, SHP, DXF, DWG, DGN, KML y para ráster MrSID, GeoTIFF, ENVI y ECW.

2.3 Casos de éxito

A continuación, los proyectos de diseño y gestión de SIG en 4D con éxito reconocido.

2.3.1 Aplicación web del software de visualización Makai Voyager 3D / 4D

La empresa Makai Ocean Engineering provee soluciones en temas de diseño y desarrollo de:

- Servicios para energía renovable marina
- Software de simulación y visualización de datos científicos en 4D/5D
- Software para planificación, instalaciones y mantenimiento de cables submarinos

El sistema de simulación de información geoespacial Makai Voyager, permite importar, fusionar, visualizar y analizar datos sobre la longitud de la tierra, océano y atmósfera, mientras es simulada en una plataforma global SIG geo-referenciada.

Makai Voyager está disponible en la web y consiste en las siguientes características:

- Pre procesamiento de LIDAR, SIG y datos volumétricos compactados en archivos transmisibles por la red.
- Gráficos de volumen renderizado para datos de gran longitud en 4D.
- Herramientas de análisis y gráficos personalizables.
- Formatos transmisibles, como WMS.

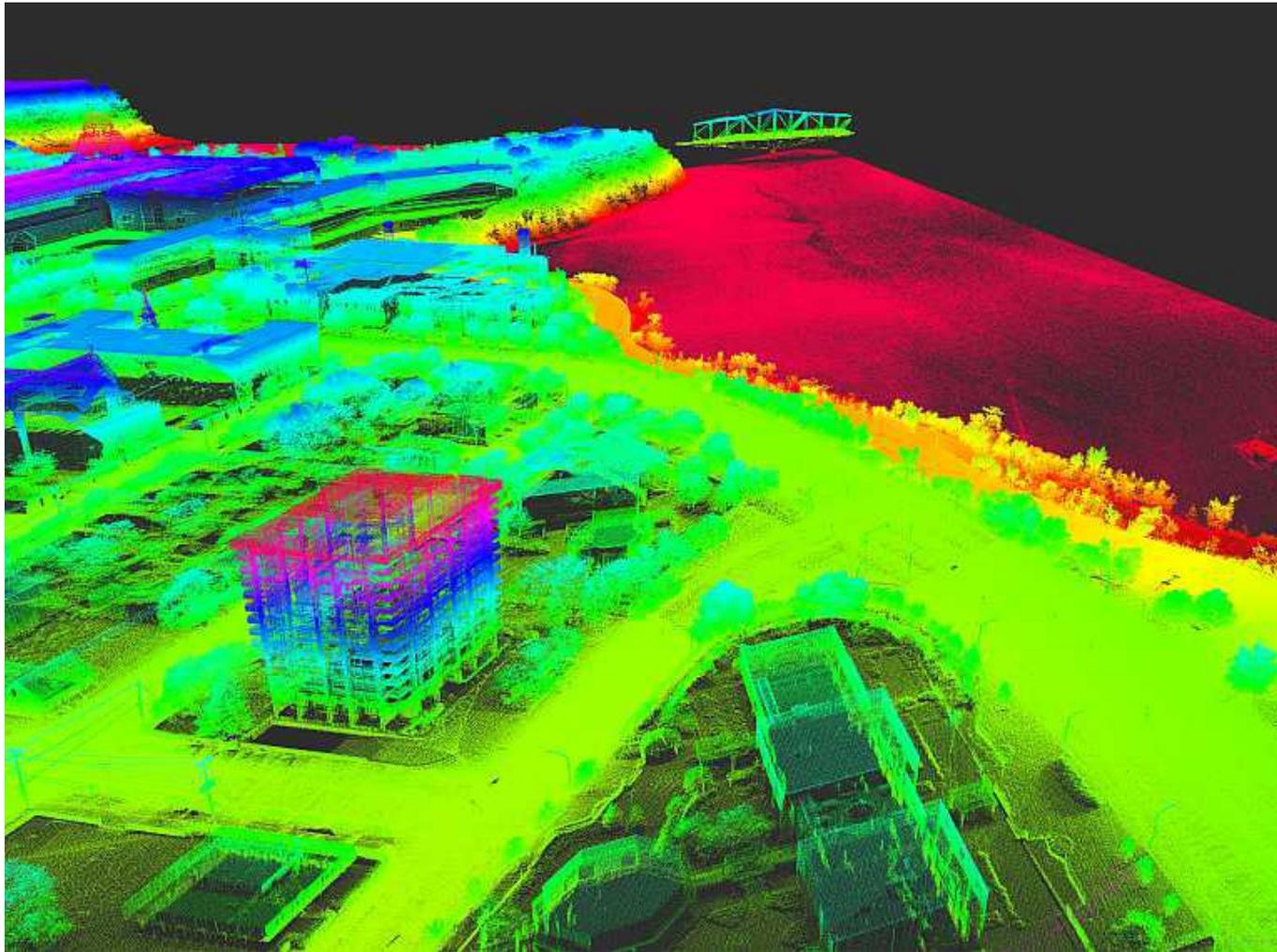


Ilustración 39: Representación del aplicativo en 3D, con imágenes satelitales renderizadas por el color de elevación.

2.3.2 Proyecto GeoNet

Es un SIG basado en el análisis 4D, iniciado por la Comisión Europea, inicialmente fue aplicado en dar solución a los inconvenientes emergentes en zonas portuarias. Sin embargo el sistema deberá adaptarse a múltiples dominios de problemas.

GeoNet maneja el concepto de 'mapas inteligentes', a diferencia de un mapa básico el cual se caracteriza por el realce que da la adición de capas, donde cada capa proporciona acceso a un conjunto diferente de información. GeoNet vincula las características de dicho mapa a diferentes formatos de documentos web, tales como imágenes, páginas HTML, CGI, entre otros. [27]

GeoNet agrega información sobre los detalles de infraestructura y datos geográficamente relacionados a secuencias de tiempo de un evento en particular, como el movimiento de un derrame de petróleo o cambios en las condiciones ambientales a través de las estaciones. [27]

CAPÍTULO 3. DISEÑO DEL SISTEMA PROTOTIPO CON LA INFORMACIÓN MUNICIPAL

3.1 Recopilación de información geográfica vectorial y raster

La organización de recursos de un SIG, debe considerar la recopilación de los datos de fuentes seguras y formatos compatibles con las herramientas seleccionadas para el desarrollo del sistema prototipo.

En esta sección se describen los tipos de datos empleados y las características correspondientes a las capas mostradas en el visor de datos geográficos a implementarse.

Dentro de las capas recopiladas se reconocen cuatro categorías de datos relacionados con la Dirección de Avalúos, Catastros y Estadísticas del área urbana del cantón Cuenca, entre las cuales constan: plano *manzanero*, *predios*, *vías* y *pisos o plantas*.

Estas capas se recibieron en formato *shape* y se migraron con capas a la base de datos geográfica PostgreSQL. La información raster se almacenó en archivos en formato TIF²⁶.

Se desarrollaron dos aplicativos o módulos principales y a continuación se explica el tipo de información utilizada en los mismos:

- Aplicativo 3D: Los datos de tipo vector fueron entregados en formato de archivo *shape*. Las capas de *plantas* descritas cubren el territorio de la ciudad de Cuenca y corresponden al año 2014.
- Aplicativo 4D: En este caso, se emplean datos de los tipos vector y raster.
 - Vector: Se obtuvieron archivos en formato *shape*. Dado que se agrega la variable temporal como atributo, se especifica el año como parámetro de medición.

Se distinguen los años:

- 2008, para las capas de *Manzanas*, *Predios*, *Vías*.
- 2010, para la capa *Predios*.
- 2014, para las capas de *Manzanas*, *Predios*, *Vías*, *Planta 1*, *Planta 2* y *Planta 3*.

²⁶ TIF (Tagged Image File Format): Formato de archivo informático para imágenes

- Raster: Las imágenes satelitales fueron obtenidas con el software Google Earth Pro, del cual existe una versión gratuita. Las imágenes raster cubren únicamente los sectores del Mercado nueve de Octubre y el Control Sur, donde se aprecia claramente el cambio de la estructura urbana en distintos años.
 - Mercado nueve de Octubre: 2008, 2010, 2011 y 2012.
 - Control Sur, para los años 2009, 2010, 2011 y 2012.

3.2 Definición de estándares, software, hardware de la organización municipal.

El GAD Municipal del cantón Cuenca presenta un conjunto de herramientas de software y hardware que soporta al SIG actualmente administrado.

3.2.1 Software

Se emplean herramientas con licencias tanto privativas como de código abierto.

3.2.1.1 Software Privativo

- Oracle 11g: Es la Base de Datos principal, que da soporte al almacenamiento de datos geográficos.
- ArcSDE 10.2: Utilizada como la herramienta de Sistemas de Gestión de Bases de Datos Relacionales para datos espaciales.
 - ArcGIS para Servidor 10.2, es empleada para crear, gestionar y distribuir los servicios SIG en la web.
 - ArcGIS para Escritorio 10.2, permite visualizar, manejar, crear y analizar los datos geográficos.

3.2.1.2 Software Libre

- PostgreSQL, como Base de Datos alternativa a Oracle, para el almacenamiento de datos geográficos.
- PostGIS, como extensión de PostgreSQL, que da soporte a los objetos espaciales geográficos.
- Geoserver, como el servidor para publicación de diferentes servicios.
- Quantum GIS para Escritorio: Es un cliente con funciones similares al software ArcGIS para Escritorio.
- Java para el visor existente en la municipalidad.

3.2.2 Hardware

El equipamiento físico comprende de los siguientes elementos:

- Chasis IBM BladeCenter HT, con módulos de ventilación y capacidad ‘hot swap’. Este incluye cuchillas Blade.
- Servidores para la virtualización.

3.3 Elección de herramientas de Tecnologías de la Información y Comunicación

Esta sección corresponde a la descripción de herramientas tecnológicas posibles para desarrollar el sistema prototipo acoplado a los objetivos definidos.

Es necesario un análisis comparativo de las características principales de cada opción de software potencialmente válido para su selección.

3.3.1 Revisión de herramientas para el sistema prototipo del visor 3D

Las herramientas presentadas corresponden tanto al diseño de la arquitectura, como el modelo lógico establecido para el visor 3D.

3.3.1.1 Software Aplicativo para la visualización 3D

3.3.1.1.1 SpaceEyes3D

SpaceEyes3D es un software dedicado a la representación tridimensional de datos cartográficos.

Se compone de un conjunto de módulos para la elaboración de los modelos 3D a partir de datos SIG, estos son: Generador, Servidor, Visor y un componente web con SDK²⁷ incluido. [28]

El generador 3D, permite visualizar los datos en tres dimensiones, además asesora el estudio sobre el impacto del fenómeno analizado, planeamiento urbano, estudio de los fenómenos naturales, bienes inmuebles, arquitectura y turismo. [28]

El servidor permite difundir vía intranet/internet las imágenes disponibles y los objetos 3D.

²⁷ SDK (Software Development Kit): Kit de Desarrollo de Software es el conjunto de herramientas para la programación de aplicaciones.

El visor, además apoya el análisis de modelos DTM y características de visualización.

El SDK permite desarrollar interfaces personalizadas de visualización 3D, tanto para aplicaciones web como de escritorio.



Ilustración 40: Comunidad urbana de Cherbourg [28]

3.3.1.1.2 3DEM Software para visualización territorial y animación en el vuelo

DEM²⁸ consiste en una cuadrícula de datos, donde cada celda contiene información sobre la ubicación geográfica y la elevación sobre el nivel del mar.

El 3DEM es una herramienta que posibilita la producción de imágenes de territorio en 3D y animación en el vuelo, combinando diversos DEM para proporcionar mapas de alta resolución y proyecciones en 3D de áreas extensas. [29]

Las tareas para el procesamiento de las imágenes, son las siguientes:

- Creación de la superficie del terreno virtual
- Iluminación de la superficie del terreno virtual desde un ángulo adecuado para la protección de sombras y relieves.
- Coloración de la superficie del terreno en función de la elevación

3DEM utiliza las bibliotecas de SGI²⁹ / Microsoft OpenGL³⁰ para el procesamiento 3D.[29]

²⁸ DEM: Modelo de Elevación Digital

²⁹ SGI (Silicon Graphics International), empresa fabricante de equipos computacionales y software.

³⁰ Microsoft OpenGL: Es una interfaz de programación de aplicaciones para la representación de gráficos digitalmente

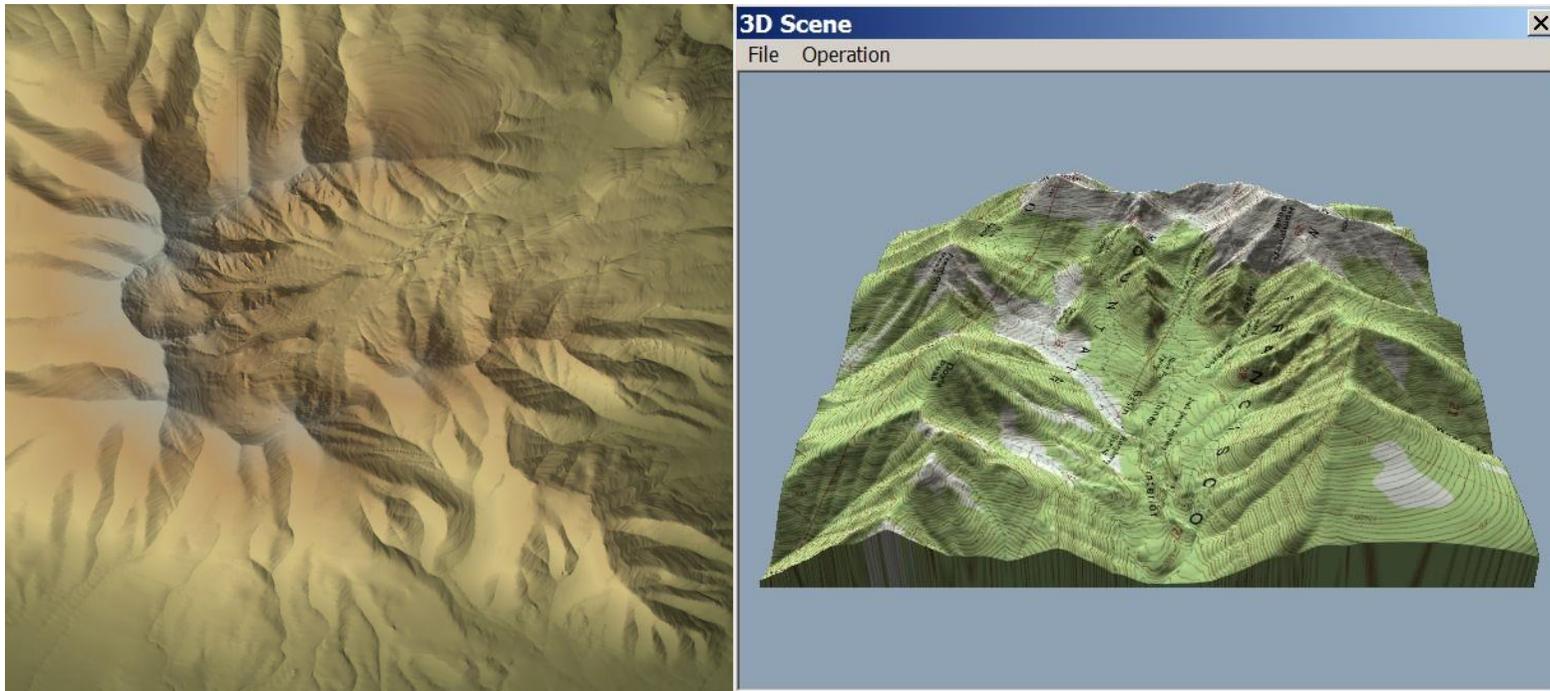


Ilustración 41: Visualizando modelo digital de elevación (DEM) de datos como terreno de color, a la sombra. Superposición de mapas o fotos en la parte superior del terreno con 3DEM para crear vistas en perspectiva [29]

3.3.1.1.3 TerraExplorer

Es una herramienta para explorar, editar, analizar, anotar y publicar entornos interactivos de realismo fotográfico 3D. Permite manejar las características específicas de un área, y mostrar la función, relación y proximidad.

