



UNIVERSIDAD DE SALAMANCA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CARTOGRÁFICA Y DEL TERRENO

TESIS DOCTORAL

Infraestructuras de Datos Espaciales Tridimensionales:

Hacia un modelo real de la Información Geográfica

Javier Valencia Martínez de Antoñana

2017

UNIVERSIDAD DE SALAMANCA

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ÁVILA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CARTOGRÁFICA Y DEL TERRENO



AUTOR:

Javier Valencia Martínez de Antoñana

DIRECTOR:

Ángel Luis Muñoz Nieto



La Tesis Doctoral “*Infraestructuras de Datos Espaciales Tridimensionales: Hacia un modelo real de la Información Geográfica*”, presentada por D. Javier Valencia Martínez de Antoñana, se desarrolla dentro del ámbito de las Tecnologías de la Información Espacial, abordando una línea de investigación de gran interés, dado el creciente peso que la Información Espacial va tomando en nuestra sociedad, tanto desde un punto de vista colectivo como individual.

Se trata de una temática de gran interés, en la que los desarrollos tecnológicos y los avances conceptuales se implementan a una velocidad vertiginosa, y a los que la comunidad científica internacional, las empresas y las organizaciones responsables de la Gestión de la Información Espacial están dedicando notables esfuerzos.

La investigación, que emplea como punto de partida la recopilación de información a través del método de la encuesta a un panel de expertos, se focaliza en el análisis de la problemática que supone la integración de la información espacial tridimensional en las IDEs, y su difusión a través de Internet, entendiendo que esta evolución superará las limitaciones de los entornos 2D y nos aproximará a un modelo real de la Información Geográfica distribuido en la Web.

Los principales méritos del trabajo se concretan en que:

1. Se desarrolla un estado del arte riguroso que, mediante la activación de un sistema de alertas bibliográficas, ha estado vivo y en constante actualización durante el proceso de elaboración de la tesis. Destaca, por otra parte, la indagación en las normativas de carácter nacional e internacional existentes.
2. Se lleva a cabo un análisis detallado de numerosas iniciativas públicas y privadas en materia de lenguajes de programación, modelos de datos, servicios y software. Se descubren y se evalúan poniendo de manifiesto los principales cuellos de botella que dificultan el desarrollo de las IDEs 3D, realizando un entronque con las líneas de investigación y desarrollo necesarias.
3. Se definen los elementos y componentes imprescindibles en la implementación de una IDE tridimensional, teniendo en cuenta tanto la perspectiva técnica como la legal. En este aspecto se hace un planteamiento a futuro, aportando sugerencias y criterios propios basados en la experiencia y el conocimiento del doctorando.
4. La contrastación de las hipótesis iniciales revela, por una parte, que existe una demanda social que justifica el interés y la necesidad de investigación y desarrollo tecnológico en este campo, por cuanto se puede dar soluciones a los usuarios de información geográfica. Queda probado también que, con en el estadio tecnológico actual el desarrollo de proyectos IDEs 3D es viable. Se ponen de manifiesto las grandes dificultades para su implementación, y cómo la comunidad científica necesitará redoblar esfuerzos para la estandarización, sin perder nunca de vista que el medio de comunicación de esta información será Internet
5. A tenor del conocimiento generado y de las conclusiones extraídas, se aporta un modelo funcional para una IDE 3D

En Ávila a 5 de Julio de 2017

Fdo.: Ángel Luis Muñoz Nieto

AGRADECIMIENTOS

Son muchas las personas a las que tengo que agradecer, de una u otra manera, el que haya podido desarrollar esta tesis. Sin duda, la verdadera responsable de que hayamos llegado hasta aquí es mi esposa, Amaia, la verdadera artífice de que este milagro se haya producido. La persona que me animó a inscribirme al programa de doctorado, la persona que me ha animado cuando más lo he necesitado y que se ha sacrificado tantos y tantos días, fines de semana incluidos, quedándose con nuestras adorables hijas para que pudiera sacar tiempo para la tesis. Me has ayudado, me has animado, me has obligado, me has dirigido...Imposible plasmar todo mi agradecimiento en unas pocas líneas, pero creo que es del todo justo y merecido. Gracias.

Me gustaría también agradecer de todo corazón a Ángel, mi director de tesis, toda la atención, ánimos y consejos que me ha transmitido a lo largo del tiempo que ha durado la tesis. Gracias por respetar mis tiempos, gracias por apretarme cuando ha sido necesario, por tu sinceridad y por tu juiciosa dirección. Siendo consciente de la dificultad que conllevaba esta forma de desarrollar una tesis de esta tipología, teniendo en cuenta los medios y las distancias, estoy seguro que sin tu ayuda jamás habiéramos llegado a puerto.

Otra persona fundamental, también, para que todo esto saliera bien es Gemma Ercilla. Una investigadora de primera magnitud que por extraños deseos del destino tuve la oportunidad de conocer hace ya tiempo y que se ha convertido en un ángel de la guarda de los más importantes trabajos y proyectos en los que me he visto envuelto en los últimos años. Una persona a la que admiro en lo profesional pero, sobre todo, en lo personal. De esas personas que merece la pena conocer y que te marca para siempre. Gemma, gracias por todo.

Y por último me gustaría también agradecer a D. Antonio F. Rodríguez Pascual, Jefe de Área de Infraestructura de IG del Instituto Geográfico Nacional y una de las personas con mayor conocimiento en materia de IDE en nuestro país; a D. Miguel Ángel Bernabé, profesor jubilado (Actualmente Ad Honorem) de la

Hacia un modelo real de la Información Geográfica

Universidad Politécnica de Madrid, especialista en IDE, al igual que en el caso anterior, una de las personas con mayor conocimiento en materia de IDE, no sólo a nivel nacional, también a nivel internacional, sobre todo en Latinoamérica; a D. Peter van Oosterom, profesor de la Universidad Técnica de Delft, especialista en IG, asesor de Oracle sobre el modelo de datos para sus BB.DD. espaciales tridimensionales, referente a nivel mundial en materia de IG tridimensional y a Dña. Jantien Stoter, profesora de "3D GeoInformation" en TU Delft, Vice-chair 3D Information Management Domain Working Group en Open Geospatial Consortium y Chair of Commission "Data Specifications" en EuroSDR y, al igual que Peter, una de las personas más influyentes en temas de IG tridimensional.

A todos ellos, gracias por su amabilidad y su tiempo.

RESUMEN

Esta tesis doctoral desarrolla un completo análisis de la situación actual de las IDE con respecto a la tercera dimensión, abordando líneas de investigación a futuro y analizando las necesidades y debilidades que se presentan. Tras profundizar en los conocimientos sobre IDE a través del máster en Geotecnologías cartográficas en Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de Salamanca y, tras comprobar tanto la necesidad como la convergencia de diversas ramas técnico-científicas en materia de gestión de información geográfica (IG) tridimensional, se decide, a través de este trabajo desarrollar un proyecto de investigación centrado en las IDE 3D.

Siguiendo un enfoque cualitativo en el desarrollo de la metodología de investigación, se hace patente la importancia de lo que supone la tercera dimensión espacial para el desempeño de las actividades cotidianas del ser humano en nuestros tiempos. El análisis de las encuestas y entrevistas realizadas con especialistas prestigiosos en este campo ponen de manifiesto la necesidad de promover la investigación y el desarrollo tecnológico en el ámbito de las IDE 3D y de los servicios que deben acompañar a las mismas. Finalmente, se definen los elementos necesarios para poder implementar una IDE tridimensional, teniendo en cuenta todos los parámetros de desarrollo, tanto técnicos como legales, necesarios para cumplir con los actuales marcos tecnológicos, normativos, jerárquicos y legales.

A través del trabajo desarrollado, se pone de manifiesto la existencia de una gran cantidad de iniciativas, que con carácter experimental han surgido para solucionar las carencias en lo relativo a la gestión y publicación de IG tridimensional. Se ha constatado que, por lo general, la adaptación de la tercera dimensión por parte de las IDE está en fase germinal, con muchas posibilidades de avance y aporte de contribuciones científicas y tecnológicas.

Este documento intenta ser una de esas contribuciones.

ABSTRACT

This doctoral thesis develops a complete analysis of the current situation of SDI with respect to the third dimension, addressing future research lines and analysing the needs and weaknesses that are presented. After deepening the knowledge on SDI through the master in Cartographic Geotechnologies in Engineering and Architecture at the University of Salamanca and, after checking both the need and the convergence of diverse technical-scientific branches in the matter of three-dimensional geographic information (GI) management, it is decided, through this work, to develop a research project focused on 3D SDI.

Following a qualitative approach in the development of the research methodology, it becomes clear the importance of what the third space dimension represents for the performance of the daily activities of the human being in our days. The analysis of surveys and interviews with prestigious specialists in this field show the need to promote research and technological development in the field of 3D SDI and the services that must accompany them. Finally, the necessary elements are defined to be able to implement a three-dimensional SDI, taking into account all the development parameters, both technical and legal, necessary to comply with the current technological, normative, hierarchical and legal frameworks.

Through the work developed, the existence of a large number of initiatives, which have emerged experimentally to solve the shortcomings in the management and publication of three-dimensional GI, is revealed. It has been observed that, generally, the adaptation of the third dimension by SDI is in the germinal phase, with many possibilities of advancement and scientific and technological contributions.

This document aims to be one of these contributions.