Mediante el visor de TerraExplorer se puede navegar a través de entornos del planeta de alta resolución en 3D, gestionado por la tecnología de SkylineGlobe. El software SkylineGlobe crea los entornos mediante la fusión de la fotografía aérea y satelital, datos de elevación del terreno y otras capas de información 2D y 3D. [30]

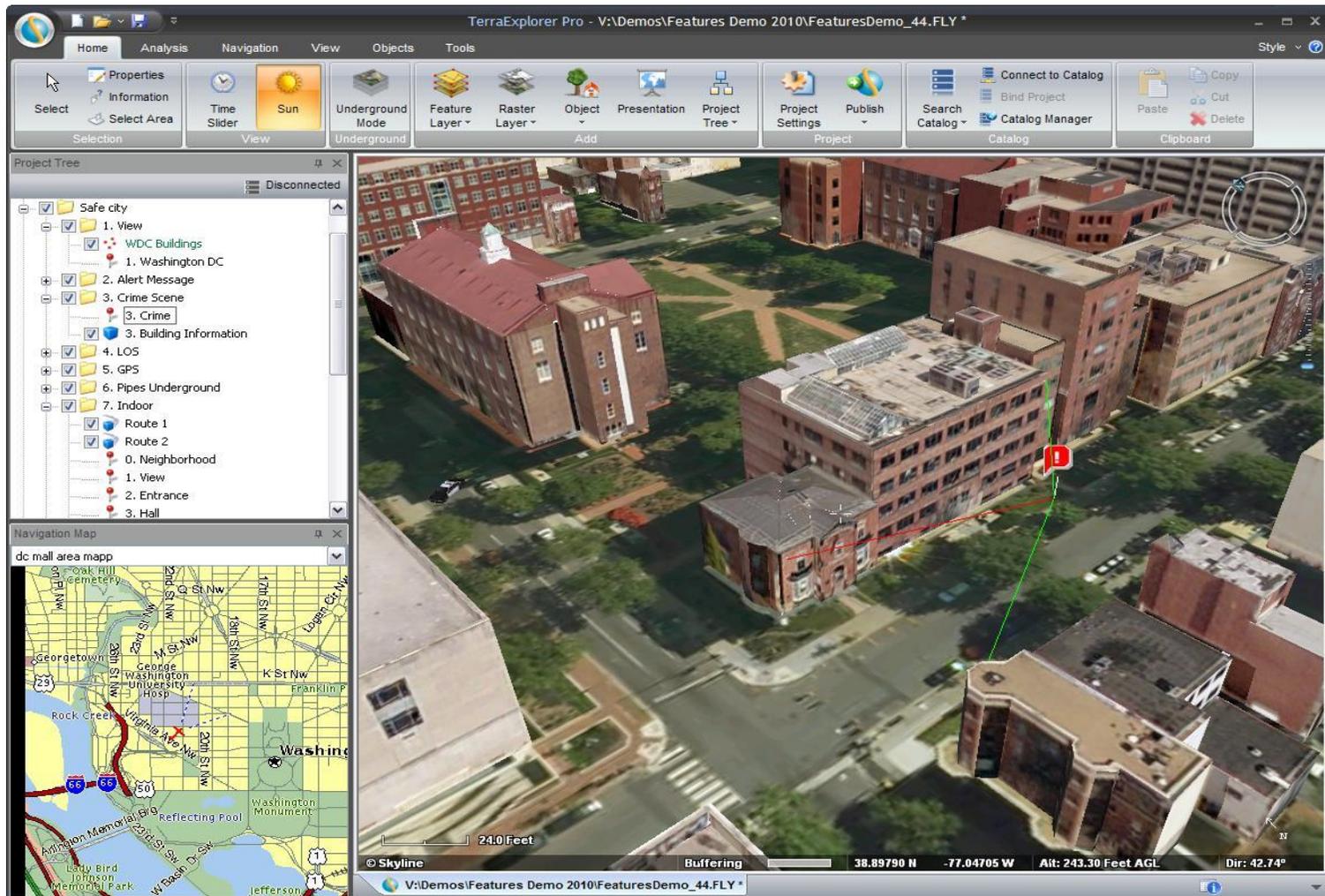


Ilustración 42: Captura de la navegación con el aplicativo Terra Explorer [30]

3.3.1.1.4 Google Earth API

Google desarrolló el complemento web desarrollado bajo JavaScript, para su software Google Earth.

El API o complemento web, permite insertar en un globo terráqueo digital las capas cartográficas en las dimensiones 2D y 3D. [31]

A diferencia de otros visores el API de Google Earth es gratuito y de código abierto. Además es soportado por los navegadores Google Chrome, Internet Explorer y Mozilla Firefox.

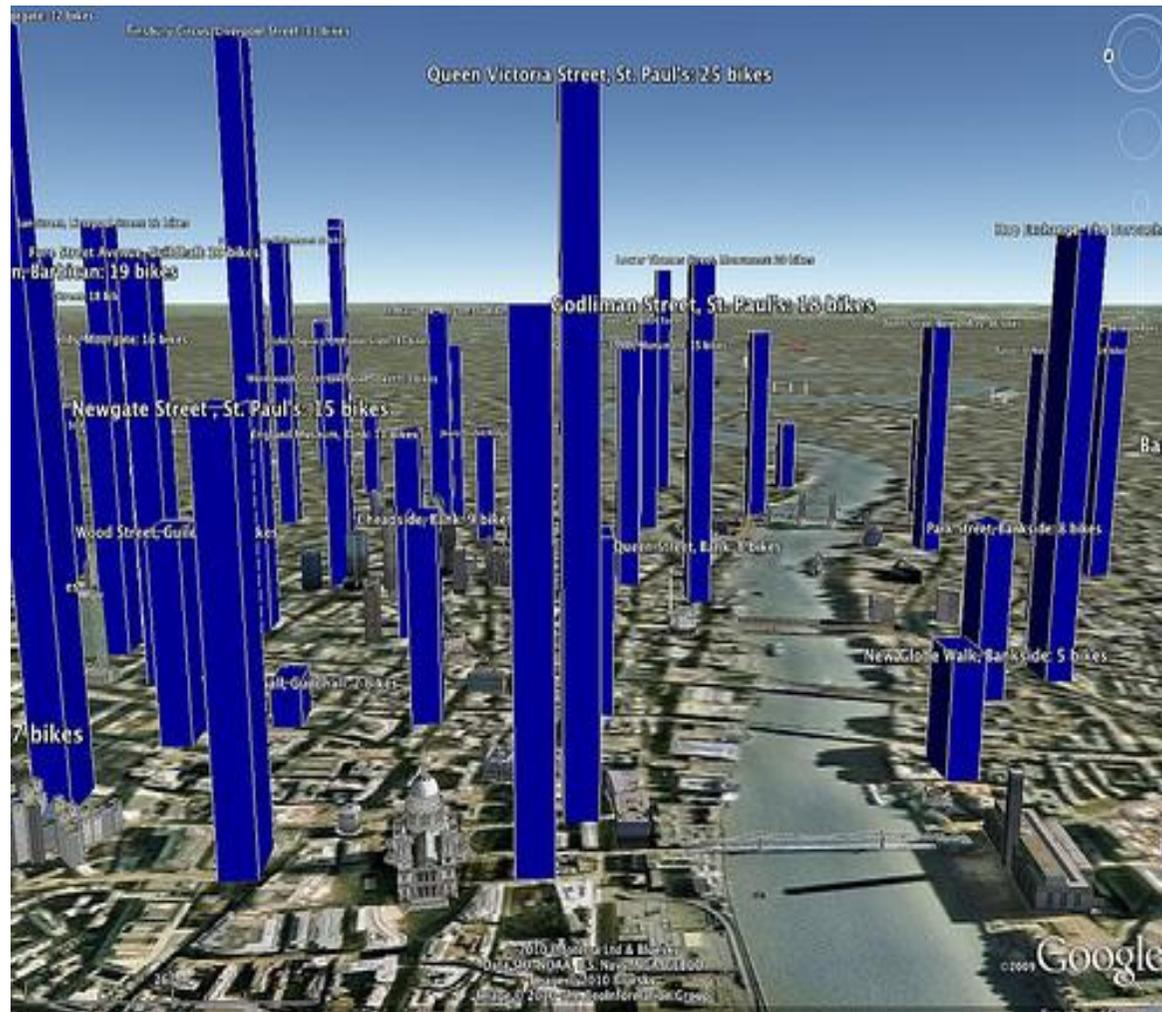


Ilustración 43: Captura del aplicativo [31]

Tabla comparativa

Nombre	Licencia de software	Formato de archivos para 3D
Space3D	Privado	OBJ, 3DS, DXF, COLLADA, OSGB
3DEM	GNU GPL	USGS DEM, .hgt, .bil, LIDAR .las, .img
TerraExplorer	Versiones Pro y Plus /Privado. Versión básica/Freeware	.fly, .Kml/.Kmz, capa shape (.shp).
Google Earth API	GNU GPL	KML

3.3.1.2 Software WebServer

3.3.1.2.1 Apache Tomcat

Servidor Web potente y flexible. Es multiplataforma y trabaja en diferentes entornos. Además de ser de código abierto.

El servidor Apache es compatible con una variedad de características, se lo implementa con los módulos compilados que extienden la funcionalidad.

Los módulos pueden incluso dar soporte al lenguaje de programación, como lo son Java, Perl, Python, Tcl, y PHP, así como administrar los esquemas de autenticación del lado del servidor.

Características [32]:

- Filtrado: Los módulos pueden actuar como filtros de contenido.
- Soporte a IPv6.
- Directrices simplificadas.
- Seguridad Server Side Include (SSI), reportando los errores de forma personalizada y en diversos idiomas.

3.3.1.2.2 Microsoft IIS

Servidor Web desarrollado por la empresa Microsoft.

El IIS (Internet Information Server), posibilita la programación en ASP (Active Server Pages o Páginas de Servidor Activo), las mismas que se asemejan a PHP. [33]

Sus componentes acceden a cada módulo o función específica

Este tipo de servidor es soportado tan sólo los sistemas Windows NT, como lo es Windows 2000 Professional, Windows 2000 Advanced Server, Windows XP Professional, cada uno es sus diferentes versiones. [33]

Características:

- IIS tiene la forma de asegurar los datos es mediante. SSL (Secure Sockets Layer).
- Además restringe el acceso no autorizado al servidor a los usuarios con direcciones IP conocidas.

3.3.1.2.3 Sun Java System Web Server

Es un servidor Web de alto rendimiento, de escalabilidad masiva. Su contenido es dinámico y estático.

Las características de virtualización de dominio, versatilidad de configuración y seguridad robusta, brindan una mejor calidad de servicio. [34]

Características [34]:

- Infraestructura de administración basada en JMX
- Compatibilidad con la interfaz de línea de comandos
- Archivos de configuración consolidados
- Compatibilidad con JNDI
- Compatibilidad con conectividad de Base de Datos Java y con la agrupación de conexiones
- Redirección y reescritura de las URL mediante expresiones regulares
- Alto nivel de compatibilidad con la supervisión en tiempo real
- Reverse Proxy (proxy inverso) integrado

3.3.1.2.4 Nginx

Es un servidor http y proxy inverso gratuito, de código abierto. Con soporte proxy para IMAP y POP3. [35]

Este servidor está actualmente manejando entre el 1% y el 4% de todos los dominios globales.

Calificado por su estabilidad, además del gran conjunto de características, una configuración sencilla y por consumir pocos recursos. Servidor de archivos estáticos, índices y autoindexado. [35]

Características:

- Proxy inverso con opciones de caché.
- Tolerancia a fallos.
- Soporte de HTTP sobre SSL.
- Servidores virtuales basados en nombre y/o en dirección IP.
- Streaming de archivos FLV y MP4.8
- Soporte para autenticación.
- Compatible con IPv6
- Soporte para protocolo SPDY
- Habilitado para soportar gran cantidad conexiones simultáneas.

3.3.1.2.5 Lighttpd

Servidor Web dispuesto para los Sistemas operativos Unix/Linux y Microsoft Windows.

Este servidor también conocido como Lighty, es una alternativa para el Servidor de páginas Web Apache [36]

Está diseñado para ser seguro, rápido, compatible con los estándares y flexible a la vez que está optimizado para entornos en los cuales la velocidad es crítica.

Su huella de memoria es muy pequeña, una ligera carga en el CPU.

Características [36]:

- Alojamiento virtual de dominios en la misma IP.
- CGI, SCGI y FastCGI
- Soporte para PHP, Ruby, Python y otros lenguajes de programación
- Cifrado SSL

- Compresión (gzip, bzip2, entre otros)
- Autenticación (LDAP, htpasswd, entre otros)
- Consumo de memoria constante
- Redirecciones HTTP, y reescrituras de URL
- Puede enviar partes de un fichero
- Muestra un listado de ficheros cuando se entra a un directorio sin index.html
- Permite módulos externos

Tabla comparativa

Nombre	Licencia de software	Lenguajes de programación soportados	Protocolos soportados
Apache	Gratuito/ GNU GPL	Perl, Python, Tcl, y PHP, Java, etc.	HTTP
Microsoft IIS	Privado	.NET	HTTP, SSL, FTP, SMTP.
Sun JavaSystem	Gratuito	Java	HTTP
Nginx	Gratuito/ GNU GPL	PHP, Ruby, Java,etc.	HTTP, HTTPS, SMTP, POP3, IMAP.
Lighttp	Gratuito/ GNU GPL	Perl, Python, Tcl, y PHP, etc.	HTTP, SCGI, FastCGI, AJP13.

3.3.1.3 Base de Datos

3.3.1.3.1 SQL Server

Es una Base de Datos privativa, funcional únicamente sobre la plataforma de Windows.

Su lenguaje de programación común es Visual Basic, Visual C++ y Cobol.

Es escalable adaptándose a los requerimientos del usuario o empresa.

La interfaz gráfica es amigable, reduciendo complejidad en la gestión de la Base de Datos. [37]

Características [37]:

- Soporte de datos amplio, excluyendo el uso de metadatos.
- Base de Datos con OLAP integrado para representar conjuntos de resultados multidimensionales.
- Disponibilidad, fiabilidad y tolerancia a fallos.
- Asigna un único ID de login para la red así como para la Base de Datos.
- Contraseña y métodos de encriptación de datos en la red, para mejorar la seguridad.
- Emplea la encriptación de procedimientos almacenados para mantener la integridad y seguridad de código de aplicación.

3.3.1.3.2 MySQL

Es sistema de para la administración de datos relacionales (RDBMS), de libre distribución sin costo.

Se caracteriza por su alta velocidad en ejecución y respuesta de procesos, además de ser multiusuario.

Da soporte a lenguajes de programación no privados, como: C, C++, Java, Perl, PHP, Piton, entre otros. [38]

Es la herramienta cliente/servidor para la gestión de Base de Datos relacionales.

Está orientado al acceso remoto y redes.

Características [38]:

- Mínimo consumo de recursos tanto de CPU como de memoria.
- Ejecuta Multiproceso.
- Mejora la administración (backup, recuperación de errores, etc).

- No impone una longitud límite en el tamaño de los registros.
- Multiplataforma
- Sistema de contraseñas y privilegios muy flexible y encriptado.

3.3.1.3.3 PostgreSQL

Gestor de Bases de Datos relacional de libre distribución y multiplataforma.

Es una de las Bases de datos más potentes desarrolladas.

Soporta el almacenamiento de objetos de gran tamaño, así como transacciones, vistas, triggers, joins, foreign keys y procedimientos almacenados. [39]

PostgreSQL incluye un modelo de seguridad en Base a protocolos de comunicación encriptados por SSL.

Características:

- Estabilidad y confiabilidad.
- Diseñado para ambientes de alto volumen.
- Cumple completamente con ACID (Atomicidad, Consistencia, Integridad y Durabilidad de los datos).
- Integridad referencial, garantizando la validez de los datos de la Base de Datos.
- Replicación de datos en múltiples sitios.
- Lenguajes de programación: C, C++, PHP, Perl, Python y Ruby, etc.
- DBMS Objeto-Relacional, manejando complejas rutinas y reglas.

3.3.1.3.4 Oracle Database

Oracle Corporation es el desarrollador de la Base de Datos Oracle.

Oracle apoya la creación de respaldos y recuperación de datos, con el fin de conservar la estabilidad de toda la información guardada.

Características:

- Seguridad en el acceso a los datos mediante la gestión de privilegios.
- Conectividad a la Base de Datos de Oracle desde software de otro fabricante. El administrador de la Base de Datos (DBA: Data Base Administrator) es el usuario encargado de administrar mediante las

actividades de instalación, diseño y creación de la Base de Datos, usuarios, y la gestión de los privilegios, entre otras.

Tabla comparativa

Nombre	Licencia de software	Disponibilidad de soporte	Multiplataforma	Soporte a Bases de Datos Geográficas
SQL Server	Privado	Limitado a foros internos de la empresa responsable Microsoft	No	SQL Server Spatial
MySQL	GNU GPL	Determinada por la colaboración dentro de la comunidad de desarrollo MySQL.	Si	Mecanismos de almacenamiento
PostgreSQL	GNU GPL	Determinada por la colaboración dentro de la comunidad de desarrollo PostgreSQL .	Si	PostGIS
Oracle	Privado	Limitado a foros internos de la empresa responsable Oracle.	Si	Oracle Spatial

3.3.1.4 Software de Servidor para datos espaciales

3.3.1.4.1 GeoServer

Es un servidor de software de código abierto, con sus funciones escritas en Java. Permite tareas de consulta, visualización, combinación, edición y publicación de datos espaciales en una red específica. [40]

Geoserver implementa los estándares definidos por la Open Geospatial Consortium (OGC), Web Feature Service (WFS) y Web Coverage Service (WCS) y Web Map Service (WMS). [40]

Características:

Trabaja con los siguientes tipos y fuentes de datos:

- Vector: Ficheros Shape, WFS externo.
- De fuentes como PostGIS, ArcSDE, DB2, Oracle Spatial, MySQL, SQL Server
- Raster: GeoTiff, JPG y PNG georreferenciados, imagenes pyramid, formatos GDAL, Imagenes Mosaic, Oracle GeoRaster.

3.3.1.4.2 MapBox

Proveedor de mapas personalizado, utilizado teselas vectoriales como elemento de diseño. Las teselas vectoriales o teselas de imagen, las cuales son pedazos de imagen geográfica con información sobre las geometrías y metadatos correspondientes. [41]

Contiene diferentes paquetes para el diseño y construcción de mapas personalizados, entre estos esta: Mapbox Streets, sobre mapas de calles, basados en OpenStreetMap, además con soporte para múltiples lenguajes.

Características [41]:

- Mapbox Terrain, crea y visualiza mapas de elevaciones.
- Mapbox Satellite, con las mismas funciones pero para mapas satelitales.
- Mapbox.js, es la librería de javascript de código abierto, creado como plugin similar al API de Google Maps.

Los tipos de datos soportados son:

- Shapefiles, GeoJSON. Bases de datos SQLite geográficas. Bases de datos PostGIS. GeoTIFF. VRTS, KML

- GPX (GPS Exchange Format)
- Archivos que contienen campos de latitud y longitud CSV.

3.3.1.4.3 GRASS GIS

El Sistema Apoyo de Análisis para recursos Geográficos, es un software libre. [42]

Tiene las funcionalidades para el tratamiento de datos tipo raster, vector y topológico, además del procesamiento de imágenes y la visualización de la información.

Se utiliza para la gestión de datos geospaciales y análisis, procesamiento de imágenes y gráficos, producción de mapas y modelado espacial

3.3.1.4.4 uDig

Se basa en la plataforma Eclipse y cuenta con capa GIS Open Source.

Se presenta como solución completa basado en Java, para el acceso de datos GIS de escritorio, edición y visualización. [43]

3.3.1.4.5 SAGA

Es un SIG para el procesamiento y análisis de datos geográficos.

Está basado en el lenguaje de programación C ++ orientada a objetos.

Apoya la implementación de nuevas funciones con una interfaz de programación de aplicaciones (API). [44]

Las funciones se organizan en módulos independientes.

3.3.1.4.6 MapServer

Es una plataforma de código abierto para la publicación de los datos espaciales y aplicaciones de mapas interactivos para la web. Está escrito en el lenguaje de programación C. [45]

Características [45]:

- Los elementos presentados dependen de la escala y ejecución de aplicación.
- Etiquetado de elementos
- Soporte de fuentes TrueType para etiquetado y simbología.
- Automatización de los elementos, como lo es la barra de escala, el mapa de referencia y la leyenda.

- Mapas temáticos, mediante lógica de programación definida en clases, o en expresiones regulares.
- Identificación de elementos por atributos, por punto, por rectángulo envolvente o cruces geométricos de una o más capas.
- Soporte para consultas raster.
- Plantillas de presentación personalizables.
- Lenguajes de programación PHP, Python, Perl, Ruby, Java, y .NET
- Formatos raster y vectoriales:
 - TIFF/GeoTIFF, EPPL7, y muchos otros vía GDAL
 - ESRI shapefiles, PostGIS, ESRI ArcSDE, Oracle Spatial, MySQL y OGR
- Soporte de proyecciones de Mapa: Proyecciones ‘al vuelo’ con capacidad para más de 1000 proyecciones proporcionadas por la librería Proj.4.

Tabla comparativa

Nombre	Licencia de software	Tecnología	Servicios	Consultas
GeoServer	GNU GPL	J2EE	WMS, WFS, WCS	OGC Filter Encoding y CQL
MapBox	Privada	JSON	Web Services	SQL
GRASS GIS	GNU GPL	WxPython	WMS, WPS	SQL
uDig	GNU GPL	Eclipse Rich Client	WMS, WFS	CQL
SAGA GIS	GNU GPL	wxWidgets (C++)	WMS	SQL
MapServer	GNU GPL	CGI	Mapfile por WMS	SQL

3.3.1.5 Software de Gestión de Información Geográfica

3.3.1.5.1 ArcGIS

Dado que se ha hablado previamente de este conjunto de herramienta, a continuación declaran ciertas características considerables para el uso de la misma: [46]

- Composición y generación de mapas, empleando elementos de diseño como títulos, flechas de norte y barras de escala, junto con el marco de datos; todos ellos están organizados en una página.
- Simbología y etiquetado: Las etiquetas empleadas para añadir texto descriptivo a las entidades de un mapa, tienen una simbología definida.
- Capacidad raster, proporcionando servicios como el acceso a localizadores de direcciones, Bases de datos, modelamiento de datos, documentos KML/KMZ, representación cartográfica, WCS/WMS.
- Capacidades 3D, en la visualización, consulta, análisis, importación de múltiples fuentes, edición y mantenimiento de datos vectoriales 3D y creación de líneas de niveles en 2D.
- Personalización
- Scripting con la ArcPy, para el Análisis espaciales, acceso de lectura y escritura a datos alfanuméricos, manejo y conversión a diferentes formatos, administración de información geográfica y generación automatizada de mapas y series cartográficas.
- Documentación
- Experiencia acumulada
- Soporte

3.3.1.5.2 QGIS

- Interfaz flexible
- Interoperabilidad, que permite ser modificado libremente, a fin de ejecutar funcionalidades específicas.
- Conexión a Base de Datos, con particular preferencia por PostgreSQL y PostGIS.
- Capacidad raster y la integración con GRASS

- Automatización de tareas con PyQGIS, o Paython para QGIS. [47]
- Cuenta con un administrador de complementos, permitiendo además crear nuevos plugins

3.3.1.5.3 gvSIG

- Extensión NavTable, para visualizar de forma ágil registros de las capas vectoriales de información geográfica. [9]
- Alto rendimiento para volúmenes grandes de información
- Integración de SEXTANTE (Sistema Extremeño de Análisis Territorial), que es una biblioteca de algoritmos de análisis espacial.

Tabla comparativa

A continuación se presenta una tabla comparativa en relación a las características relevantes de cada herramienta.

Nombre	ArcGIS	QGIS	gvSIG
Licencia	Por categoría de Básico, Estándar y Avanzado	Software libre/ GNU GPL	Software libre/ GNU GPL
Costo	Varía entorno a las suites con diferentes niveles de complejidad.	Gratuito	Gratuito
Procesos de desarrollo	Miembros empleados de la empresa responsable Esri.	Conjunto de desarrolladores nucleares y voluntarios.	Conjunto de desarrolladores nucleares y voluntarios.
Plataforma	Se ejecuta en un entorno Windows PC	Instalable y ejecutable en Sistemas Operativos con Windows, Mac, o Linux.	Instalable y ejecutable en Sistemas Operativos con Windows, Mac, o Linux
Extensibilidad	Plugins desarrollados	Mediante scripting	Múltiples

	para ArcGIS	bajo Python	lenguajes
Soporte	Amplia documentación dispuesta y administrada por ESRI.	Conocimiento aportado por los usuarios y la comunidad colaboradora.	Conocimiento aportado por los usuarios y la comunidad colaboradora.
Cartografía	Mejores capacidades de anotación.	Capacidades de anotación básicas.	Capacidades de anotación básicas.

3.3.1.6 Formato de representación de datos

3.3.1.6.1 NetCDF

Formulario Base de Datos Comunes en Red (Networked Common Data Form), se refiere al formato de archivos que almacena datos científicos multidimensionales, tales como la temperatura, la humedad, la presión, la velocidad del viento y la dirección. [22]

3.3.1.6.2 HDF

Formato Jerárquico de Datos (Hierarchical Data Format), consiste en un formato de archivo de auto-descripción, es decir que en su estructura reside la descripción de sus atributos. Se emplea en la transferencia de varios tipos de datos entre diferentes máquinas basadas en HDF. [22]

HDF-EOS31 es un formato estándar para almacenar los datos obtenidos de satélites EOS: Terra, Aqua y Aura.

3.3.1.6.3 XML

Lenguaje de Marcas Extensible (*eXtensible Markup Language*) es un lenguaje de marcas que almacena datos de forma legible, que además permite definir la gramática de lenguajes de archivos de gran tamaño. [22]

Además XML da soporte a Bases de datos, en cuanto a la integración de la información.

³¹ EOS: Es un Sistema de Observación de la Tierra, como proyecto espacial de recolección de datos satelitales.

3.3.1.6.4 GML

Lenguaje de Marcado Geográfico (*Geography Markup Language*), basado en XML. [22] Empleado para el modelado, transporte y almacenamiento de información geográfica, de acuerdo a la posición, localización, extensión, así como las propiedades espaciales y no espaciales de los objetos geográficos.

3.3.1.6.5 KML

Lenguaje de Marcado (*Keyhole Markup Language*), basado en la estructura de XML. Su uso específico reside en la representación de datos geográficos en tres dimensiones. Google Earth adquirió los derechos de este lenguaje a su creador Keyhole LT, estableciendo KML como el lenguaje de representación de información geográfica para 2D/3D. [22]

3.3.2 Elección de herramientas de Software

A partir de la información recopilada en cuanto a las características de cada herramienta, se dio prioridad a la facilidad de instalación, configuración, acoplamiento y soporte, entre las mismas.

A continuación se describen las herramientas seleccionadas.

3.3.2.1 Sistema Operativo

- Windows: Sistema Operativo en su versión 7. La versión del procesado es opcional, puede ser para 32/64 bits.

3.3.2.2 Entorno de desarrollo de aplicaciones

- JavaSE Development Kit: Basado en el lenguaje de programación Java, que contiene un paquete instalador en su octava versión, para un SO de 32 bits.

3.3.2.3 Servidor de datos espaciales

- Geoserver: Por su facilidad de uso, con una interfaz amigable. Además de ser un software libre y de amplio soporte por la comunidad de desarrollo.
 - La versión utilizada es 2.5

3.3.2.4 Base de Datos geográfica

- Postgis: Tiene la ventaja de ser un sistema de código abierto soporte amplio y dinámico disponible en internet. La capacidad reconocida por sus usuarios en cuanto a la administración de datos geoespaciales, fue importante para su elección. Además es compatible con Geoserver.
 - Su versión: 2.3.1-5

3.3.2.5 Base de Datos

- Postgresql: Base de Datos gratuita, de código abierto y alto rendimiento.
 - Su versión es 9.3.5-1

3.3.2.6 Sistema de Gestión de Información Geográfica

- ArcGIS: Este sistema de captación de información geográfica, tiene paquetes disponibles para las plataformas de escritorio, móvil, servidor y online.

Una de las funcionalidades importantes es la carga de mapas y datos en la nube, para ser convertidos y dispuestos en servicios Web.

ArcGIS permite empaquetar los modelos de geoprosesamiento, los datos e información relacionada en un mismo archivo, de forma sencilla y rápida.

A pesar de tener una licencia privativa y tener un costo por cada paquete de software, ArcGIS es una óptima opción para la producción de mapas, en torno a la amplia gama de funcionalidades, tanto en edición, importación, exportación de datos, entre otros.

- En su versión 10.1

3.3.2.7 Servidor Web

- Apache Tomcat: Dado que es un sistema servidor versátil, gratuito, de código libre, es seleccionado para el despliegue del aplicativo para la información 3D y 3D.
 - En su versión 8.0.17

3.3.2.8 Software Aplicativo para la visualización 3D

- Google Earth Pro: Por el amplio soporte que se encuentra en sitio web de su desarrollador Google, además de su costo gratuito anunciado el 30 de Enero del presente año. Se debe considerar que el único formato de archivos con el que trabaja es KML.

3.3.2.9 Tecnología de interfaz de usuario

- Primfaces: como librería JSF, es amplia en cuanto a los complementos que presenta y con diseño innovador.
 - En su versión Primfaces 2

3.3.2.10 Formato de representación de datos geográficos

- KML: Este formato, acoplado a los requerimientos solicitados para la presentación de datos tridimensionales, puede ser creado desde el software Google Earth y tiene una estructura sencilla. A manera de ejemplo se presenta [31]:

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<kml xmlns="http://www.opengis.net/kml/2.2">