INDICE

1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	DEMANDA DE LAS IDE 3D	6
1.2	ORÍGENES Y MOTIVACIÓN DEL PROYECTO	9
1.3	OBJETIVOS, INTERROGANTES E HIPÓTEIS PLANTEADAS	10
2	METODOLOGÍA INVESTIGADORA	17
2.1	ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN.....	19
2.2	NUEVAS PERSPECTIVAS EN IDE 3D.....	20
2.3	RECOPIACIÓN DE DOCUMENTACIÓN. LA ENTREVISTA COMO FUENTE DE ADQUISICIÓN DE INFORMACIÓN.....	21
2.4	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN	22
2.5	SISTEMA DE SEGUIMIENTO Y ACTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	23
3	LAS IDE 3D. ORÍGENES, ESTADO DEL ARTE Y NECESIDAD	27
3.1	FUNDAMENTOS DE LAS IDE	29
3.1.1	CONCEPTO Y ORÍGENES DE LAS IDE	30
3.1.2	PRINCIPIOS TÉCNICOS Y COMPONENTES DE UNA IDE	35
3.2	LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN EN IDE 3D.....	52
3.3	IDE 3D. ORÍGENES Y JUSTIFICACIÓN.....	57
4	LAS IDE 3D DESDE EL PUNTO DE VISTA DE LA GESTIÓN INTERNA. HERRAMIENTAS, FORMATOS Y TECNOLOGÍAS	65
4.1	INTRODUCCIÓN	67
4.2	LA ESCALA EN IG TRIDIMENSIONAL.....	68

4.3	LA NATURALEZA DE LA IG TRIDIMENSIONAL. TIPOLOGÍAS DE REPRESENTACIÓN.....	73
4.3.1	REPRESENTACIONES BASADAS EN SUPERFICIES.....	74
4.3.2	REPRESENTACIONES BASADAS EN VOLÚMENES.....	77
4.4	LA TOPOLOGÍA EN LOS MODELOS TRIDIMENSIONALES	81
4.4.1	DIFERENCIAS ENTRE MODELOS TOPOLÓGICOS 2D Y 3D	81
4.4.2	MODELOS TOPOLÓGICOS 3D.....	84
4.5	TECNOLOGÍAS DE CAPTURA Y OBTENCIÓN DE IG TRIDIMENSIONAL.....	87
4.5.1	TECNOLOGÍAS EN FUNCIÓN DE LA COBERTURA	87
4.5.2	TECNOLOGÍAS EN FUNCIÓN DE LA METODOLOGÍA DE CAPTURA.....	90
4.5.3	TECNOLOGÍAS EN FUNCIÓN DE LA ADQUISICIÓN DIRECTA O DERIVADA.....	92
4.5.4	TECNOLOGÍAS EN FUNCIÓN DEL VALOR SEMÁNTICO.....	94
4.6	HERRAMIENTAS PARA LA GESTIÓN DE LA IG TRIDIMENSIONAL. FORMATOS	98
4.6.1	HERRAMIENTAS GRÁFICAS CON MODELOS DE DATOS PROPIETARIOS	99
4.6.2	HERRAMIENTAS DE GESTIÓN DE BB.DD. PARA IG TRIDIMENSIONAL.....	102
4.7	CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO.....	104
5	LAS IDE 3D DESDE EL PUNTO DE VISTA DE LOS METADATOS.....	107
5.1	INTRODUCCIÓN	109
5.2	LA NORMA ISO 19115 Y LA IG TRIDIMENSIONAL.....	113
5.3	LA NORMA ISO 15836 Y LA IG TRIDIMENSIONAL.....	120
5.4	LA NORMA CEN/TC287 Y LA IG TRIDIMENSIONAL	122
5.5	CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO.....	122
6	LAS IDE 3D DESDE EL PUNTO DE VISTA DE LOS PROTOCOLOS DE INTERCAMBIO Y COMUNICACIÓN	125
6.1	INTRODUCCIÓN	127
6.2	PROTOCOLOS DE INTERCAMBIO Y COMUNICACIÓN.....	128
6.2.1	SERVICIOS DE CATÁLOGO	128
6.2.2	SERVICIOS DE PUBLICACIÓN	134

6.2.3	DEBILIDADES Y FORTALEZAS DE CITYGML.....	138
6.2.4	OTROS LENGUAJES OGC PARA MODELOS 3D.....	140
6.3	CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO.....	145
7	LAS IDE 3D DESDE EL PUNTO DE VISTA DE LA PUBLICACIÓN. CLIENTES PESADOS Y CLIENTES LIGEROS. LA PUBLICACIÓN EN INTERNET	147
7.1	INTRODUCCIÓN	149
7.2	TIPOLOGÍA DE CLIENTES.....	150
7.2.1	CLIENTES PESADOS	152
7.2.2	CLIENTES LIGEROS	161
7.3	PUBLICACIÓN DE IG 3D EN INTERNET.....	164
7.4	CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO.....	172
8	CONCLUSIONES	175
8.1	PROPUESTA FUNCIONAL DE UNA IDE 3D	178
8.2	OBJETIVOS E INTERROGANTES RESUELTOS.....	184
8.3	VEIFICACIÓN DE HIPÓTEIS	185
8.4	LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN FUTURAS	186
9	BIBLIOGRAFÍA	190

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Fig. 1.1. Simbolización de la tercera dimensión en un sistema 2D (izquierda) vs análisis espacial tridimensional con tecnología WebGL (derecha). Elaboración propia mediante Global Mapper y Cesium	3
Fig. 1.2. Primeros modelos de Mobile Mapping (1990), cortesía de TeleAtlas (izquierda) vs Modelo IP-S3 (2015) cortesía de Topcon (derecha).....	4
Fig. 1.3. Dimensiones asimilables para el ser humano. Elaboración propia.	4
Fig. 1.4. Modelo bidimensional (izquierda) vs. Modelo tridimensional (derecha). Elaboración propia mediante ejemplo de la herramienta Autodesk Land Development Desktop	5
Fig. 1.5. Representación de un modelo de información de construcción. Elaboración propia con Autodesk Revit 2013	7
Fig. 1.6. Representación de un croquis catastral en 3D, cortesía de Luis Ignacio Virgós Soriano y José Miguel Olivares García, Dirección General del Catastro.....	8
Fig. 2.1. Esquema de metodología investigadora seguida. Adaptación del esquema de investigación cualitativa de Sampieri et al., 1996.	19
Fig. 2.2. Nube de palabras de las Fases Iniciales con Tagcrowd.....	23
Fig. 2.3. Nube de palabras de las Fases Posteriores con Tagcrowd.	24
Fig. 3.1. Esquema jerárquico de desarrollo de las IDE. Elaboración propia.	35
Fig. 3.2. Diseño de operatividad de una IDE y elementos que la componen (Sebastian Benthall y Galen Evans).....	36
Fig. 3.3. Ejemplos de visualización de WTS con el software de 52north. Elaboración propia. ..	49
Fig. 3.4. Niveles de detalle de CityGML. Elaboración propia.....	59
Fig. 3.5. Visor 3D de PostGIS. Elaboración propia.	61
Fig. 3.6. 3DCityDB en funcionamiento con el visor Cesium. Elaboración propia.	63
Fig. 4.1. Diseño de operatividad de una IDE desde el punto de vista de la gestión interna. Figura adaptada de la Fig. 3.2 (Sebastian Benthall y Galen Evans).	67
Fig. 4.2. Diseño de operatividad de una IDE 3D desde el punto de vista de la gestión interna. Elaboración propia.	68
Fig. 4.3. Tabla resumen de LoD, escalas, precisiones y metodologías con las que se obtienen. Elaboración propia.	71
Fig. 4.4. Ejemplo de modelo 4D de una casa en dos LoD distintos (Arroyo Otori, K. et al., 2017).	72
Fig. 4.5. Ejemplo de grid visualizado en 3D (izquierda) y 2D (derecha) procedente del LiDAR de Goeuskadi y Global Mapper. Elaboración propia.....	75
Fig. 4.6. Ejemplo de Shape Model con vector normal (Li, R. 1994).	75
Fig. 4.7. Ejemplo de TIN visualizado en 2D. Elaboración propia.....	76

Hacia un modelo real de la Información Geográfica

Fig. 4.8. Ejemplo b-Rep visualizado en AutoCAD. Elaboración propia. 77

Fig. 4.9. Array 3D modelizado con Excel. Elaboración propia..... 78

Fig. 4.10. Modelo Octree con MeshLab. Elaboración propia..... 78

Fig. 4.11. CSG de ejemplo de AutoCAD. Elaboración propia..... 79

Fig. 4.12. TEN visualizado con Netfabb. Elaboración propia..... 80

Fig. 4.13. Tabla comparativa entre modelos de datos 3D y LoD. Elaboración propia..... 81

Fig. 4.14. Visualización de nodos en 2D y 3D. Elaboración propia. 82

Fig. 4.15. Relaciones topológicas en distintos espacios euclidianos. Elaboración propia. 83

Fig. 4.16. Esquema de un modelo de n-tuplas (García-Jacas, C. R. et al., 2016). 86

Fig. 4.17. Arriba a la izquierda, SAR Sentinel 1 (<http://www.esa.int>). Arriba a la derecha, Buque Oceanográfico Sarmiento de Gamboa (<http://www.csic.es>). Abajo, plataforma fotogramétrica Aerocomander AC-690 (<http://aerodata-surveys.com/>). 88

Fig. 4.18. Izquierda, dron con LiDAR aerotransportado (Phoenix Aerial). Derecha, dron fotogramétrico (Trimble) 89

Fig. 4.19. Izquierda, escáner láser (Faro Focus 3D). Derecha, sistema fotogramétrico de trípode (Trimble V10)..... 89

Fig. 4.20. Izquierda, tratamiento de puntos (Global Mapper). Derecha, tratamiento de píxeles (Trimble Business Center). Elaboración propia. 90

Fig. 4.21. Modelo 3D a partir de 2D y datos alfanuméricos ((Biljecki, F. et al., 2017)..... 93

Fig. 4.22. Modelo 3D a partir de vectores 3D y datos alfanuméricos (goshtTown). Elaboración propia..... 94

Fig. 4.23. Detección automática de elementos semánticos (Krispel, U. et al, 2015)..... 95