  <Placemark>
    <name>Marca de posición simple</name>
    <description>Pegada al suelo. Se coloca de forma inteligente
a la altura del relieve subyacente.</description>
    <Point>
      <coordinates>-
122.0822035425683,37.42228990140251,0</coordinates>
    </Point>
  </Placemark> </kml>
```

Se describen sus principales elementos

- Encabezado XML: En la primera línea de todos los archivos KML.
- Una declaración de espacio de nombres de KML: En la línea número 2 de todos los archivos KML.

- Un objeto de marca de posición (Placemark) que contiene los siguientes elementos:
 - Name: Es la etiqueta para la marca de posición,
 - Description: sobre el elemento a representar.
 - Point, el mismo que especifica la posición de la marca de posición en la superficie de la Tierra, como lo es la longitud, la latitud y, opcionalmente, la altitud.

3.3.2.11 Tratamiento de archivo KML

- Shape2KML Creator : Es un complemento de ArcMap que exporta archivos en formato shape a un documento KML, el mismo que puede ser revisado y visualizado por un software específico.

El software recibe atributos ingresados por el usuario, como nombre y descripción, además del valor de altitud.

Shape2KML permite crear estilos para el documento KML.

3.3.2.12 Servicios Web

- WMS: En un servidor definido por el Consorcio Geoespacial Abierto o en inglés Open Geospatial Consortium (OGC). Tiene como objetivo la producción de mapas de datos espaciales referenciados, a partir de información geográfica, en distintos formatos de imagen como PNG, GIF o JPEG, o también datos gráficos vectoriales en formato SVG (Scalable Vector Graphics) o WebCGM (Web Computer Graphics Metafile).

Estos mapas se distribuirán en diferentes servidores integrados en la red del WMS definida.

- WMS Tiempo: Un servidor WMS tiene como extensión el soporte a las solicitudes en torno a una fecha dada, por ello toma como parámetro el tiempo, con un valor en un formato estandarizado.
- Patrones Tiempo

Una solicitud sobre la variable tiempo, debe considerar la norma ISO 8601: 1988 (E), sobre el formato "extendido".

A continuación una tabla con la lista de patrones de tiempo actualmente reconocidos:

Patrones Tiempo	Ejemplos
AAAAMMDD	20041012
AAAA-MM-DDTHH: MM: SSZ	2004-10-12T13: 55: 20Z
AAAA-MM-DDTHH: MM: SS	2004-10-12T13: 55: 20
AAAA-MM-DD HH: MM: SS	2004-10-12 13:55:20
AAAA-MM-DDTHH: MM	2004-10-12T13: 55
AAAA-MM-DD HH: MM	2004-10-12 13:55
AAAA-MM-DDTHH	2004-10-12T13
AAAA-MM-DD HH	2004-10-12 13
AAAA-MM-DD	10/12/2004
AAAA-MM	2004-10
AAAA	2004
THH: MM: SSZ	T13: 55: 20Z
THH: MM: SS	T13: 55: 20

3.4 Análisis y Diseño de modelo de Sistemas de Información Geográfico en tres dimensiones.

A continuación se describirán los componentes de los modelos definidos previos a la creación del Sistema Prototipo 3D.

3.4.1 Análisis de requerimientos

Las características de un proyecto de software resaltan las funcionalidades basadas en requerimientos previamente especificados.

A continuación se detallará los requerimientos del Proyecto Piloto de SIG en 3D para el GAD Municipal del cantón Cuenca.

3.4.1.1 Requerimientos funcionales

El Proyecto Piloto de SIG en su visor 3D, debe presentar las capas vectoriales recopiladas propiamente visualizadas en 2D con la agregación de la propiedad *altura*, de modo que se visualice la proyección y las vistas tridimensionales.

3.4.2 Diseño

3.4.2.1 Interfaz de usuario

Se deberá emplear un *framework* basado en el lenguaje de programación Java, con un diseño sencillo e intuitivo.

La pantalla del visor deberá abarcar el espacio disponible de la ventana del aplicativo a desplegarse, para una mejor apreciación de la proyección tridimensional.

3.4.2.2 Arquitectura

El visor de imágenes prediales de la ciudad de Cuenca en 3D, se basa en una arquitectura híbrida que utiliza los modelos arquitectónicos Cliente-Servidor y N-Capas.

El modelo tipo Cliente-Servidor³² es el que define una relación entre dos aplicaciones en las cuales una de ellas envía peticiones a otra, para su procesamiento.

³² Modelo cliente-servidor: Conjunto de servicios proporcionados por servidores a los clientes que los solicitan.

En el caso del Proyecto Piloto del Visor 3D, la arquitectura parte desde un servidor Web instalado localmente que invoca a la información contenida en un archivo KML que será consultada por el aplicativo el cual residirá en otro servidor.

El visor se instalará en un Servidor Web que lo publica y dispone para su consulta mediante el Navegador Web.

Dado que se emplea un Componente Web de visualización de mapas en tres dimensiones, se especificará como requisito que el servidor Web pueda tener acceso a la red de internet. De este modo se consumirán los servicios tanto del servidor Web como del servidor del componente especificado.

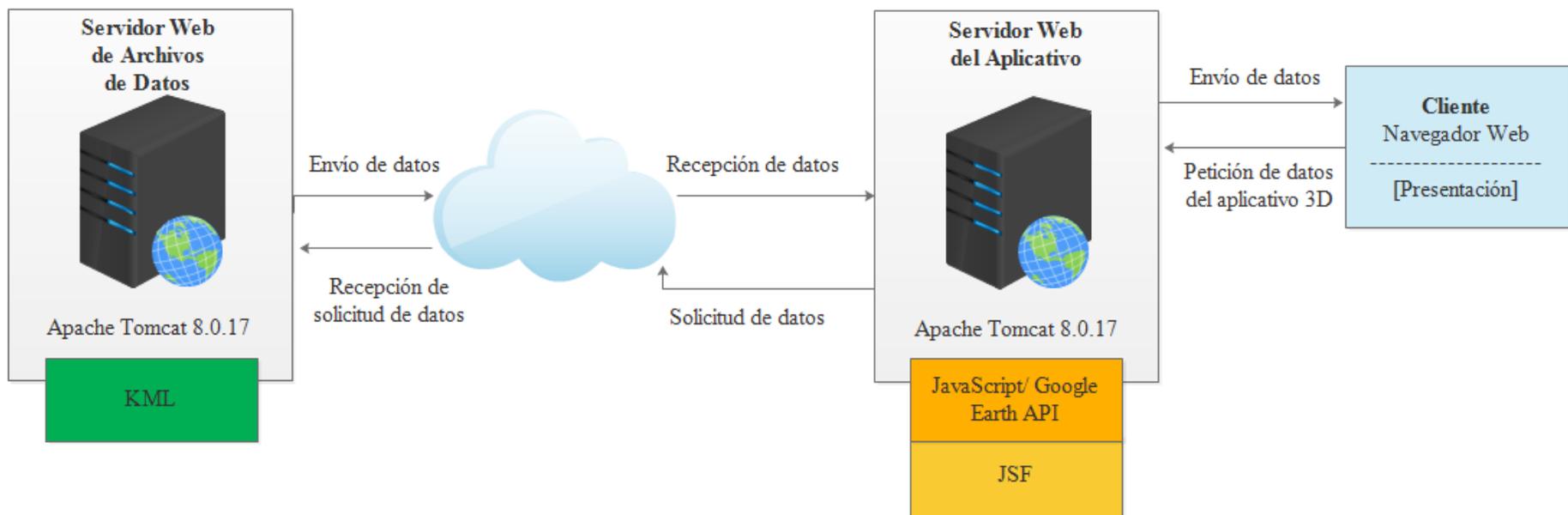


Ilustración 1: Arquitectura del visor 3D

3.4.2.3 Diseño lógico

Los archivos utilizados en formato *shape* correspondientes a las capas *Planta 1*, *Planta 2*, *Planta 3*. Cada una de las capas descritas, contiene datos en formato vectorial sobre las plantas de construcción establecidas sobre los predios del cantón Cuenca.

Planta 1, corresponde a la primera planta o base de la construcción. La Planta 2 y Planta 3 tienen los atributos de la segunda y tercera planta o piso de la construcción respectivamente.

En la demostración del visor aplicativo se utiliza *Planta 3*, y se podrá observar las zonas en donde existen edificaciones de gran tamaño y como también está permitida la construcción de este tipo de edificaciones

Los archivos *shape* de cada capa descrita, fueron transformados al formato KML usando la herramienta de conversión gratuita ShapeTokml para su representación en el visor, en la que se define un importante atributo con el valor de la altura de la capa a presentar.

El visor 3D, empleará el API de Google Earth basado en el lenguaje de programación JavaScript, el mismo que se encargará de invocar y enlazar el visor con los datos contenidos en el archivo KML y posteriormente presentarlos en la pantalla.

El visor aplicativo y los recursos de información deben alojarse en el Servidor Web Apache Tomcat.

El aplicativo se presenta en el Navegador Web de preferencia, en el mismo que debe apuntar a la URL del servidor.

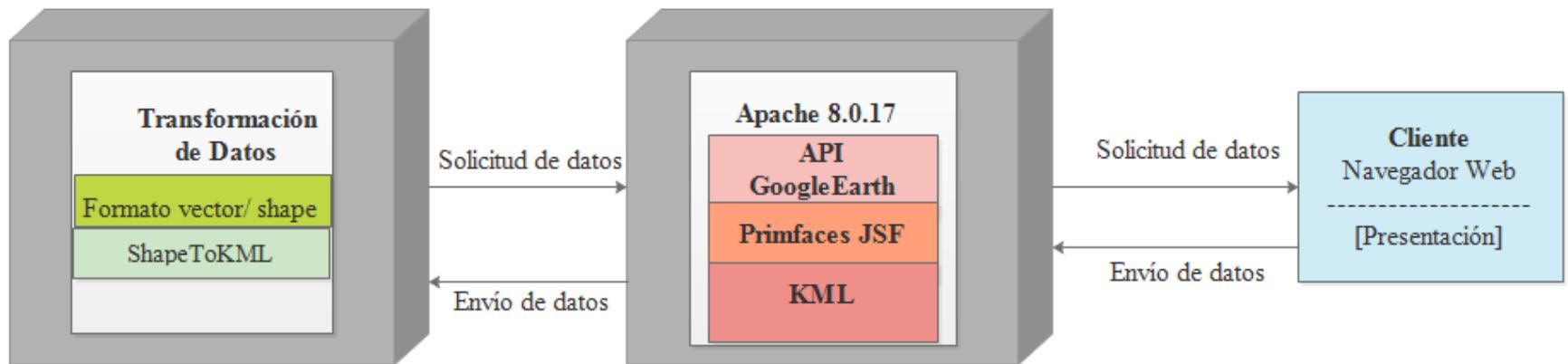


Ilustración 44: Diseño lógico del visor 3D

3.5 Análisis y Diseño de modelo de Sistemas de Información Geográfica en cuatro dimensiones.

A continuación se describirá los componentes de los modelos definidos previos a la creación del Proyecto Piloto SIG 4D.

3.5.1 Análisis de Requerimientos

El Proyecto Piloto de SIG en su visor 4D debe proveer WMS + Tiempo, como servicio para la carga y presentación de las diferentes capas vectoriales y raster en los distintos periodos o fecha en que fueron recopiladas.

3.5.2 Diseño

El visor 3D comparte la tecnología de interfaz de usuario con el visor 4D, por lo tanto deberá emplear el mismo *framework* con un diseño sencillo e intuitivo.

La pantalla del visor deberá organizar los componentes de navegación, selección de capas, elemento para la visualización 4D, componentes varios del mapa (zoom, dibujo, entre otros).

3.5.2.1 Arquitectura

La Base de Datos PostgreSQL 9.3 junto con el componente PostGIS 2.5, almacenan los tipos de datos raster y vector.

El Servidor de Mapas GeoServer 2.5, trabaja con el complemento de conexión, acceso y tratamiento de datos JDB Image, para realizar las diferentes tareas de consulta de los datos.

El aplicativo será programado bajo el framework JSF Primfaces, integrando la librería OpenLayers para la aplicación de los diferentes componentes en el manejo y presentación de un mapa sobre información predial.

Su compilación se realizará con la herramienta Maven.y éste deberá residir en el servidor web Apache Tomcat para ser accedido desde el Navegador Web mediante la URL del directorio correspondiente.

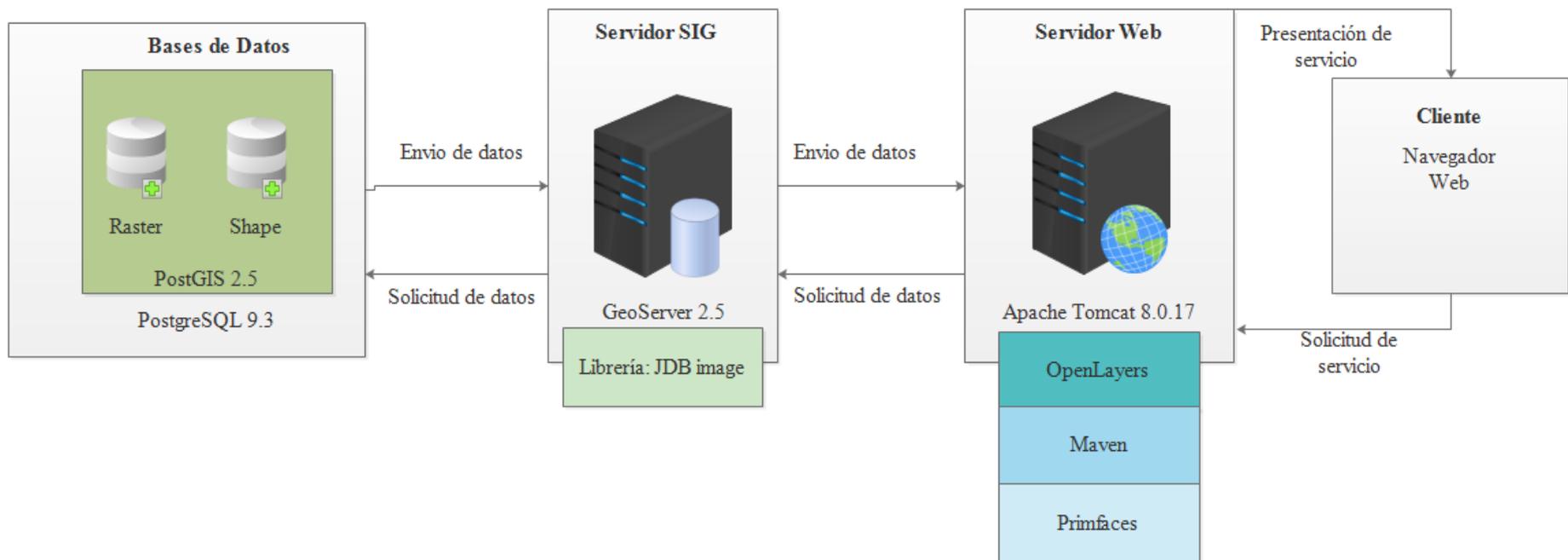


Ilustración 2: Arquitectura del visor 4D