Fig. 4.24. Modelo BIM, IFC (izquierda). Modelo IDE, CityGML (derecha) (Thomas H. Kolbe) .. 96

Fig. 4.25. Distintos métodos de obtención de IG 3D. Elaboración propia 98

Fig. 4.26. Ejemplo de proyecto MyCampus de Esri City Engine (Esri.com)..... 99

Fig. 4.27. Comparación cualitativa de funcionalidad de software de gestión de modelos 3D (○: no, ●: mala, ●●: regular, ●●●: buena). Elaboración propia 101

Fig. 4.28. Visualización de poliedros con PostGIS. Elaboración propia 103

Fig. 5.1. Diseño de operatividad de una IDE desde el punto de vista de la gestión interna. Figura adaptada de la Fig. 3.2 (Sebastian Benthall y Galen Evans). 109

Fig. 5.2. Métodos de representación de IG 3D en la ISO 19115. Elaboración propia..... 115

Fig. 5.3. Resolución espacial para IG 3D en la ISO 19115 (<http://cite.opengeospatial.org/pub/cite/files/edu/csw/text/concepts.html>). 116

Fig. 5.5. Extensión vertical y geometrías 3D para IG 3D en la ISO 19115. Elaboración propia. 118

Hacia un modelo real de la Información Geográfica

Fig. 5.6. Precisión vertical para IG 3D en la ISO 19115 (https://www.iso.org/obp/graphics/std//iso_std_iso_19115_ed-1_v1_cor_1_v1_en/fig_A.6.png). 119

Fig. 5.7. Topología para IG 3D en la ISO 19115. Elaboración propia. 120

Fig. 5.7. Coberturas 3D en la Dublin Core. Elaboración propia. 122

Fig. 5.8. Clasificación semántica de edificios en CityGML. Elaboración propia. 123

Fig. 6.1. Diseño de operatividad de una IDE desde el punto de vista de la gestión interna. Figura adaptada de la Fig. 3.2 (Sebastian Benthall y Galen Evans). 127

Fig. 6.2. Arquitectura de Servicios de una IDE. OGC (<https://www.slIDEhare.net/GeorgePercivall/percivall-cyber-SIG-panel>). 128

Fig. 6.3 Modelo ontológico entre metadatos, servicios de catálogo y clientes. Elaboración propia. 129

Fig. 6.4. Modelo UML de consultas en el servicio CSW. OGC (<http://docs.opengeospatial.org/is/12-168r6/12-168r6.html#24>). 131

Fig. 6.5. Modelo UML de eb-RIM (arriba) y OpenSearch (abajo). OGC (http://portal.opengeospatial.org/files/?artifact_id=31137 y https://portal.opengeospatial.org/files/?artifact_id=56866) 132

Fig. 6.6. Clientes CSW de gvSIG y QSIG. Elaboración propia. 133

Fig. 6.7. Formatos de trabajo de WCS. Elaboración propia. 135

Fig. 6.8. Hillshade de alta resolución vía WCS. Elaboración propia. 136

Fig. 6.9. Distintas posibilidades de GML en servicios WFS de Geoserver. Elaboración propia. 138

Fig. 6.10. Visualización Multi-LoD (Biljecki, F. et al., 2016). 140

Fig. 6.11. Modelo de estructuración del espacio en IndoorGML. OGC (http://docs.opengeospatial.org/is/14-005r4/14-005r4.html#figure_1). 141

Fig. 6.12. Modelo de navegabilidad en IndoorGML (Li, K. J. y Lee, J. Y. 2013). 143

Fig. 6.13. Combinación IndoorGML con otras tecnologías (Ki-Joune Li, 2015). 144

Fig. 7.1. Diseño de operatividad de una IDE desde el punto de vista del usuario final. Figura adaptada de la Fig. 3.2 (Sebastian Benthall y Galen Evans). 150

Fig. 7.2. Tipología de clientes respecto de una IDE (Adaptación de IGN, <https://es.slIDEhare.net/afrodriguezpascual/20150921-la-directiva-inspire-y-la-ley-142010-lisige>) 151

Fig. 7.3. Sistemas adaptados para 3D, ArcScene (arriba) y GlobalMapper (abajo). Elaboración propia. 153

Fig. 7.4. Herramientas de navegación 3D de ArcScene. Elaboración propia. 154

Fig. 7.5. Protocolos de lectura y visionado de IG 3D. Elaboración propia. 154

Fig. 7.6. Mapa temático obtenido mediante un WPS con Geoserver. Elaboración propia (conexión establecida con <http://3dwebSIG.di.uminho.pt/geoserver3D/>). 155

Hacia un modelo real de la Información Geográfica

Fig. 7.7. Sistema de enrutamiento con WPS. <http://www.gdi-3d.de>. 156

Fig. 7.8. Arquitectura de la conexión WFS mediante un cliente pesado. Elaboración propia .. 156

Fig. 7.9. Desarrollos específicos para 3D, Google Earth (arriba) y FZK Viewer (abajo).
Elaboración propia. 157

Fig. 7.10. Estructura de árbol de los elementos semánticos de un modelo 3D con FZK Viewer.
Elaboración propia. 158

Fig. 7.11. Complemento para gestión de archivos CityGML en Sketchup. Elaboración propia.
..... 159

Fig. 7.12. Tabla comparativa entre las distintas tipologías de clientes pesados. Elaboración
propia..... 160

Fig. 7.13. Visualización 3D de archivo X3D en cliente ligero. Elaboración propia. 163

Fig. 7.14. Visualización compuesta de varias capas 3D mediante W3DS. OGC. 165

Fig. 7.15. Modelo de implementación de un servicio W3DS (Cabada, M. et al., 2004). 166

Fig. 7.16. Lenguajes de modelos 3D utilizados en Internet. Elaboración propia. 167

Fig. 7.17. Montaje Apache + Cesium + Batimetría del mar de Alborán. Elaboración propia. .. 168

Fig. 7.18. NASA W.W. con conexiones WMS a GeoEuskadi. Elaboración propia..... 169

Fig. 7.19. Esquema funcional de publicación de IG 3D en Internet. Elaboración propia. 170

Fig. 7.20. Arquitectura detallada de cliente 3D para publicación de IG 3D en Internet. Elaboración
propia..... 171

Fig. 8.1. Elementos de adquisición de IG 3D para entrada en la IDE. Elaboración propia. 179

Fig. 8.2. Esquema de Back-End y Middleware de una hipotética IDE 3D. Elaboración propia.
..... 181

Fig. 8.3. Esquema de Front-End de una hipotética IDE 3D. Elaboración propia..... 182

LISTADO DE ACRÓNIMOS

AENOR: Asociación española de Normalización y Certificación

BB.DD.: Bases de datos

BIM: Building Information Model

CEN: European Comité for Standardization

CSW: Servicio de catálogo

FE Filter Encoding: Servicio de filtrado de información

GIS: Geographical Information Sistem

GSDI: Global Spatial Data Infrastructure

IDE: Infraestructuras de Datos Espaciales

IDEE: Infraestructuras de Datos Espaciales de España

IG: Información Geográfica

ISO: Internacional Organization for Standardization

INSPIRE: Infrastructure for Spatial Information in Europe

LISIGE: Ley sobre las infraestructuras y los servicios de información geográfica en España

LoD: Nivel de Detalle

OGC: Open Geospatial Consortium

SAS: Servicio de Alerta de Sensor

SIG: Sistema de Información Geográfica

SLD: Servicio de descripción de estilos de capa

SNB: Servicio de notificación Web

- SOA:** Arquitectura orientada a servicios
- SOS:** Servicio de Observación de Sensor
- SPS:** Servicio de Planificación de Sensor
- SWE:** Servicio de acceso a sensores
- VRML:** Lenguaje de modelado de realidad virtual
- W3C:** World Wide Web Consortium
- WCS:** Servicio Web de coberturas
- WCTS:** Servicio Web de transformación de coordenadas
- WFS:** Servicio Web de Fenómenos
- WFS-G:** Servicio de nomenclátor, gazetteer
- WMS:** Servicio Web de Mapas
- WPS:** Servicio Web de procesamiento
- WTS:** Servidor de vistas del terreno
- XML:** Lenguaje de Marcas Extensible

1 INTRODUCCIÓN

Hacia un modelo real de la Información Geográfica

La tercera dimensión espacial se ha convertido en una auténtica necesidad para muchas aplicaciones técnico-científicas. Ya a principios de este siglo XXI, se vislumbraba la necesidad de trabajar con la tercera dimensión en aplicaciones relacionadas con la bioingeniería y la medicina (Montilla, G., Bosnjak, A., & Villegas, H. 2002). También se apreciaba esta necesidad en grandes industrias como la cinematográfica y la pujante industria de los juegos (Ahearn, Luke 2005), en la que no se concibe la fase de diseño sin la recreación de modelos tridimensionales complejos.

Del mismo modo, en Arquitectura e Ingeniería Civil, la tercera dimensión se consolida como información vital para el desarrollo y avance de estas disciplinas tanto en tareas de diseño y proyecto (Monedero, J. 2001), como en labores de ingeniería inversa (Lafont Morgado, P. 1999). De este modo, se constata cómo alrededor de estas disciplinas surgen nuevos conceptos y nuevos campos de uso de este tipo de información: Building Information Models (BIM), recreación tridimensional forense, modelización de sistemas urbanos complejos...

En el mundo de las Geotecnologías y, más concretamente en el ámbito de los Sistemas de Información Geográficos (SIG o GIS), se ha pasado de utilizar la tercera dimensión como un atributo o dato adicional que acompaña a un elemento geográfico (Fig. 1.1), a ser un dato esencial para la realización de análisis espaciales (Scianna y Ammoscato, 2010).



Fig. 1.1. Simbolización de la tercera dimensión en un sistema 2D (izquierda) vs análisis espacial tridimensional con tecnología WebGL (derecha). Elaboración propia mediante Global Mapper y Cesium

Hacia un modelo real de la Información Geográfica

Al tiempo que la tercera dimensión ha ido creciendo en importancia impulsada por el desarrollo de aplicaciones que se sirven de ella, de manera paralela, la obtención de información tridimensional ha dejado de ser un cuello de botella inducido por el esfuerzo tecnológico y económico que conllevaba hace escasos años su captura y procesamiento. Los medios de adquisición y tratamiento que se utilizan en la actualidad han reducido sus costes y tamaño, pasando de prototipos experimentales no comerciales de la última década del siglo XX a asequibles productos comerciales en la primera década del siglo XXI (Fig. 1.2).



Fig. 1.2. Primeros modelos de Mobile Mapping (1990), cortesía de TeleAtlas (izquierda) vs Modelo IP-S3 (2015) cortesía de Topcon (derecha).

En nuestro "mundo real" se han establecido cuatro dimensiones que para nuestro raciocinio son claras: tres dimensiones espaciales y una dimensión temporal (Fig. 1.3).

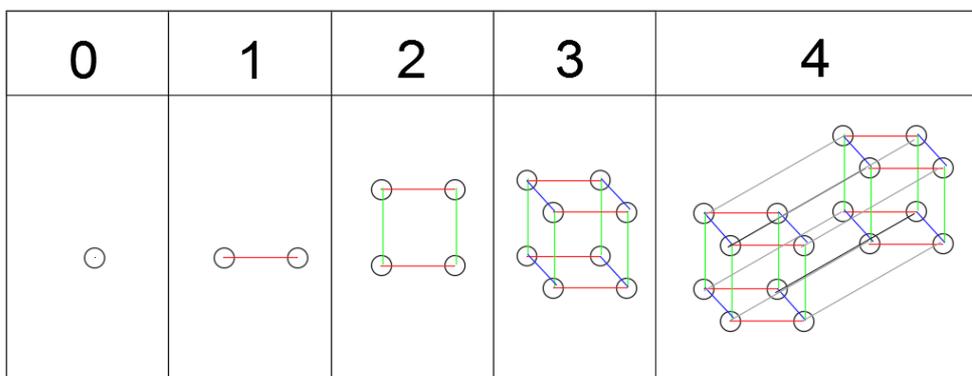
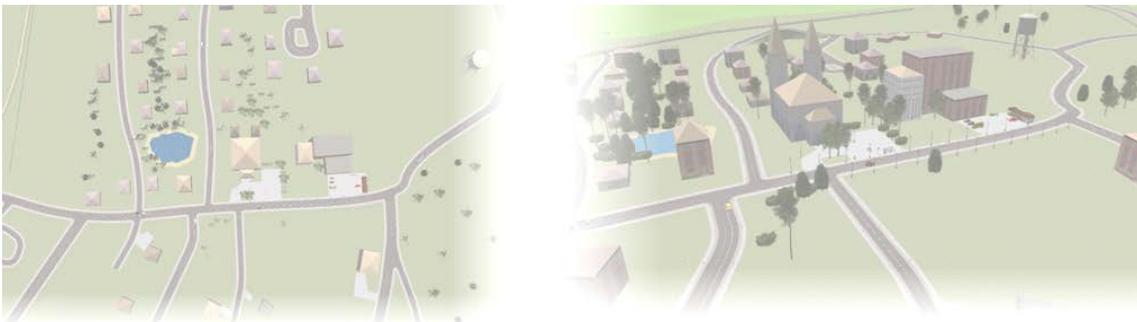


Fig. 1.3. Dimensiones asimilables para el ser humano. Elaboración propia.

Hacia un modelo real de la Información Geográfica

Sin embargo, en nuestro universo los científicos estiman que existen otras 7 dimensiones más. Dichas dimensiones se enmarcan dentro del mundo de la física cuántica y definen el llamado espacio de Calabi-Yau. Sus orígenes radican en complejas teorías matemáticas y físicas, incapaces de ser vislumbradas por nuestra mente, pero que sirven de base para muchas e importantes teorías como la de las supercuerdas y la supersimetría. Los conceptos derivados de estas dos teorías son fundamentales a la hora de unificar la teoría cuántica de campos, que describe tres de las fuerzas fundamentales de la naturaleza (la fuerza electromagnética, la fuerza "débil" o "fuerza atómica" y la fuerza "fuerte" conocida también como "fuerza cuántica"), con la relatividad general, y con la teoría de la cuarta fuerza fundamental: la gravedad (Hawking y Mlodinow, 2010).

Si entendemos la cartografía como una modelización de la realidad y, teniendo en cuenta lo anterior, desde el punto de vista teórico, prescindir de una dimensión espacial disminuye objetivamente la calidad del modelo (Varela García et al., 2007) (Fig. 1.4).



**Fig. 1.4. Modelo bidimensional (izquierda) vs. Modelo tridimensional (derecha).
Elaboración propia mediante ejemplo de la herramienta Autodesk Land Development Desktop.**

Debemos tener en cuenta, además, la importancia de la tercera dimensión espacial desde el punto de vista práctico. A día de hoy son muchas las aplicaciones, que por necesidad utilizan esta dimensión espacial (de la Calle Alonso et al., 2010). A lo largo de este documento se analizarán numerosos ejemplos de aplicaciones prácticas que requieren de información 3D.

1.1 DEMANDA DE LAS IDE 3D

En la actualidad cualquier computadora de gama media es capaz de trabajar sin ningún problema con datos tridimensionales, renderizándolos y manipulándolos con soltura. Del mismo modo disponemos de distintos lenguajes estandarizados para el tratamiento de información 3D como VRML, Java3D y X3D (Jiménez Macías et al., 2005).

La aparición de las IDE ha supuesto una auténtica revolución en la gestión, uso y difusión de la IG. Sin embargo, ante la ausencia de la tercera dimensión espacial en los desarrollos y servicios IDE más comunes, están surgiendo dos problemáticas bien diferenciadas que afectan a los usuarios potenciales de las mismas. Estas dos problemáticas, que se detallarán más adelante, están dejando patente la necesidad de desarrollar todos los elementos necesarios para constituir IDE 3D y, además, se están convirtiendo en auténticos motores de desarrollo de este tipo de tecnologías, como se comprobará a continuación.

El primero de los problemas a los que se hacía referencia surge cuando algún grupo potencial de usuarios de IDE desecha esta tecnología al no resolver sus necesidades en lo que a la tercera dimensión se refiere. Un ejemplo de esto lo tenemos en la Arquitectura, que desde hace ya tiempo viene teorizando y desarrollando los llamados modelos de información de construcción (BIM, Building Information Modeling), que generan y gestionan la geometría de uno o varios edificios, las relaciones espaciales entre sus elementos, la IG, así como las cantidades y las propiedades de los componentes del edificio (Fig. 1.5).

Hacia un modelo real de la Información Geográfica

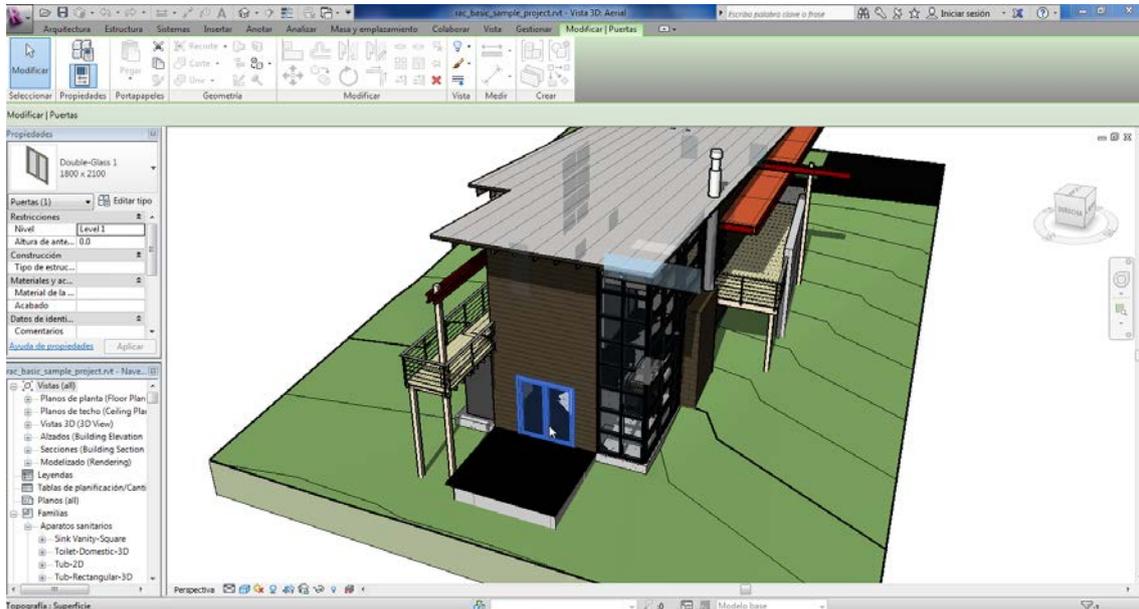


Fig. 1.5. Representación de un modelo de información de construcción. Elaboración propia con Autodesk Revit 2013

El segundo problema al que se hacía mención surge por parte de aquellos usuarios de IDE, que por sus actuales necesidades, demandan de éstas avances en la resolución de problemas asociados a la gestión de la tercera dimensión y que las IDE, hoy por hoy, no están consiguiendo satisfacer. Dentro de los ejemplos de la segunda tipología de problemas, podríamos citar el Catastro. Prácticamente desde que se inició el desarrollo de los servicios WMS y WFS, el Catastro de nuestro país y el de otras muchas naciones utilizaron dichos servicios para difundir su información. De esta manera, cualquier usuario mediante un cliente pesado, o incluso ligero, podía tener información de cualquier parcela, en cualquier momento. Sin embargo, a la hora de mostrar esta información el resultado era mediante un modelo bidimensional en el que cualquier alusión a la tercera dimensión era un mero número, que en el caso de nuestro país era un número romano (Virgós Soriano y Olivares García, 2008)

Esta representación dista mucho de ser efectiva para muchas aplicaciones, por lo que a día de hoy se está procediendo a la revisión de la forma de gestionar,

Hacia un modelo real de la Información Geográfica

modelizar y publicar la información del Catastro incorporando la tercera dimensión (Fig. 1.6).