3.5.2.2 Diseño lógico

Los datos raster, se los almacena en tablas distintas y configuradas para dar soporte al formato de imagen .TIFF para no alterar su integridad y calidad de imagen, sin embargo para los datos vectoriales, se debe disponer de sus archivos .SQL correspondientes para ser almacenados en las tablas con estructuras definidas por los atributos y sus valores.

El servidor SIG gestionará los servicios de publicación de las capas consultadas, definiendo atributos como el sistema de referencia geográfica, estilos, nombre, detalle, entre otros.

El proyecto se ubica en el servidor web Apache Tomcat.

La presentación del Proyecto Piloto se ejecutará en el Navegador Web de preferencia, apuntando al directorio del servidor web Apache Tomcat, llamando a los servicios alojados en el WMS para acceder las capas de datos vectoriales y las presentarlas en el visor.

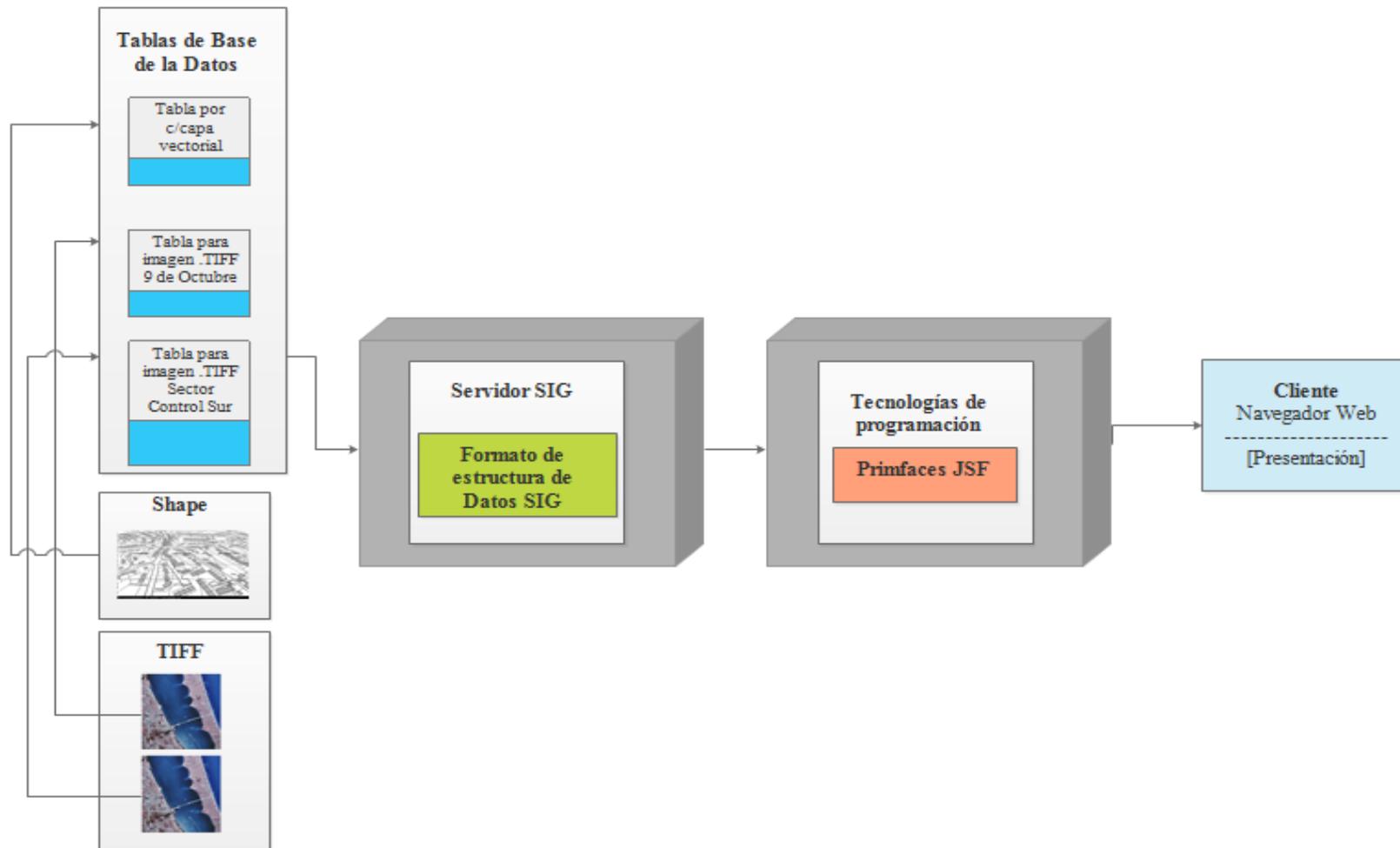


Ilustración 45: Diseño lógico del visor 4D

3.6 Implementación del modelo de Sistemas de Información Geográfico-Histórico

3.6.1 Proyecto Piloto de SIG 3D

El complemento accesible de GoogleEarth permite acoplar las capas de los predios compactadas en un archivo KML previamente tratado mediante la herramienta ShapeToKML.

Se instala el Servidor Web Apache Tomcat junto al paquete de tecnologías comprimido en que contienen la interfaz del aplicativo. La información se encapsulará en el formato KML y se presentará en el framework Primfaces para aplicaciones JSF.

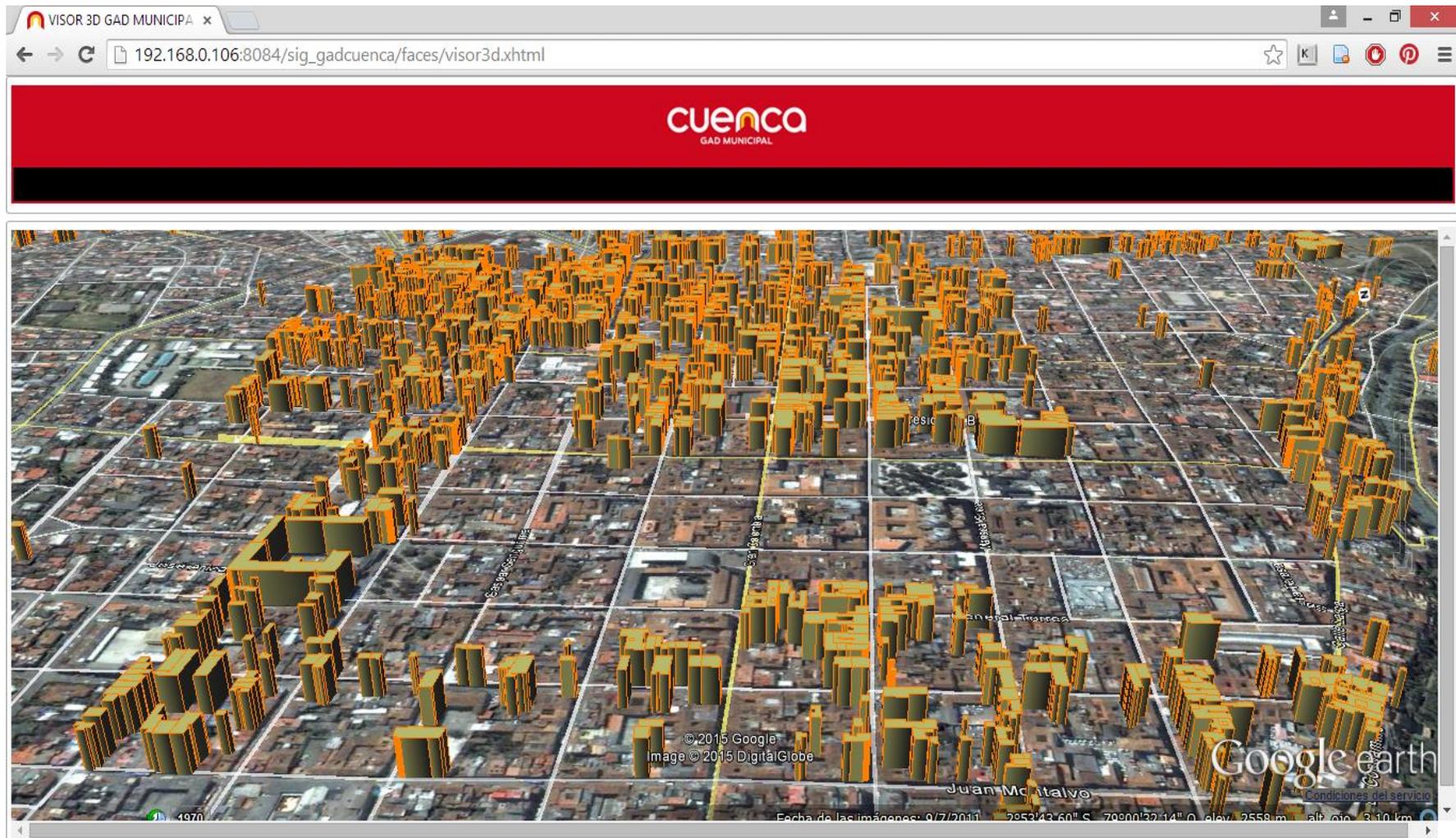


Ilustración 46: Implementación del Proyecto Piloto SIG 3D

3.6.2 Sistema prototipo del Visor 4D

En el visor las capas desplegadas deben diferenciarse por diferentes colores no similares entre ellas, de modo que la consulta resulte satisfactoria para el usuario que intenta ver o verificar cambios en las distintas capas.

La solicitud y envío de datos geográficos entre los diferentes servicios de PostgreSQL y Geoserver permite la disposición y publicación de los datos en el servidor Web Apache Tomcat.

La presentación del servicio despliega la interfaz de navegación para la consulta y navegación intuitiva del mapa visualizado.

Se utilizaron componentes basados en OpenLayers bajo la librería de JSF Primfaces que consigue dar una apariencia amigable al visor.

Es importante resaltar que la inclusión de la cuarta dimensión *tiempo*, requiere la creación de un campo extra en la base de datos, para todos los datos y tablas de las capas involucradas, de igual manera en el WMS Geoserver, se debe enlazar tal campo al parámetro temporal para el manejo de mapas con registro histórico.

De acuerdo a la arquitectura y diseños planteados, el software implementado corrobora el funcionamiento efectivo del aplicativo, sin demora del tiempo de respuesta.

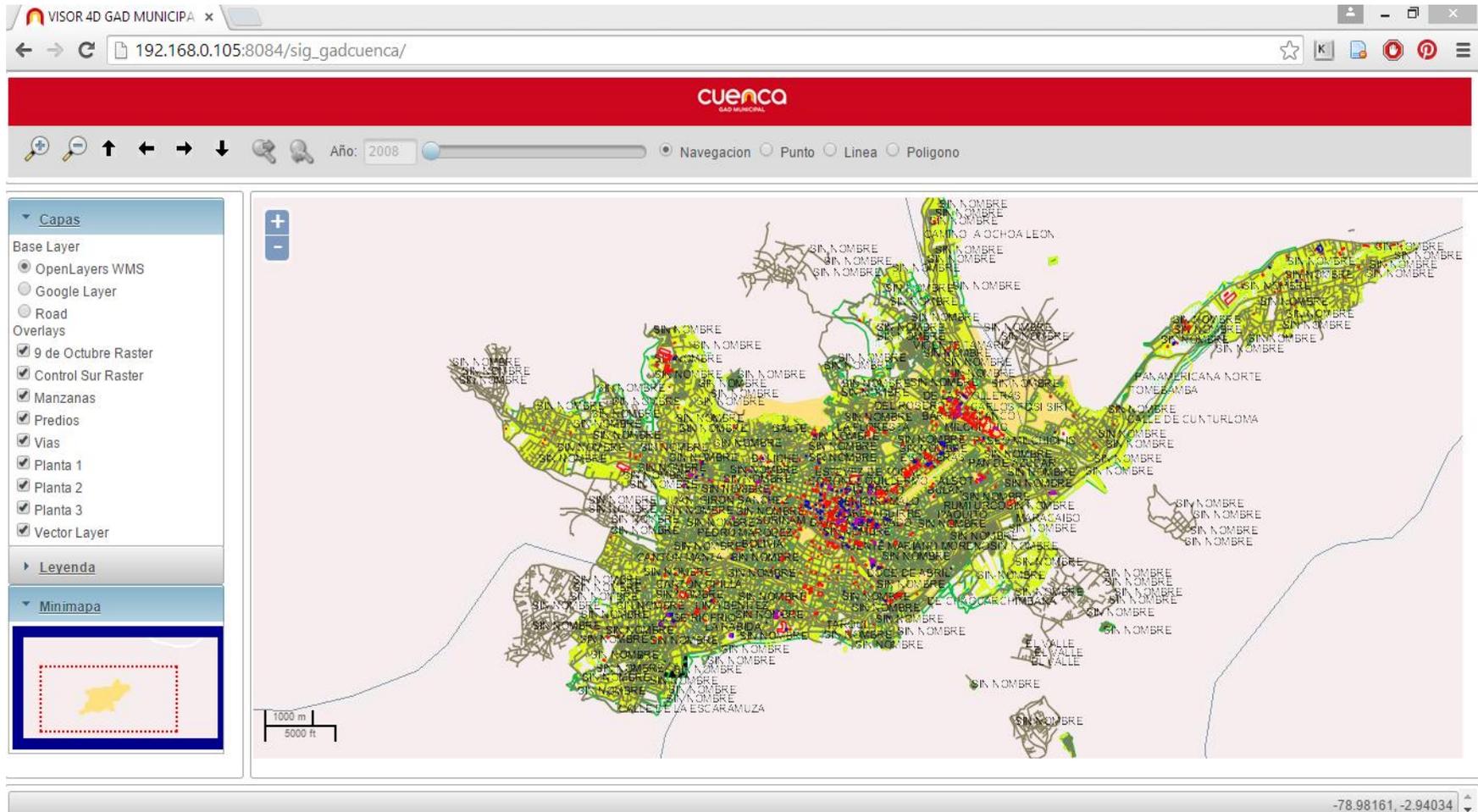


Ilustración 47: Implementación del Proyecto Piloto SIG 4D

CAPÍTULO 4. EJECUCIÓN DE PLAN DE PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Pruebas de ejecución del proyecto piloto

En esta sección se revisará la ejecución del aplicativo en un ambiente de pruebas. Se evaluará el proceso de consulta, además de la rapidez y eficiencia en la respuesta de la consulta.

4.1.1 SIG en 3D

Para ingresar al aplicativo, se debe ingresar la siguiente URL en el espacio de DNS del browser.

- http://localhost/sig_gadcuenca/faces/visor3d.xhtml
 - localhost apunta a la ubicación del servidor, puede ser reemplazada con la IP del Servidor: <http://192.168.0.106:8084/>
 - /sig_gadcuenca/faces/ visor3d.xhtml apunta al directorio y archivo con la interfaz del visor a desplegar.

El WMS invocado desde el Servidor Web carga el visor por las diferentes capas de *plantas*:

- Planta 1
- Planta 2
- Planta 3

El tiempo de respuesta es adecuado dependiendo de la cantidad de solicitudes paralelas recibidas. Sin embargo se observa que en el caso de visualizar las 3 capas al mismo tiempo, tiene un tiempo de demora mayor de lo deseado. Por lo tanto los controles quedan casi inhabilitados debido a la demora excesiva de la carga de los datos consultados:



Ilustración 48: Control de zoom



Ilustración 49: Control de angulación



Ilustración 50: Control de desplazamiento

El API de Google Earth provee detalles importantes sobre la fecha actualizada y el nombre del satélite que captura las imágenes.

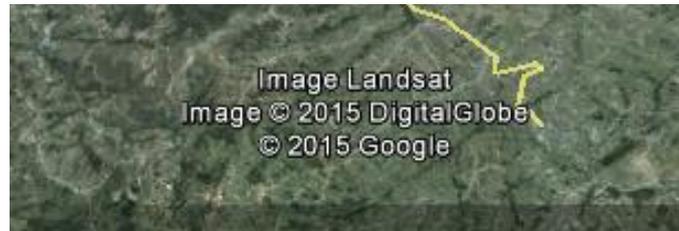


Ilustración 51: Detalle del visor Google Earth API

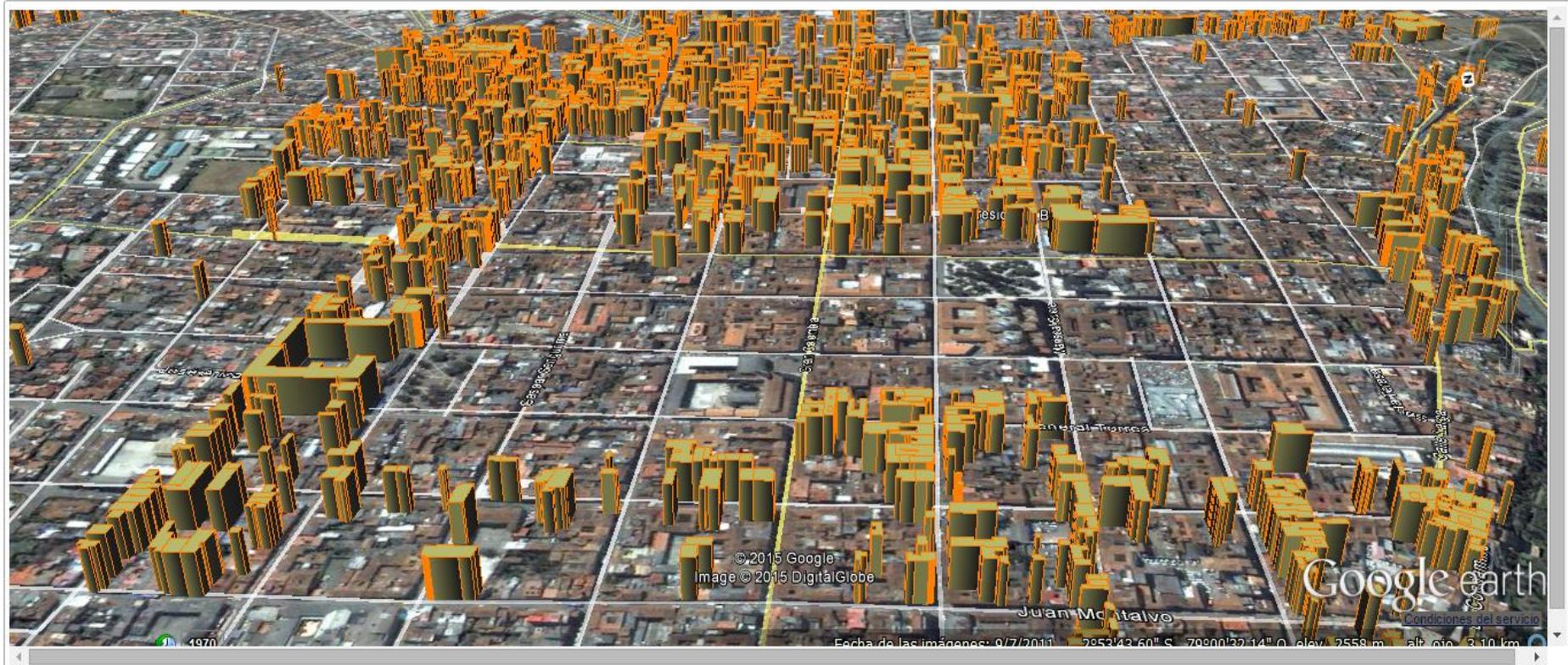


Ilustración 52: Captura del Aplicativo, Ciudad de Cuenca. Capa Planta 3. Mejor tiempo de respuesta.

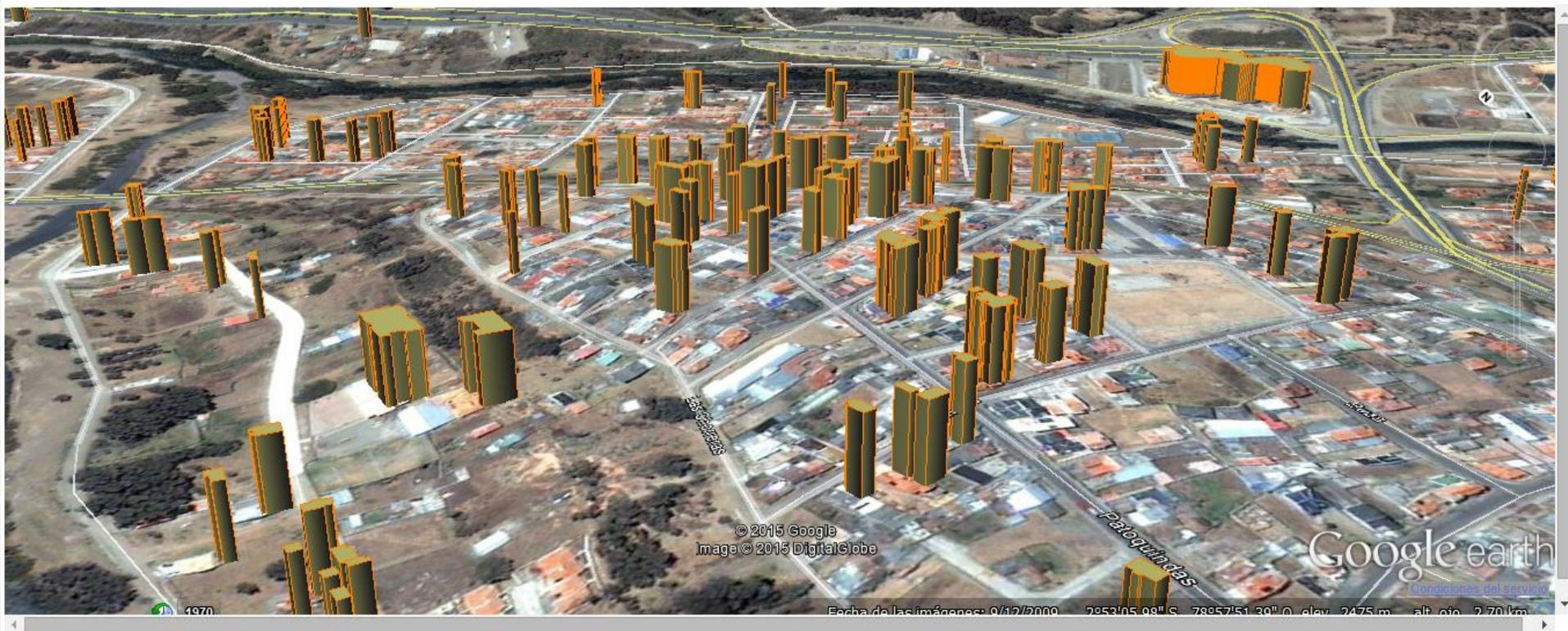


Ilustración 53: Captura del aplicativo, ciudad de Cuenca. Capa Planta 3

4.1.2 SIG en 4D

4.1.1.1. Componentes del Visor

Se ingresa la siguiente URL en el espacio de DNS del browser.

- http://192.168.0.106:8084/sig_gadcuenca/
 - localhost apunta a la ubicación del servidor, puede ser reemplazada con la IP del Servidor: <http://192.168.0.106:8084/>
 - /sig_gadcuenca/ apunta al directorio y al proyecto compilado y empaquetado alojado en el Servidor Web.

La interfaz del visor se divide en cuatro paneles:

- Encabezado
- Panel de componentes del mapa
- Visor del mapa
- Métricas de coordenadas

En la parte superior del encabezado se aprecia el logo de la institución municipal:



Ilustración 54: Logo oficial de la GAD Cuenca

En la parte inferior del panel del encabezado se observa los componentes de exploración del mapa, donde se encuentran los siguientes ítems:

- a) Sección Zoom
 - Zoom In
 - Zoom Out
- b) Sección de movimiento
 - Mover arriba
 - Mover abajo
 - Mover derecha
 - Mover izquierda
- c) Sección de cambios
 - Deshacer
 - Hacer
- d) Sección de control de datos históricos por año: Invoca al campo tiempo, generado en el Servidor de Mapas
- e) Sección de opciones del puntero
 - Control de navegación
 - Control de dibujo con punto/línea/polígono



Ilustración 55: Panel de controles para la exploración del Mapa

En el panel de los componentes del mapa, se observan los menús desplegables principales:

- a. Capas: invoca a cada capa cargada en el Servidor de Mapas
- b. Leyenda: Muestra las capas que se visualizan actualmente.
- c. Mini mapa: presenta una representación simple y minimizada del mapa con su capa base presentada.



Ilustración 56: Panel componentes del Mapa

En el sub panel de Capas se tiene el listado de las siguientes capas:

- 9 de Octubre Raster: Muestra la imagen raster del sector del Mercado 9 de Octubre del cantón Cuenca
- Control Sur Raster: Muestra la imagen raster del sector del Control Sur del cantón Cuenca.
- Capas de datos vectoriales:
 - Manzanas
 - Predios
 - Vias
 - Planta 1
 - Planta 2
 - Planta 3

- Vector Layer: Permite activar o desactivar los controles de dibujo sobre el

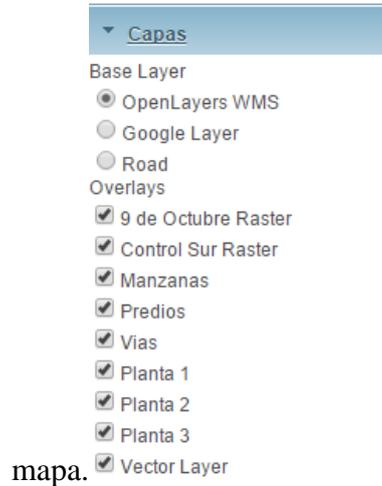


Ilustración 57: Sub panel del componente Capas

En el sub panel de Leyenda, se incluyen las leyendas de las capas seleccionadas en el panel de Capas.



Ilustración 58: Sub panel del componente Leyenda

En el sub panel de Minimapa, se muestra un visor en miniatura de la capa base y la actual localización mouse sobre el mismo.



Ilustración 59: Sub panel del componente Minimapa

En el panel de visor del mapa, se presenta el mapa completo con las capas seleccionadas.

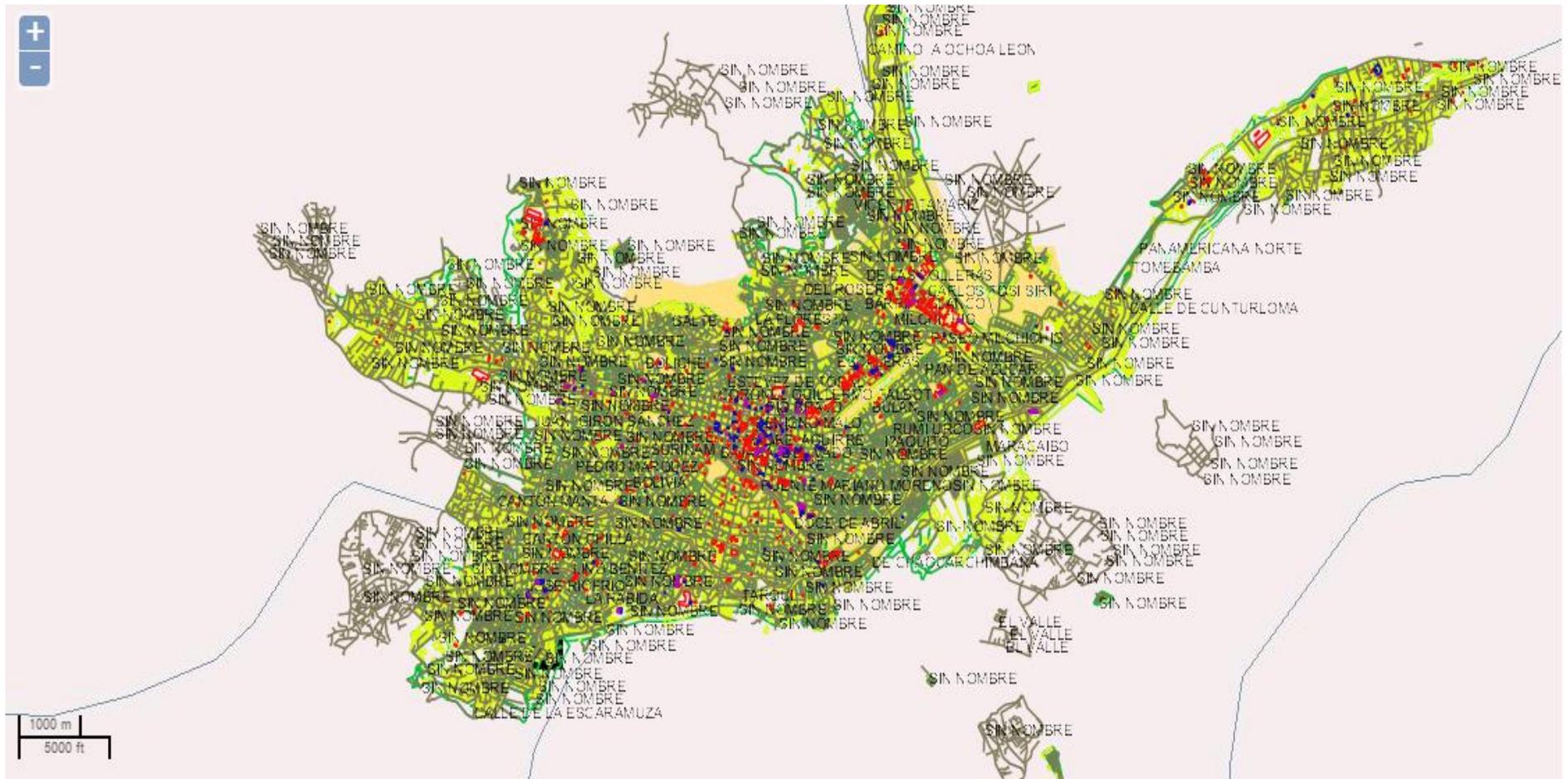


Ilustración 60: Visor del Mapa. Capas visualizadas: Predios/Manzanas/Vías/Planta 1/Planta 2/Planta 3

En el último panel se muestra el valor de la longitud y latitud en relación a la posición del mouse sobre el mapa.

-78.99680, -2.89035

Ilustración 61: Panel de muestra del posicionamiento de coordenadas

4.1.1.2. Ejecución de consultas en cuatro dimensiones

Para la representación del Proyecto Piloto SIG en 4D, se debe realizar diferentes consultas sobre las capas en las que se detalló el campo tiempo, tanto desde la Base de Datos como en el WMS.

En el visor 4D muestra las capas con los respectivos períodos de captura de datos.

- Mercado 9 de Octubre