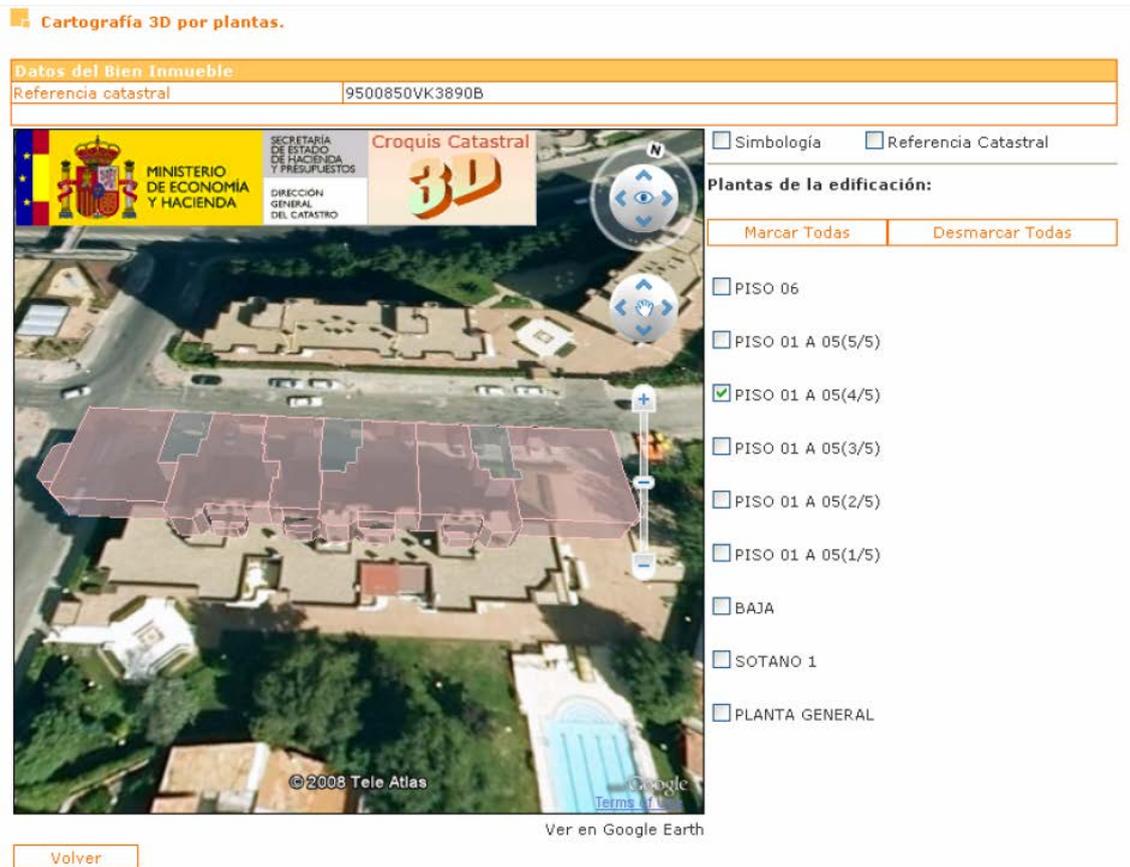


Fig. 1.6. Representación de un croquis catastral en 3D, cortesía de Luis Ignacio Virgós Soriano y José Miguel Olivares García, Dirección General del Catastro.

Para los catastros, las necesidades de representación y gestión de la información del territorio hacen que se estén repensando los modelos de datos, adecuándolos a las nuevas necesidades (van Oosterom, Lemmen et al., 2003).

En el Tercer Congreso ISDE (International Society for Digital Earth), celebrado en la República Checa en 2003, se intentó establecer un modelo semántico y de datos común, fruto de la revisión de diferentes modelos en países como Holanda, El Salvador, Bolivia, Dinamarca, Suecia, Portugal, Grecia, Australia, Nepal, Egipto, Islandia, y varios países Africanos y Árabes, mencionando diferentes iniciativas vinculantes como los estándares OGC, INSPIRE, EULIS, Estándares

ISO, Catastro 2014 y la FIG y haciendo alusión a la necesidad de poder representar dicha información en 3D.

Los anteriores son sólo dos problemáticas-ejemplo de por qué las IDE, o no han podido dar solución a una determinada necesidad, o están generando tensiones para intentar resolver ciertas situaciones que se plantean en cuanto a la incorporación y gestión de la tercera dimensión.

Pueden ser muchos más los ejemplos citados, como las necesidades de representación del territorio lo más realista posible que ya prometen tecnologías como las BIG Data. Y como ejemplo específico de estas últimas, podríamos citar las "Smart Cities" o ciudades inteligentes, con las que se dota de inteligencia a las infraestructuras, la información y los servicios públicos, al tiempo que se potencia la colaboración entre los diferentes agentes implicados en el entorno municipal (Aventia, 2012).

Debido a la gran cantidad de datos generados desde múltiples fuentes y con diferentes estructuras, así como a las complejas necesidades de gestión e interacción, es en las IDE donde deberían encontrar respuesta las Smart Cities a la gestión de la IG y de las infraestructuras municipales.

1.2 ORÍGENES Y MOTIVACIÓN DEL PROYECTO

Esta tesis doctoral es el resultado y continuación del proyecto final del Máster en Geotecnologías Cartográficas en Ingeniería y Arquitectura, titulado "Pasado, presente y futuro de las Infraestructuras de Datos Espaciales".

Tras la finalización del citado trabajo se intuyó una necesidad de abordar la problemática de la tercera dimensión por parte de las IDE. Al mismo tiempo, iban surgiendo distintas tecnologías que, acuciadas por las necesidades y demandas de los usuarios, iban abordando la resolución de diferentes problemas relacionados con la gestión y representación de la IG en 3D.

Profundizar en ambas ideas se convirtió en el germen inicial para el desarrollo de este trabajo investigador.

En el presente proyecto de investigación se desarrollará, siguiendo un enfoque cualitativo (Hernández Sampieri et al., 2010) desde el punto de vista de la metodología de investigación y partiendo de la importancia y necesidad de trabajar y gestionar la tercera dimensión espacial por parte de las IDE. Siguiendo este enfoque, se comenzará haciendo patente la importancia que supone la tercera dimensión espacial para muchas actividades cotidianas. Como punto inicial de la investigación se llevaron a cabo una serie de encuestas y entrevistas con un grupo de profesionales de prestigio internacional, convenientemente seleccionados. El análisis de la información recabada con estos procedimientos indagatorios constituye un punto de clave para vislumbrar y formular, entre otras cosas, las necesidades que demanda el progreso de IDE 3D, de los servicios que deben acompañar a las mismas, de los desarrollos que se están haciendo al respecto, y de las aplicaciones que se están beneficiando o se podrían beneficiar de las mismas.

1.3 OBJETIVOS, INTERROGANTES E HIPÓTEIS PLANTEADAS

Teniendo en cuenta las distintas tipologías de proyectos investigadores existentes (Sampieri et al., 1996) este trabajo se sitúa claramente en el grupo de proyectos con un enfoque cualitativo, buscando principalmente la “dispersión o expansión” de los datos e información.

Este enfoque ha permitido dotar de una mayor riqueza interpretativa a lo que está sucediendo en el desarrollo de las IDE 3D, contextualizando los distintos avances desde los orígenes hasta el momento presente.

A partir de este enfoque, se desarrolló una estrategia investigadora acorde con el esquema ofrecido por Sampieri. Según este esquema, resulta fundamental

Hacia un modelo real de la Información Geográfica

realizar un planteamiento sistemático del problema de la investigación, en nuestro caso las IDE 3D.

Posteriormente se enumeran los posibles objetivos de la investigación, estableciéndose dos grandes objetivos generales, detallados de la siguiente manera:

1. Ofrecer un estado del arte que muestre la situación actual de las IDE con respecto a la tercera dimensión, analizando las iniciativas, tanto públicas como privadas, desarrolladas hasta la fecha en torno a las IDE tridimensionales (lenguajes, modelos de datos, servicios, programas informáticos, bases de Datos Espaciales...).
2. Definir los elementos necesarios para poder implementar una IDE tridimensional, teniendo en cuenta todos los parámetros de desarrollo, tanto técnicos como legales, necesarios para cumplir con los actuales marcos tecnológicos, normativos, jerárquicos y legales.

El **primer objetivo** se debería centrar en la determinación de las iniciativas, tanto públicas como privadas, desarrolladas hasta la fecha en torno a las Infraestructuras de Datos Espaciales Tridimensionales, profundizando en los siguientes aspectos:

- Lenguajes
- Modelos de Datos
- Servicios
- Programas informáticos
- Bases de Datos Espaciales

Una vez conseguido el primer objetivo, el **segundo objetivo** consistiría en definir los elementos necesarios para poder desarrollar una Infraestructura de Datos Espaciales, teniendo en cuenta todos los requerimientos, tanto técnicos como legales, necesarios para cumplir con los actuales marcos tecnológicos, normativos, jerárquicos y legales.