 - Se visualiza los cambios en la construcción y remodelación del Mercado partiendo del año 2008, donde se observa las primeras obras de remoción de tierra.



Ilustración 62: 9 de Octubre Raster en el año 2008

- En el año 2009 se observa los cambios paulatinos en el avance de la remodelación, incluso ésta abarca la Plaza Rótari.



Ilustración 63: 9 de Octubre Raster en el año 2009

- A partir del año 2010 se los avances de la obra en su proceso de finalización.

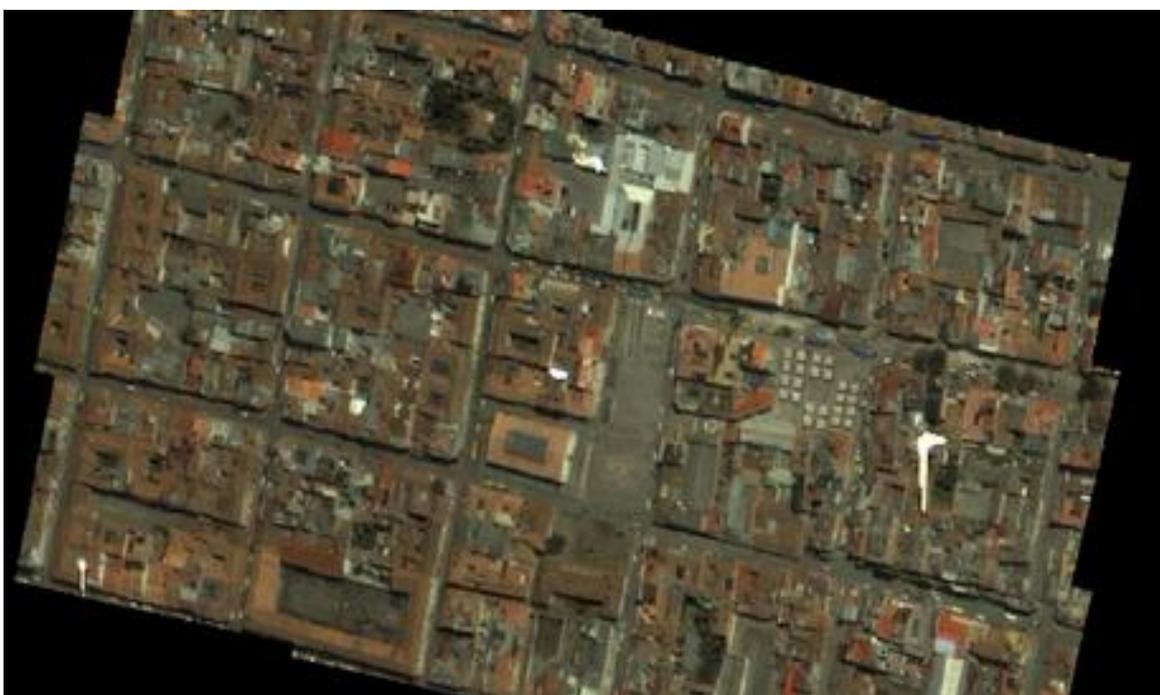


Ilustración 64: 9 de Octubre Raster en el año 2010



Ilustración 65: 9 de Octubre Raster en el año 2011



Ilustración 66: Pantalla del visor 4D, 9 de Octubre Raster en el año 2012

- Control Sur
 - La reconstrucción y remodelación del sector Control Sur, que en su mayoría abarca una avenida de gran extensión, parte del año 2010, sin embargo se captura su estado previo en el año 2009 para verificar los cambios.



Ilustración 67: Pantalla del visor 4D, Control Sur Raster en el año 2009



Ilustración 68: Pantalla del visor 4D, Control Sur Raster en el año 2010

- En el año 2011 se puede ver el avance en la reconstrucción de toda la vía.



Ilustración 69: Pantalla del visor 4D, Control Sur Raster en el año 2011

- En el año 2012 se verifica la construcción total del sector.



Ilustración 70: Pantalla del visor 4D, Control Sur Raster en el año 2012

- Manzanas
 - A continuación se muestra el mapa del cantón Cuenca, con la capa vectorial de *Manzanas* para los años 2008 y 2014.



Ilustración 71: Captura de la Capa Manzanas del año 2008



Ilustración 72: Captura de la Capa Manzanas del año 2014

- Predios
 - A continuación se muestra el mapa del cantón Cuenca, con la capa vectorial de *Manzanas* para los años 2008, 2009 y 2014.



Ilustración 73: Pantalla del visor 4D, Predios en el año 2008



Ilustración 74: Pantalla del visor 4D, Predios en el año 2009

- Planta 1
 - La capa *Planta 1* para el año 2014 se muestra en su extensión completa.

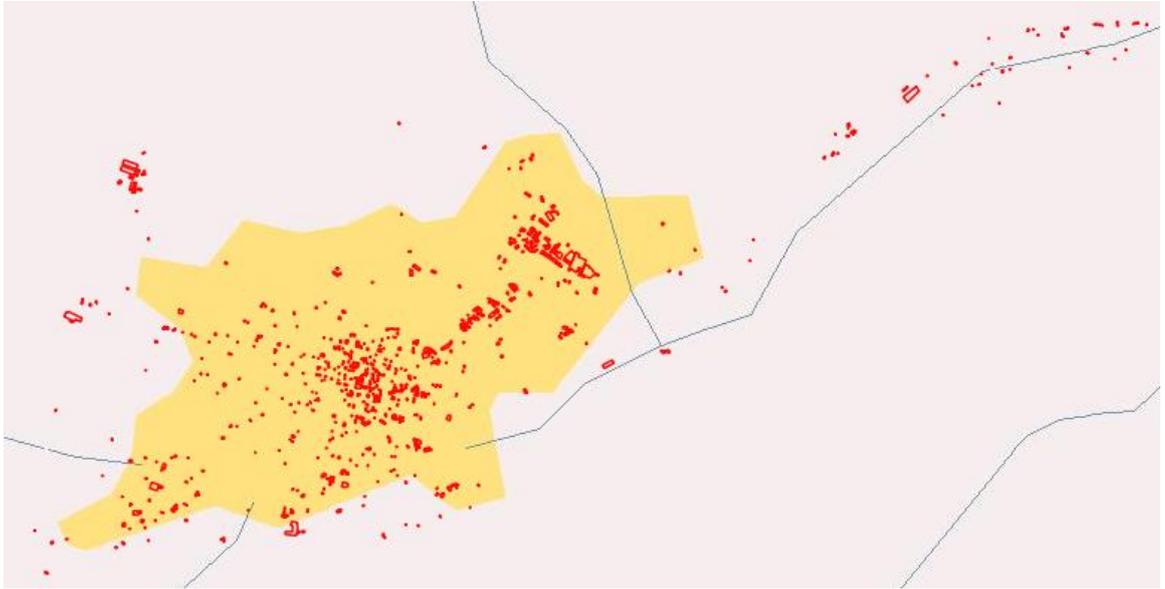


Ilustración 78: Pantalla del visor 4D, Planta 1 en el año 2014



Ilustración 79: Zoom de Capa Planta 1

- Planta 2
 - La capa *Planta 2* para el año 2014 se muestra en su extensión completa.

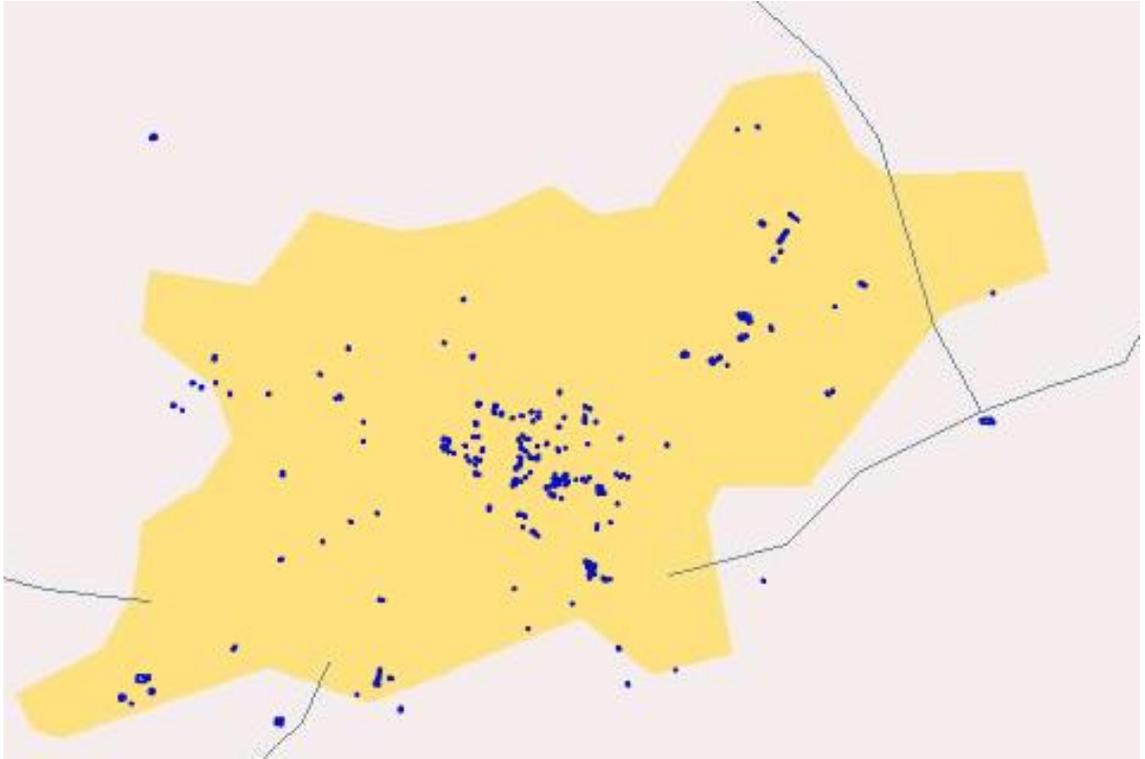


Ilustración 80: Pantalla del visor 4D, Planta 2 en el año 2014

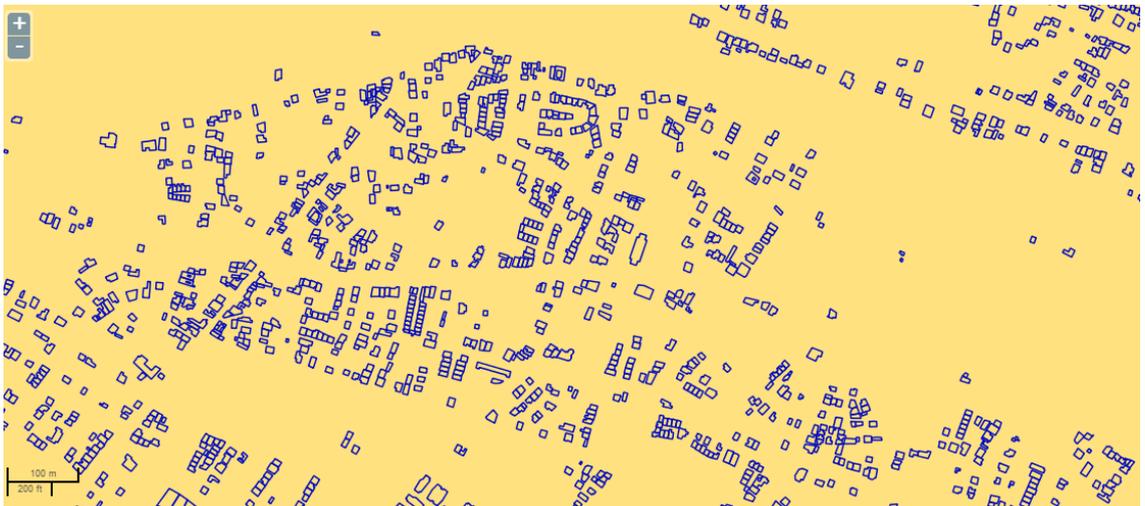


Ilustración 81: Zoom de Capa Planta 2

- Planta 3
 - La capa *Planta 3* para el año 2014 se muestra en su extensión completa.

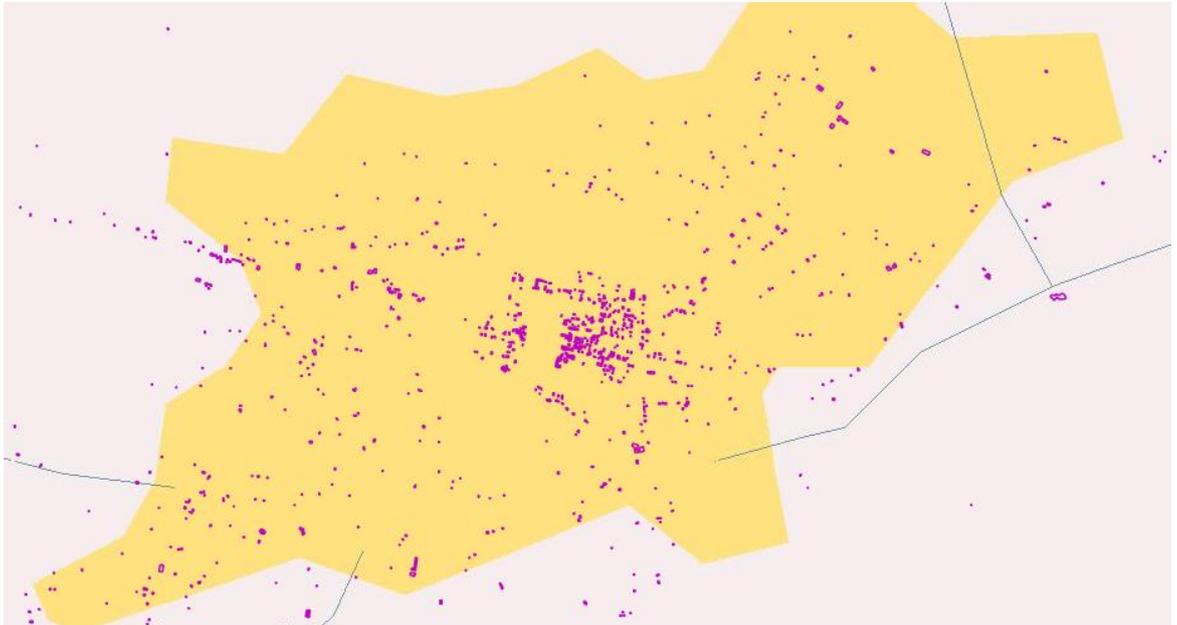


Ilustración 82: Pantalla del visor 4D, Planta 3 en el año 2014



Ilustración 83: Zoom de Capa Planta 3

4.1 Análisis de resultados en la implementación del Sistema Información Geográfico en tres y cuatro dimensiones para el GAD Municipal del Cantón Cuenca

4.1.1 SIG en 3D

La creación de un archivo KML a partir de un archivo *shape* fue clave para la exposición deseada de las tres dimensiones, configurando los atributos disponibles de la herramienta Shape2KML, como el nombre, descripción y altura.

Para cada capa desplegada, se emplearon diferentes valores de altura, previniendo la superposición de las capas exteriores, tomando como capa tridimensional base a Manzanas, Predios, Planta 1, Planta 2 y finalmente la Planta 3.

Dado que el archivo KML contiene una alta cantidad de información sobre cinco capas vectoriales, el despliegue del servicio de consulta tiene un tiempo de demora considerable, por lo que se recomienda cargar una capa a la vez. Con esto se evita la que la ejecución del SIG 3D se detenga, beneficiando a la exploración del mapa mediante los controles dispuestos por el API de Google Earth.

4.1.2 SIG en 4D

La implementación de la cuarta dimensión, involucró la creación de un campo extra (tiempo) en la Base de Datos con el formato WMS+Tiempo 'AAAA', para los años.

Se observó también que en el caso de ingresar nuevas capas de datos correspondientes a distintos años a los ya existentes en la Base de Datos, debe contrastarse que los campos y sus atributos sean iguales.

GeoServer como WMS, aporta eficiencia y alto rendimiento en la gestión de recursos, tal como la conexión con la Base de Datos para la agregación de las capas, agregación del parámetro tiempo y de archivos de estilos personalizados, y finalmente la pre-visualización de cada capa y su posterior publicación.

El tiempo de respuesta de los servicios es óptimo, siempre y cuando el servidor active el servicio.

CONCLUSIONES

- Se realizó un análisis teórico en torno a la elaboración de mapas y su representación en tres y cuatro dimensiones, tomando en cuenta a los elementos cartográficos principales, como el sistema de coordenadas, proyección espacial y vista tridimensional. El concepto de una cuarta dimensión demostró que la evolución o desarrollo de una población puede ser capturada, transformada en información, así como transmitida y analizada para la toma de decisiones en diversas temáticas de planificación.
- Se realizó la investigación pertinente a las diferentes arquitecturas y metodologías empleadas en la elaboración de proyectos extranjeros que fueron y siguen siendo implementados en diversas áreas de estudio. Se observaron técnicas de gestión de datos como lo es el Multiparache 3D o el Modelo de Información 3D Integrado para el SIG 3D, y la generación de ambientes espacio-tiempo virtuales para la reconstrucción de ciudades en diferentes tiempos.
- Se implementó Proyecto Piloto SIG 3D y 4D con las herramientas seleccionadas en sus versiones correspondientes, las cuales fueron establecidos por el departamento de Avalúos, Estadísticas y Catastros del GAD Municipal del Cantón Cuenca.
- Se determinó que el API de Google al ser un componente ideal para Proyecto Piloto SIG 3D, proporciona la información necesaria para la visualización de los datos, sin embargo no provee la capacidad de implementar varias capas o archivos KML conjuntamente, solo dispone de la visualización de una capa a la vez debido a que afecta la rapidez de carga.
- Se observó que la información que fue proporcionada por parte del GAD Municipal del Cantón Cuenca estuvo incompleta, debido a que algunos períodos anuales en el visor 4D se ven vacíos, ya que fue un proyecto de investigación.

- Es necesario especificar que la arquitectura del Proyecto Piloto SIG 3D y 4D no es soportado por cualquier cliente SIG, como es el caso de Quantum GIS para escritorio. Este software no soporta los servicios web disponibles para la cartografía 4D.

RECOMENDACIONES

- En la creación y visualización del archivo KML se recomienda tener en cuenta la cantidad de datos a representar en el visor web, si este archivo es demasiado grande puede presentar problemas de navegación al utilizarlo.
- Se requiere antes de utilizar el API de Google para la visualización en 3D una licencia o key que se provee gratuitamente al disponer de una cuenta Google.
- El tipo de dato o el campo a utilizar en la base de datos PostgreSQL para utilizar la línea del tiempo (4D) es necesario que sea de tipo “*timestamp with time zone*”, caso contrario el servicio web de tiempo generado desde Geoserver no podrá funcionar.
- Se debe considerar al migrar la información de las capas para control del tiempo que dispongan del mismo tipo de dato y que contengan el campo geométrico común usando puntos, líneas o polígonos.
- Se recomienda a los técnicos del GAD Municipal del Cantón Cuenca adquirir información geográfica raster del cantón. Para el desarrollo de esta tesis no se pudo recopilar este tipo de información. Estos datos geográficos se han descargado mediante la aplicación de Google Earth que nos da la opción de capturar imágenes de la localización que se muestran en ese instante.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

.BIL: Band Interleaved by Line o Banda de Paginación Interna por Línea, formato para datos ráster.

.HGT: Height o archivos que contienen datos sobre las elevaciones de la superficie de la Tierra.