Respecto a las **interrogantes** que se plantearon para el presente proyecto, se detallan a continuación:

- ¿Cuáles son las líneas de futuro hacia las que tenderán las IDE?
Conforme se desarrollan las IDE surgen nuevos problemas inherentes a las mismas o relacionados con las interacciones entre éstas y otras disciplinas. Por lo tanto, no sólo es necesario plantearse la pregunta acerca de la necesidad de desarrollos de IDE tridimensionales. Es necesario dar un paso más y preguntarse por las líneas de futuro que tendrán éstas, permitiendo enfocar el problema de la tridimensionalidad desde un punto de vista más concreto, dentro de un problema mucho mayor. Este interrogante formaría parte de la búsqueda de un conocimiento general y exhaustivo no sólo sobre la problemática de las IDE 3D, sino también sobre la problemática general y líneas de desarrollo futuro de las IDE y que, posteriormente, permitirían afrontar con mayor seguridad y conocimiento la investigación en torno a la tercera dimensión y las IDE.
- ¿Entra dentro de alguna de estas líneas el problema de la tercera dimensión?
Si quedan claras las líneas de investigaciones futuras a cerca de las IDE, será fácil interpelar sobre si la tridimensionalidad es una de ellas. En efecto, si se enfoca la problemática de las IDE desde un punto de vista lo suficientemente amplio, se podrán vislumbrar las posibles investigaciones que pueden dar lugar y comprobar si, dentro de éstas, entra el problema de la tridimensionalidad.
- ¿El avance actual de las IDE es suficiente como para albergar, gestionar y publicar de una manera eficiente información tridimensional?
Si llegados a la conclusión de que la tercera dimensión supone una verdadera línea de investigación de las IDE, el siguiente paso es concretar el grado de desarrollo, el estado del arte, etc. que presentan éstas en la actualidad de cara a afrontar la problemática.

Hacia un modelo real de la Información Geográfica

Cuán preparadas se encuentran las IDE y las administraciones encargadas de desplegarlas de cara a un desarrollo de la tridimensionalidad en las mismas.

- ¿Existe alguna iniciativa relacionada con las IDE y la tercera dimensión? Resulta del todo necesario investigar sobre las distintas iniciativas que se hayan podido desarrollar sobre esta línea de investigación de cara a conocer el grado de éxito de las mismas, las problemáticas encontradas, etc.

Este primer grupo de preguntas nos sitúan en el origen de la investigación, el origen del proyecto, que posteriormente se fue completando con el siguiente grupo de preguntas, conforme se fue avanzando en la problemática de las IDE 3D.

- ¿Quién o quiénes son los mayores impulsores de que las IDE sean capaces de trabajar sin problemas con la tercera dimensión? (usuarios de nuevas disciplinas técnicas como Realidad Aumentada, Realidad Virtual, urbanistas, usuarios de BIM, los propios desarrolladores de servicios y productos IDE, los creadores de lenguajes avanzados de información tridimensional...)
- ¿Qué países o centros de investigación, universidades, etc. son los más punteros en esta dirección?
- ¿Cuáles son las líneas de investigación que actualmente se encuentran más maduras en relación a las IDE y la tercera dimensión?
- Y a futuro, ¿qué otros caminos van a tener que recorrer las IDE para poder hablar de IDE tridimensionales?
- En lo que a la parte teórica sobre el modelo de datos tridimensional se refiere, ¿está ya todo dicho sobre elementos, geometrías, topologías, BB.DD. espaciales, etc. o todavía queda camino por descubrir?
- ¿Y a nivel práctico?
- ¿Con IG tridimensional cobraría de nuevo protagonismo los clientes pesados o no sería necesario con estándares como WebGL?

Este segundo grupo de preguntas complementarían a las primeras y darían concreción al proyecto investigador, desde un punto de vista mucho más preciso y con un mayor nivel de profundidad. Una vez formuladas las preguntas generales, vertebradoras del proyecto, surgió otra serie de preguntas que iban planteándose conforme se detallaba y profundizaba en el problema.

Tras desarrollar los objetivos y estructurar los interrogantes iniciales de la investigación se procedió a plantear una serie de hipótesis para, finalmente, desarrollar el plan de la estrategia investigadora.

Estas hipótesis se formularon en base a las respuestas obtenidas a los interrogantes previos, teniendo siempre en cuenta los objetivos enunciados..

Para plantear las hipótesis, se han tenido en cuenta una serie de premisas:

- La hipótesis debe referirse a situaciones reales.
- Los términos de la hipótesis deben ser claros y lo más concretos posibles.
- Los términos de la hipótesis deben ser observables o deben disponer de referentes en la realidad.
- La hipótesis debe estar vinculada a técnicas disponibles para probarla (Sampieri et al., 1996).

Así pues, se desarrollaron las siguientes hipótesis:

1. La tercera dimensión es realmente uno de los problemas a afrontar dentro de las IDE.
2. Las IDE 3D son realmente necesarias para dar solución a una serie de problemas que se plantean a corto/medio plazo en relación con distintas áreas técnico-científicas.
3. Aunque la evolución de una manera estandarizada y rápida no es sencilla, las IDE 3D son proyectos abordables gracias a los distintos desarrollos e investigaciones que se han abordado en los últimos años respecto a la tercera dimensión y la IG.

4. Uno de los aspectos más importantes a afrontar por las IDE, relacionado con la tridimensionalidad, es la comunicación de la IG tridimensional a través de Internet.

2 METODOLOGÍA INVESTIGADORA

Conforme a la doctrina en materia de investigación cualitativa (Sampieri et al., 1996), a continuación se muestra un esquema que plasmaría la metodología seguida en este caso, esquema que servirá para sintetizar las distintas fases que se han desarrollado en esta tesis (Fig. 2.1).

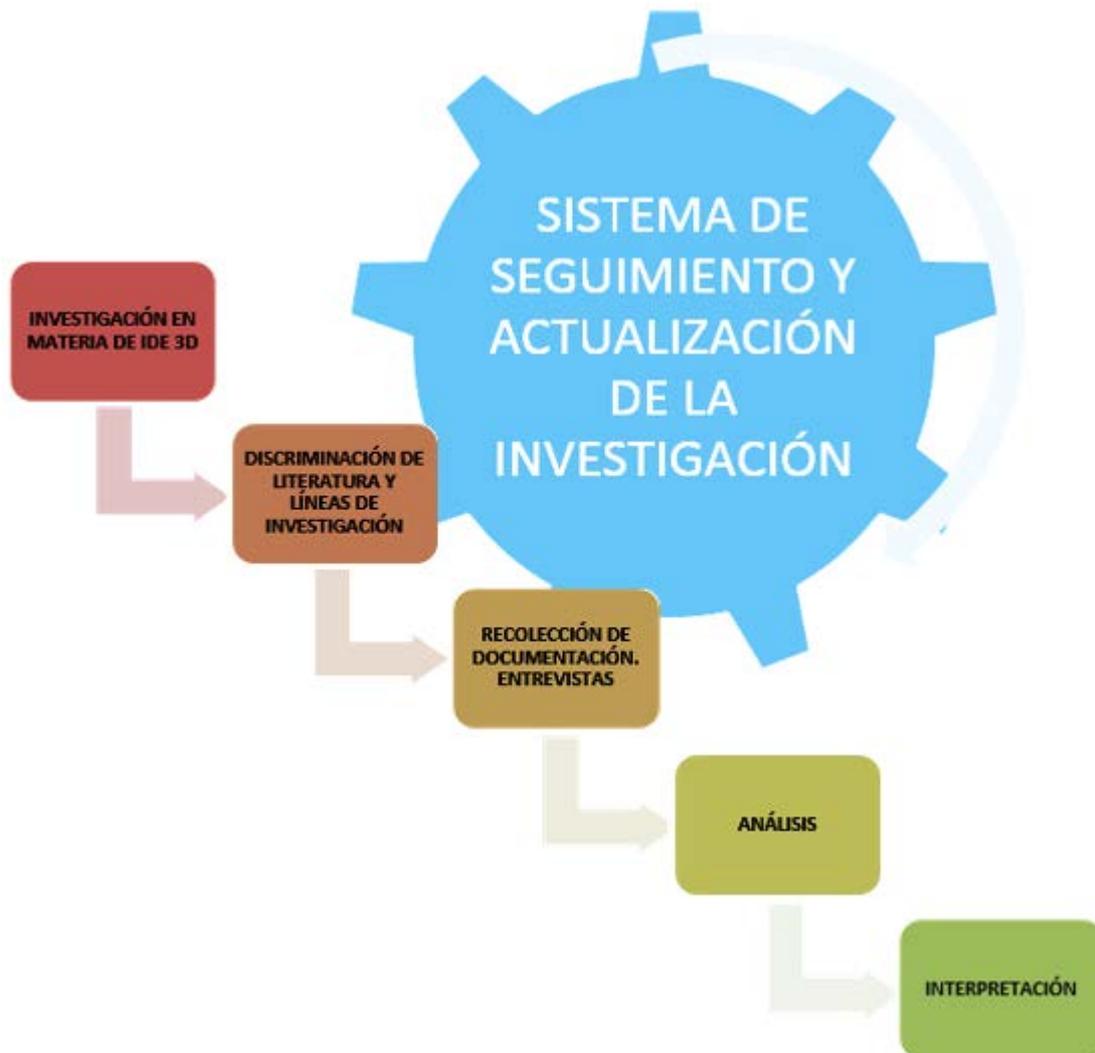


Fig. 2.1. Esquema de metodología investigadora seguida. Adaptación del esquema de investigación cualitativa de Sampieri et al., 1996.

2.1 ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

Tal y como ya se ha comentado, la primera fase de esta investigación tiene sus raíces en la experiencia personal y profesional, habiendo recibido un impulso en la fase de elaboración del Trabajo final de Master de Geotecnologías

cartográficas en ingeniería y arquitectura de la Universidad de Salamanca, trabajo titulado “Pasado, presente y futuro de las Infraestructuras de Datos Espaciales” (Valencia Martínez de Antoñana, J. 2011). Este trabajo, pues, supone el germen de la tesis doctoral y dio paso a los principales interrogantes que sustentan la justificación de llevar a cabo la investigación.: ¿Existen demanda y necesidad de implementar IDE 3D?, en tanto que reto tecnológico ¿es un desafío abordable?, ¿Qué limitaciones tenemos y qué expectativas de superarlas existen?...