.IMG: Es un formato de archivo binario para imágenes.

ACID: Atomicidad, Consistencia, Integridad y Durabilidad de los datos.

API: Interfaz de Programación de Aplicaciones.

ARCPY: Paquete basado en el módulo arcgisscripting para el análisis de datos geográficos, conversión de datos, administración de datos y automatización de mapas con Python.

ASP: Active Server Pages o Páginas de Servidor Activo.

CAD: Diseño Asistido por Computadora

CGI: Common Gateway Interface o Interfaz de Entrada Común.

COLLADA:

CQL: Contextual Query Language o Lenguaje de Consulta Contextual.

DBMS: Database Management System o Sistema de Gestión de Bases de Datos de Java Web Start.

DEM: Digital Elevation Model o Modelo de Elevación Digital

DTM: Digital Terrain Modelo o Modelo de Terreno Digital

EPPL7: Environmental Planning and Programming Language o Lenguaje de Programación y Planeamiento Medioambiental.

FLV: Video Flash.

FRAMEWORK: Marco de Trabajo o Infraestructura Digital.

GEOESTADÍSTICA: Área de la Geografía matemática que abarca los conjuntos de datos de la superficie terrestre.

GEOID: Es una capa de la superficie de los océanos que toman influencia sobre la gravitación y rotación de la Tierra.

GEOLOCALIZACIÓN: Es la ubicación satelital de un objeto o persona con coordenadas de su posicionamiento.

GIF: Graphics Interchange Format o Formato de Intercambio de Imágenes.

GML: Geographic Markup Language o Lenguaje de Marcación Geográfica.

GNU GPL: GNU General Public License o Licencia Pública General de GNU.

GPS: Sistema de Posicionamiento Global.

HDF: Hierarchical Data Format.

HTML: HyperText Markup Language o Lenguaje de Marcas de Hipertexto.

IIS: Internet Information Server o Servidor de Información de Internet.

IMAP: Internet Message Access Protocol o Protocolo de Acceso a Mensajes de Internet.

JMX: Java Management eXtensions o Extensiones de Gestión Java.

JNDI: Java Naming and Directory Interface o Interfaz de Nombrado y Directorio Java.

JPEG: Joint Photographic Experts Group o Grupo Conjunto de Expertos en Fotografía.

JSON: JavaScript Object Notation o Notación de Objetos JavaScript.

KML/ KMZ: Keyhole Markup Language o Lenguaje de Marcación basado en XML.

LDAP: Lightweight Directory Access Protocol o Protocolo Ligero de Acceso a Directorios.

LIDAR: Laser Imaging Detection and Ranging.

MP4: Moving Picture Experts Group 4 o Grupo de Expertos de Imagen en Movimiento.

NETCDF: Networked Common Data Form o Formulario de Datos Comunes en Red.

OBJ: Archivo de Objetos

OGC: Open Geospatial Consortium o Consorcio Geoespacial Abierto

OLAP: OnLine Analytical Processing o Procesamiento Analítico en Línea

SGBD: Sistema de Gestión de Bases de Datos

PLACEMARK: Marcas de posición.

PNG: Portable Network Graphics o Gráficos de Red Portátiles.

POP3: Post Office Protocol o Protocolo de Oficina de Correo.

PostgreSQL:

PyQGIS: Es un soporte de scripting de QGIS empleando el lenguaje de programación Python.

RDBMS: Relational Database Management System o Sistema de Gestión de Bases de Datos Relacionales.

SDK: Software Development Kit o Kit de Desarrollo de Software

SEXTANTE: Sistema Extremeño de Análisis Territorial.

SGI: Silicon Graphics International o Gráficos Internacionales de Silicon.

SPDY: Protocolo de nivel de aplicación para el modelo OSI, el mismo que es un complemento para el protocolo HTTP.

SQL: Structured Query Language o Lenguaje de Consulta Estructurado.

SSI: Seguridad Server Side Include o Inclusión del lado de Seguridad del Servidor.

SVG (Scalable Vector Graphics)

TIF: Tagged Image File Format, es un formato de archivo informático para imágenes.

MODELO TIN: Triangulated Irregular Network o Red Irregular Triangulada.

TRUETYPE: Formato estándar de tipos de letra escalables.

UNESCO: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization o Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura

USGS DEM: U.S. Geological Survey Digital Elevation Model o Modelo Digital de Elevación del Servicio Geológico de Estados Unidos.

WCS: Web Coverage Service o Servicio de Cobertura Web

WebCGM: Web Computer Graphics Metafile o Archivo de Metadatos de Gráficos Web de Computadora.

WEBGL: Es un visualizador para gráficos en 3D mediante páginas Web.

WFS: Web Feature Service o Servicio de Características Web.

WMS: Web Map Service o Servicio de Mapas Web.

WXWIDGETS: Conjunto de bibliotecas multiplataforma, utilizadas en el desarrollo de interfaces gráficas bajo el en lenguaje C++.

XML: eXtensible Markup Language o Lenguaje de Marcación Extensible.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).** *Productos cartográficos y sus características.* Aguascalientes - Mexico : s.n., 2014.
2. **Pegg, Dave.** *Design Issues with 3D Maps and the Need for 3D Cartographic Design Principles.* Hungría : Research Project (Cartography), 2009.
3. **Petrovic, D.** *CARTOGRAPHIC DESIGN IN 3D MAPS.* Slovenia. : University of Ljubljana, Faculty of Civil and Geodetic Engineering, Geodetic Institute of Slovenia, 2003.
4. **Arévalo, Cristina Charro y Armijos, Vinicio Washington Valencia.** *MODELO TRIDIMENSIONAL DE LA HISTORIA GEOLÓGICA DEL VOLCÁN COTOPAXI.* Quito - Ecuador : ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL , 2007.
5. **Preciado, Jose Miguel Santos.** *Los Sistemas de información Geográfica Vectoriales: El funcionamiento de arcGIS.* Madrid - España : s.n., 2008.
6. **M. Caprioli, B. Figorito, A. Scognamiglio & E. Tarantino.** *Implementing the features 3D Multipatch for the management of territorial infrastructures .* Bari-Italy : Polytechnic University of Bari, 2007.
7. **Emgard, Ludvig y Zlatanov, Sisi.** *Implementation alternatives for an integrated 3D Information Model.* Sweden : Lecture Notes in Geoinformation and Cartography, 2008.
8. **Panchaud, Nadia.** *Service-Driven 3D Atlas Cartography.* Zürich - Swiss : Institute of Cartography and Geoinformation, 2012.
9. **Community/gvSIG3D.** gvSIG 3D. [En línea] Project website for OpenSceneGraph. [Citado el: 20 de 12 de 2014.] <http://www.openscenegraph.org/index.php/gallery/use-cases/133-gvsig-3d#>.
10. **Ltd, Mine Modelling Pty.** *Map3D User's Manual.* Victoria - Australia : s.n., 2014.
11. **Developers, Google.** Official Google Blog: Google Earth downloaded more than one billion times. [En línea] Google. [Citado el: 23 de 12 de 2014.] <http://googleblog.blogspot.com/2011/10/google-earth-downloaded-more-than-one.html>.
12. **Team, GRASS Development.** <http://grass.osgeo.org/>. [En línea] [Citado el: 20 de 12 de 2014.] <http://grass.osgeo.org/>.
13. **ITC-ULPGC.** Capaware, un framework geográfico 3D Multicapa. [En línea] Instituto Tecnológico de Canarias :: Gobierno de Canarias. [Citado el: 20 de 12 de 2014.] <http://www.capaware.org/>.

14. **Nacional, Dirección General del Instituto Geográfico.** Geoportal IDEE. [En línea] Ministerio de Fomento, 23 de 12 de 2014. [Citado el: 23 de 12 de 2014.] <http://www.idee.es/>.
15. **InspirE., Directiva.** Portal IDE Agua. [En línea] Asociación Desarrollo del Guadajoz y Campiña Este de Córdoba , 2010. [Citado el: 23 de 12 de 2014.] <http://ideadegua.org/>.
16. **IDEC, Centre de Suport.** Geoportal IDEC Local. [En línea] Institut Cartogràfic de Catalunya. [Citado el: 20 de 12 de 2014.] <http://www.geolocal.cat/idelocal/cat/>.
17. **Marbella, Ayuntamiento de.** SITMA. [En línea] [Citado el: 23 de 12 de 2014.] http://sit.marbella.es/VISOR_SITMA/.
18. **CANARIAS, GOBIERNO DE.** Visor 3D IDE Canarias. [En línea] GOBIERNO DE CANARIAS. [Citado el: 20 de 12 de 2014.] <http://visor.grafcan.es/visor3D/default.php?svc=svcVialOrto&lat=28.158739189677725&lng=-14.228170531988095&range=99.397705078125>.
19. **Hogan, Patrick.** goworldwind.org | All World Wind resources in one place. [En línea] Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio. [Citado el: 20 de 12 de 2014.] <http://goworldwind.org/>.
20. **Asociación gvSIG.** *Panorama de softwares livres para geo.* s.l. : Asociación gvSIG, 2013.