Tras una primera aproximación a la literatura referente a este concepto se obtienen una serie de respuestas que no sólo reiteran la necesidad de la investigación en este campo, sino también permiten mostrar las principales áreas de interés y los principales problemas para poder investigar sobre las IDE 3D.

De esta forma se pasa a la siguiente fase, la fase de investigación concreta sobre las IDE 3D.

2.2 NUEVAS PERSPECTIVAS EN IDE 3D

En esta fase se realizó una prospección bibliográfica centrada específicamente en la temática de las IDE 3D. A partir de esta prospección se pudo analizar tanto el estado del arte como las tendencias de futuro relacionadas con esta materia.

Así, se detectaron e identificaron aquellos aspectos en los que sería necesario detenerse y se rechazaron aquellos otros que por distintas circunstancias, (evolución tecnológica, nuevas investigaciones incorporadas, etc.) quedaban ya obsoletos o sin interés investigador.

Teniendo en cuenta toda la información inicial adquirida, se desarrolla el esquema básico para la obtención de las fuentes documentales de cara a esta investigación.

No solo se discriminan la literatura y bibliografía necesaria para la investigación, también se decide emplear el método de la entrevista como fuente de adquisición

de información y se decide seleccionar y contactar con un panel de expertos dentro del mundo de las IDE.

Por otra parte, para acotar lo que hubiera sido un planteamiento excesivamente extenso sobre esta materia, se seleccionan aquellos temas con mayor interés investigador. Esta discriminación no se realiza desde un punto de vista subjetivo. Se realiza tras el análisis de la bibliografía y la literatura seleccionada y teniendo en cuenta la opinión del panel de expertos para definir las necesidades de conocimiento.

2.3 RECOPIACIÓN DE DOCUMENTACIÓN. LA ENTREVISTA COMO FUENTE DE ADQUISICIÓN DE INFORMACIÓN.

En esta fase se recopilan las fuentes bibliográficas a tener en cuenta para el presente trabajo. Se recopilan artículos, libros y se programan las distintas alarmas bibliográficas (mediante Google Académico) para mantener el máximo nivel de actualización en todo momento durante el desarrollo o de la tesis.

También en esta fase, se realizaron las entrevistas al panel de expertos formado por especialistas e investigadores de primera línea en materia de IDE. En concreto se contactó con las siguientes personas:

- **D. Oscar Cosido Cobos**, especialista en Soft Computing & 3D City Model, colaborador en Ayuntamiento de Santander. Departamento de SIG y Docente/Coordinador del Taller Empleo de Nuevas Tecnologías (SIG y Cartografía Urbana) en Ayuntamiento Santander, cuyas investigaciones se han centrado en el modelado tridimensional de entornos urbanos.
- **D. Antonio F. Rodríguez Pascual**, Jefe de Área de Infraestructura de IG del Instituto Geográfico Nacional. Una de las personas con mayor conocimiento en materia de IDE en nuestro país.

- **D. Miguel Ángel Bernabé**, profesor jubilado (Actualmente Ad Honorem) de la Universidad Politécnica de Madrid. Especialista en IDE, al igual que en el caso anterior, una de las personas con mayor conocimiento en materia de IDE, no sólo a nivel nacional, también a nivel internacional, sobre todo en Latinoamérica.
- **D. Peter van Oosterom**, profesor de la Universidad Técnica de Delft, especialista en IG. En el momento del contacto asesoraba a Oracle sobre el modelo de datos para sus BB.DD. espaciales tridimensionales. Referente a nivel mundial en materia de IG tridimensional.
- **Dña. Jantien Stoter**, profesora de "3D GeoInformation" en TU Delft, Vice-chair 3D Information Management Domain Working Group en Open Geospatial Consortium y Chair of Commission "Data Specifications" en EuroSDR. Al igual que Peter van Oosterom, una de las personas más influyentes en temas de IG tridimensional.

2.4 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN

De los resultados obtenidos en la fase anterior, se realiza el correspondiente análisis, se comienzan a desarrollar ideas y se identifican problemas y posibles soluciones a los mismos.

Supone esta una fase de profunda reflexión y análisis de toda la información recopilada con el fin de obtener una interpretación lo más objetiva posible respecto de la temática de las IDE 3D.

Se analizan áreas de investigación, problemas relacionados con las mismas, aspectos de necesidad relacionados con la IG tridimensional, etc.

Se estudian las líneas indicadas por los investigadores mencionados y se extraen conclusiones de las respuestas a sus entrevistas.

Todos estos argumentos y análisis darán paso a la siguiente fase, en la que se desarrollará toda la interpretación de la información.

Posteriormente se interpreta toda la información obtenida .La interpretación se intenta hacer desde un punto de vista lo más objetivo posible, lo que provoca que, a menudo, se tenga que volver a la fase de recopilación de información y se tenga que volver a interpelar con los citados investigadores para concretar si el análisis e interpretación coincide con la visión de los mismos o, si por el contrario, es una interpretación subjetiva del tema atribuible al autor de este trabajo.

2.5 SISTEMA DE SEGUIMIENTO Y ACTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Durante todo el desarrollo del proyecto, desde el inicio hasta el final del mismo, se ha desarrollado de manera horizontal a todas las fases un sistema de seguimiento y actualización de la investigación consistente en el desarrollo de una serie de alertas con el sistema de alertas de Google Académico. Básicamente se solicitaba al servicio la notificación diaria de referencias bibliográficas respecto a las siguientes palabras clave:

Fases Iniciales (primer año):

Infraestructura de datos espaciales, 3D SIG, 3D geoinformation, Spatial Data Infrastructure, SIG Science.

Asociadas a las anteriores palabras clave se ha identificado la siguiente “nube de palabras”, que indica claramente algunas de las principales líneas de investigación y/o confluencias con otras investigaciones técnico-científicas.



Fig. 2.2. Nube de palabras de las Fases Iniciales con Tagcrowd.

Fases Posteriores:

OpenGL, WebGL, 3D Terrain, IndoorGML, CityGML.

Asociadas a las anteriores palabras clave se ha identificado la siguiente “nube de palabras”, que indica claramente algunas de las principales líneas de investigación y/o confluencias con otras investigaciones técnico-científicas.

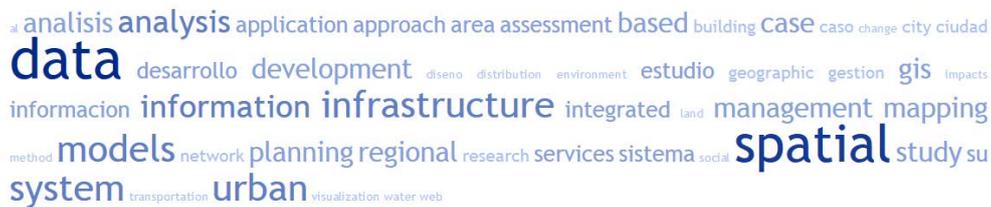


Fig. 2.3. Nube de palabras de las Fases Posteriores con Tagcrowd.

Las palabras clave de fases posteriores se introducen tras observarse mediante un software de análisis de texto (QDA Miner Lite) que eran los términos “clave” que más aparecían tras las fases iniciales. Así pues, fueron añadidas al sistema de búsqueda.

De este sistema se han reportado a lo largo de cinco años más de 4.700 alertas relacionadas con publicaciones que contuviesen información sobre las citadas palabras clave.

De este sistema se reportan los siguientes datos:

- El idioma más utilizado es el inglés, seguido del chino y el español.
- No se puede identificar uno o varios autores como más influyentes que otros ya que el grado de repetición de los autores es bastante bajo, comparado con el número de ellos.
- La nube de palabras no cambia mucho en los tres primeros términos, pero si se aprecian cambios en el resto de palabras.

Hacia un modelo real de la Información Geográfica

- El número de referencias bibliográficas en español aumenta con respecto a las fases previas, lo que denota un mayor interés de esta temática en nuestro país y en países de habla hispana.
- En las fases previas la terminología hace más referencia a mapping y visualización y en las fases posteriores cobran más importancia términos como análisis, planeamiento, management, etc., por lo que se podría estar hablando de un mayor grado de madurez de estas tecnologías.
- Hay una gran simbiosis entre estas tecnologías y las provenientes de términos como city, building y BIM.

3 LAS IDE 3D. ORÍGENES, ESTADO DEL ARTE Y NECESIDAD

3.1 FUNDAMENTOS DE LAS IDE

El término Infraestructura de Datos Espaciales fue acuñado por primera vez en 1993 por el U.S. National Research Council para referirse a un *marco de tecnologías, políticas y disposiciones institucionales que, trabajando conjuntamente, facilitan la creación, el intercambio y el uso de los datos geoespaciales y recursos de información relacionados a través de una comunidad de intercambio de información.*

Como puede observarse, se trata fundamentalmente de dar valor añadido al intercambio de información espacial.

La Wikipedia, por ejemplo, define a las IDE como un marco de datos espaciales, metadatos, los usuarios y herramientas que están conectados de forma interactiva con el fin de utilizar los datos espaciales en una forma eficiente y flexible.

En esta definición se vuelve a dar peso a la información espacial y al conjunto de elementos que participan de manera conjunta para su gestión.

Según el Instituto Geográfico Nacional de España, una IDE es un sistema estandarizado integrado por un conjunto de recursos informáticos cuyo fin es visualizar y gestionar cierta Información Geográfica disponible en Internet. Este sistema permite, por medio de un simple navegador de Internet, que los usuarios puedan encontrar, visualizar, utilizar y combinar la información geográfica según sus necesidades (Núñez Andrés, M. A., 2014). En esta definición se hace hincapié en el conjunto de recursos informáticos y parece que la información queda en un segundo plano.