21. **CUENCA, ALCALDÍA DE.** GAD MUNICIPAL DEL CANTÓN CUENCA. [En línea] La Ilustre Municipalidad de Cuenca, 2014. <http://www.cuenca.gov.ec/>.
22. **Farman, Jason.** *Mapping the Digital Empire: Google Earth and the Process of Postmodern Cartography.* Washington D.C : s.n., 2009.
23. **Kenji, YANO, Tomoki, NAKAMA y Yuzuru, ISODA.** irtual Kyoto through 4D-GIS and Virtual Reality Working toward urban planning and disaster management. *Ritsumeikan University.* [En línea] 2010.
24. **Ltd, Mira Geoscience.** Software Solutions for the Mining Industry | Mira Geoscience. *GOCAD® Mining Suite.* [En línea] 2014.
25. **VIRTUALIS.** *VISUALISE, ANALYSE, INTERPRET: SPECIALIST SOFTWARE FOR HIGH-RESOLUTION VISUALISATION OF GEOSCIENCE DATA.* s.l. : VIRTUALIS, 2011.
26. **Salvador Bayarri – IVER.** *gvSIG:towards 4D GIS.* North Vancouver, BC Canada : s.n., 2007.
27. **Rahmi Nurha, ÇELİK, ULUĞTEKİN, N. Necla y Caner GÜNEY, Turkey.** *4D Geo-referenced Database Approach for GIS.* Greece : TS20 SIM Applications , 2004.
28. **Olaya, V.** *Sistemas de Información Geográfica.* 2012.

29. **Segarra, Felipe Beltrán.** *Generación de la cartografía 1:500 3D Municipal y SIG de gestión de la red Geodésica de vértices o bases de control de la cartografía municipal.* 2010-2012.
30. **Boo, Ignacio Durán.** *La Oficina Virtual del Catastro español.* Madrid : s.n., 2010.
31. **Soriano, L. Virgós y García, J.M. Olivares.** *Catastro 3D en Internet.* Madrid : Dirección General del Catastro.
32. **Olaya, Victor.** *Sistemas de Información Geográfica.* España : s.n., 2011.
33. **Zhu, Xuan.** *GIS and Urban Mining.* Clayton - Australia : School of Geography and Environmental Science, Monash University, Clayton Campus, 2014.
34. **Software, Edgewall.** *OssimPlanet – OSSIM.* [En línea] OSGeo. [Citado el: 20 de 12 de 2014.] <http://trac.osgeo.org/ossim/wiki/OssimPlanet>.
35. **Winther, Rasmus Grønfeldt.** *Mapping Kinds in GIS and Cartography.* London : Pickering & Chatto, 2014.
36. **Vanegas, Ing. Claudia Elena Durango.** *Caracterización de Datos EspacioTemporales en Sistemas de Información Geográfica.* Medellín, Colombia : s.n., 2013.
37. **Takase, Y., y otros.** *RECONSTRUCTION AND VISUALIZATION OF “VIRTUAL TIME-SPACE OF KYOTO,” A 4D-GIS OF THE CITY.* Kyoto, Japan : s.n., 2006.
38. **Ruymbeke, M. van, y otros.** *Development and use of a 4D GIS to support the conservation of the Calakmul site (Mexico, World Heritage Programme) .* Liège, Belgium : University of Liège, 2006.
39. **Ramachandran, R., Graves, S. Conover, H & Moe, K.** *Earth Science Markup Language (ESML): a solution for scientific data-application interoperability problem.* Huntsville, AL, USA : Greenbelt, 2004.
40. **Martínez, B., Torres, M. & Moreno, M.** *Bases de Datos EspacioTemporal.* México, D.F : Instituto Politécnico Nacional, 2008.
41. **Leitner, Dr. Michael.** *Cartography and Geographic Information Society.* [En línea] 2008 . <http://www.cartogis.org/>.
42. **Gopal M. Naik, Aditya M., and Suma B. Naik.** *GIS Based 4D Model Development for Planning and Scheduling of a Construction Project.* s.l. : International Journal of Innovation, Management and Technology, 2011.
43. **Gangal, Sanjay.** *Makai Voyager 3D / 4D Visualization Software Web Application.* Sanjay Gangal : Makai Ocean Engineering, 2012 .
44. *Tomlinson, R. (2013). Thinking About GIS: Geographic Information System Planning for Managers (Quinta ed.). ESRI Press.*

45. **García, Ana Crespo Solana and David Alonso.** *Self-organizing Networks and GIS Tools Cases of Use for the Study of Trading Cooperation.* s.l. : Journal of Knowledge Management, Economics and Information Technology, 2012.
46. **Thomas, Brian.** *The GeoNet Project - A Web Based 4D GIS .* Salzburger : Earth Observation Sciences Ltd, Broadmede, 1998:.
47. **Esri.** ESRI. [En línea] [Citado el: 10 de 01 de 2015.] <http://arcscrips.esri.com/details.asp?dbid=15698>.
48. **Sommerville, Ian.** *Ingeniería del software.* Madrid : Pearson Educación, 2005.
49. **Black, Uyles D.** *Redes de transmisión de datos y proceso distribuido.* Madrid : Dias de Santos, 1987.
50. **Izaskun Pellejero, Fernando Andreu, Amaia Lesta.** *Fundamentos y aplicaciones de seguridad en redes WLAN.* Barcelona : MARCOMBO, 2006.
51. **GIS, Comunidad desarrolladora SPACEYES 3D.** SPACEYES - 3D GIS Software. [En línea] SpacEyes3D. [Citado el: 15 de 01 de 2015.] http://www.spaceyes.fr/index.php?lang=en_GB.
52. **responsables, VisualizationSoftware.** VisualizationSoftware. [En línea] [Citado el: 17 de 01 de 2015.] <http://www.visualizationsoftware.com/3dem>.
53. **Inc, Skyline Software Systems.** Skyline Soft. [En línea] [Citado el: 2017 de 01 de 2015.] <http://www.skylinesoft.com/skylineglobe/corporate/products/terraexplorerfeatures.aspx>.
54. **Developers, Google.** Google Developers. *Google Earth API.* [En línea] [Citado el: 20 de 01 de 2015.] <https://developers.google.com/earth/?hl=es>.
55. **Foundation, The Apache Software.** Apache Tomcat 8. [En línea] [Citado el: 22 de 01 de 2015.] <https://tomcat.apache.org/tomcat-8.0-doc/>.
56. **Microsoft.** Información general del servidor web (IIS). [En línea] [Citado el: 22 de 01 de 2015.] <https://technet.microsoft.com/es-ec/library/hh831725.aspx>.
57. **Corporation, Oracle.** Sun Java System Web Server. [En línea] [Citado el: 23 de 01 de 2015.] <https://wikis.oracle.com/display/WebServer/Sun+Java+System+Web+Server>.
58. **Community, Nginx.** Nginx Community. [En línea] [Citado el: 25 de 01 de 2015.] <http://wiki.nginx.org/Main>.
59. **Lighttpd, Comunidad.** Lighttpd. [En línea] [Citado el: 25 de 01 de 2015.] <http://www.lighttpd.net/>.
60. **Microsoft.** SQL Server. [En línea] [Citado el: 26 de 01 de 2015.] <http://www.microsoft.com/es-es/server-cloud/products/sql-server/>.

61. **Corporation, Oracle.** MySQL :: The world's most popular open source database. [En línea] [Citado el: 26 de 01 de 2015.] <http://www.mysql.com/>.
62. **PostgreSQL-es.** PostgreSQL en español. [En línea] [Citado el: 26 de 01 de 2015.] www.postgresql.org.es.
63. **Corporation, Oracle.** Oracle DataBase. [En línea] [Citado el: 26 de 01 de 2015.] http://www.orafaq.com/wiki/Oracle_database.
64. **team, GeoServer.** Geoserver. [En línea] [Citado el: 27 de 01 de 2015.] <http://docs.geoserver.org/>.
65. MapBox. [En línea] [Citado el: 27 de 01 de 2015.] <https://www.mapbox.com/>.
66. **Team, GRASS Development.** GRASS GIS. [En línea] [Citado el: 27 de 01 de 2015.] <http://grass.osgeo.org/>.
67. **Team, Eclipse.** uDigUser-friendly Desktop Internet GIS. [En línea] [Citado el: 27 de 01 de 2015.] <http://udig.refractor.net/>.
68. **Böhner, J., McCloy, K.R. & Strobl, J.** SAGA - Software. [En línea] [Citado el: 27 de 01 de 2015.] <http://www.saga-gis.org/en/about/software.html>.
69. **Minnesota, Regents of the University of.** MapServer. [En línea] [Citado el: 28 de 01 de 2015.] <http://mapserver.org/index.html>.
70. **ESRI.** ArcGIS Resources. *Ayuda de ArcGIS 10.1*. [En línea] [Citado el: 28 de 01 de 2015.] <http://resources.arcgis.com/es/help/main/10.1/index.html#na/00qn0000001p000000/>.
71. **collection, The Noun Project.** Guía de usuario de QGIS. [En línea] [Citado el: 28 de 01 de 2015.] http://docs.qgis.org/2.6/es/docs/user_manual/.
72. **Center, Unidata Program.** Unidata, providing innovative data services and tools to transform the conduct of geoscience. [En línea] [Citado el: 29 de 01 de 2015.] <http://www.unidata.ucar.edu/software/netcdf/>.
73. **Consortium, Open Geospatial.** Open Geospatial Consortium | OGC. [En línea] [Citado el: 30 de 01 de 2015.] <http://www.opengeospatial.org/resource/products/compliant>.
74. **Jeppesen.** C-MAP 4D. [En línea]
75. **Tomlinson, R.** *Thinking About GIS: Geographic Information System Planning for Managers*. s.l. : ESRI Press, 2013.
76. **Obe, R., & Hsu, L.** *PostGIS in Action*. Manning Publications Co. 2011.
77. **Portal de la Dirección General del Catastro.** La Cartografía Catastral en Internet . [En línea] [Citado el: 25 de 09 de 2014.] <http://www.catastro.meh.es/servicios/wms/wms.htm>.