Según el Consejo Superior Geográfico una IDE es un sistema informático integrado por un conjunto de recursos (catálogos, servidores, programas, datos, aplicaciones, páginas Web,...) dedicados a gestionar IG (mapas, ortofotos, imágenes de satélite, topónimos,...), disponibles en Internet, que cumplen una serie de condiciones de interoperabilidad (normas, especificaciones, protocolos, interfaces,...) que permiten que un usuario, utilizando un simple navegador,

pueda utilizarlos y combinarlos según sus necesidades (Bernabé-Poveda, M. A. et al., 2012).

Como puede observarse, la definición va adquiriendo mayor complejidad y trata temas como conjunto de recursos, IG, Interoperabilidad, utilizarlos y combinarlos... En esta definición se vuelve a dar peso a la información espacial y al conjunto de elementos que participan de manera conjunta para su gestión. Pero hay varios rasgos comunes en todas las definiciones. En todas se habla de información espacial y de disponibilidad, intercambio y/o interoperabilidad. Como dato orientativo, se estima que el 80% de la información manejada por las administraciones públicas es susceptible de ser georreferenciada, lo cual demuestra la importancia con la que ha de ser tratada la IG.

Por lo tanto, queda claro que una IDE es una herramienta horizontal de gestión, difusión y publicación de IG.

3.1.1 CONCEPTO Y ORÍGENES DE LAS IDE

Uno de los elementos fundamentales en el concepto de IDE es el de facilitar el acceso a IG haciendo uso de un mínimo conjunto de estándares, protocolos y especificaciones.

Pero, ¿cómo hemos llegado a esta situación, a esta necesidad de facilitar el intercambio de la IG? Hay dos grandes acontecimientos que impulsaron el desarrollo del concepto IDE. Por un lado, la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo en Río de Janeiro en 1992 (Peng, Z-R y Nebert, Douglas D, 2001) , y por otro lado, la iniciativa INSPIRE (Infrastructure for Spatial Information in Europe), iniciativa de la Comisión Europea cuyo funcionamiento se recoge en la Directiva 2007/2/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 14 de marzo de 2007, publicada en el Diario Oficial de la UE (DOUE) el 25 de Abril de 2007, que tiene como objetivo la creación de una Infraestructura de Datos Espaciales en Europa.

Hacia un modelo real de la Información Geográfica

El primer acontecimiento desencadena que en 1993 surja el término Infraestructura de Datos Espaciales por el U.S. National Research Council. Más tarde, en el año 1994, el gobierno norteamericano crea la NSDI (National Spatial Data Infrastructure) y ese mismo año se funda el Open SIG Consortium, actualmente Open Geospatial Consortium (OGC).

El segundo acontecimiento se empieza a gestar en el año 2002, con la idea de generar un todo continuo, a nivel europeo, de Información Geográfica procedente de diferentes fuentes para compartirla entre todo tipo de usuarios y sobre distintas arquitecturas informáticas. Finalmente se aprueba la Directiva INSPIRE en el año 2007.

Estos dos acontecimientos, acompañados de los importantes desarrollos técnico-científicos que se desarrollaron en la última década del siglo XX y la primera década del XXI en materia de captura, gestión y difusión de la IG dieron como resultado el desarrollo masivo de IDE por parte de las distintas administraciones mundiales.

Una IDE es mucho más que un simple conjunto de datos o base de datos; una IDE aloja datos y atributos geográficos, suficientemente documentados (metadatos), un medio para su búsqueda, visualización y evaluación (geoportales, catálogos y servidores de mapas), y algunos métodos para posibilitar el acceso a los datos (servicios). Junto a todo esto existe un gran conjunto de lenguajes y software para soportar la explotación de los datos.

Para poder hacer una IDE operativa, es necesario incluir acuerdos entre organizaciones con el objeto de posibilitar su coordinación y administración a escalas locales, regionales, nacionales y supranacionales. La creación de organizaciones o programas específicos para desarrollar o supervisar la elaboración de IDE, a diversas escalas, puede compararse con los procedimientos a largo plazo que coordinan la construcción de otras infraestructuras necesarias para el desarrollo en curso, como son por ejemplo las grandes infraestructuras viarias o de telecomunicaciones.

OBJETIVOS

La implantación de una IDE tiene como objeto revertir una situación previa en la que se encuentra la IG: datos espaciales dispersos por la red, con la consiguiente dificultad de localización de los mismos, así como el contacto con las entidades propietarias de los mismos; desconocimiento por parte de los propietarios de la totalidad de los datos almacenados; existencia de duplicidades; datos de distintos organismos y países que no son comparables ni interoperables.

Por los motivos anteriores los **objetivos** de una IDE son, de manera resumida:

- Facilitar el acceso y la integración de la información espacial.
- Promover los metadatos estandarizados como método para documentar la información espacial.
- Posibilitar la reutilización de la IG.
- Animar a la cooperación entre los agentes.

La consecución de estos objetivos conllevará una serie de beneficios, tanto para los productores de información espacial como para los usuarios.

Los productores se ven beneficiados por la creación y ampliación de la demanda de información espacial y, al mismo tiempo, se da a conocer la oferta de datos geográficos. Al facilitar la cooperación entre productores, se reducen las inversiones en la captura e integración de datos. Surge también la posibilidad de evaluar la calidad de los datos que ofrece cada productor. Y, finalmente, los beneficios anteriores permitirán la coordinación de la integración de datos, evitando así la información duplicada.

Por su parte los usuarios se benefician al conocer con detalle la oferta existente y la manera de acceder a los datos geográficos. Se ofrece, también, facilidad de acceso a la información mediante portales, servicios, repositorios, etc.

MARCO INSTITUCIONAL

En los últimos años se ha producido un gran interés en el impulso y desarrollo de las IDE por parte de las distintas instituciones y organizaciones, tanto

gubernamentales como académicas. Las principales organizaciones que han gestado las bases de lo que actualmente suponen las IDE han sido, cada una en su ámbito de repercusión:

Global Spatial Data Infrastructure (GSDI), es una organización dedicada a la cooperación y colaboración internacional, en aras del desarrollo de IDE, que permita a gobiernos, organizaciones públicas o privadas, y particulares, un mejor abordaje de las cuestiones sociales, económicas y ambientales de mayor importancia.

World Wide Web Consortium (W3C) es una comunidad internacional que desarrolla estándares que aseguran el crecimiento de la Web a largo plazo, donde las organizaciones miembros, personal a tiempo completo y el público, en general, trabajan conjuntamente para desarrollar estándares Web.

Open Geospatial Consortium (OGC), inicialmente conocido como Open SIG Consortium, fue creado en 1994 y agrupa a casi 400 organizaciones públicas y privadas. Su misión fundamental es la definición de estándares abiertos e interoperables dentro de las IDE y de la World Wide Web. Persigue acuerdos entre las diferentes empresas del sector que posibiliten la interoperabilidad entre sistemas y facilitar el intercambio de la IG.

Los anteriores organismos, de carácter global, han sido los grandes impulsores del desarrollo IDE en la actualidad. Pero a un nivel jerárquicamente más bajo en lo que a espacio de competencia se refiere, tendríamos la **Infraestructure for Spatial Information in Europe (INSPIRE)**, una iniciativa de la Comisión Europea cuyo funcionamiento se recoge en la Directiva 2007/2/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 14 de marzo de 2007, publicada en el Diario Oficial de la UE (DOUE) el 25 de Abril de 2007, y que entró en vigor el 15 de Mayo de 2007. Tiene como objetivo la creación de una gran IDE en Europa.

Ha sido desarrollada en colaboración con estados miembros y países en estado de adhesión con el propósito de hacer disponible IG relevante, concertada y de calidad. INSPIRE es una iniciativa legal que establece estándares y protocolos

Hacia un modelo real de la Información Geográfica

de tipo técnico, aspectos organizativos y de coordinación, políticas sobre la información que incluye el acceso a los datos y la creación y mantenimiento de información espacial. Tras la aprobación de INSPIRE, se realizó su trasposición al ordenamiento jurídico español a partir de la Ley 14/2010 de 5 de julio, sobre las infraestructuras y servicios de la información geográfica en España (LISIGE).

Esta Ley es, desde un punto de vista de aplicación, mucho más ambiciosa que INSPIRE, ya que no sólo da cobertura a datos de tipo medioambiental, sino que cubre cualquier tipo de información geográfica. El vínculo y contacto entre la **LISIGE** e INSPIRE se realiza a través del Consejo Superior Geográfico, apoyado técnicamente por el Instituto Geográfico Nacional.

Para articular INSPIRE a nivel nacional, se ha creado la **Infraestructura de Datos Espaciales de España (IDEE)** que tiene como objetivo integrar a través de Internet los datos, metadatos, servicios e información de tipo geográfico que se producen en España, facilitando a todos los usuarios potenciales la localización, identificación, selección y acceso a tales recursos. En consonancia con INSPIRE para la formación de una Infraestructura Europea de Datos Espaciales, la Comisión Permanente del Consejo Superior Geográfico, aprobó, en su reunión del 10 abril de 2002 y a propuesta de la Comisión de Geomática, la creación de un grupo de trabajo abierto para el estudio y coordinación de la puesta en marcha de una Infraestructura Nacional de Datos Espaciales como resultado de la integración, en primer lugar, de todas las Infraestructuras de Datos Espaciales establecidas por los productores oficiales de datos a nivel tanto nacional como regional y local, y en segundo lugar, de todo tipo de infraestructuras sectoriales y privadas, dando como resultado el proyecto IDEE.

Por lo tanto, se podría decir que desde un punto de vista jerárquico, las distintas relaciones entre los organismos institucionales relacionados con las IDE quedarían conforme a la siguiente figura (Fig. 3.1.)

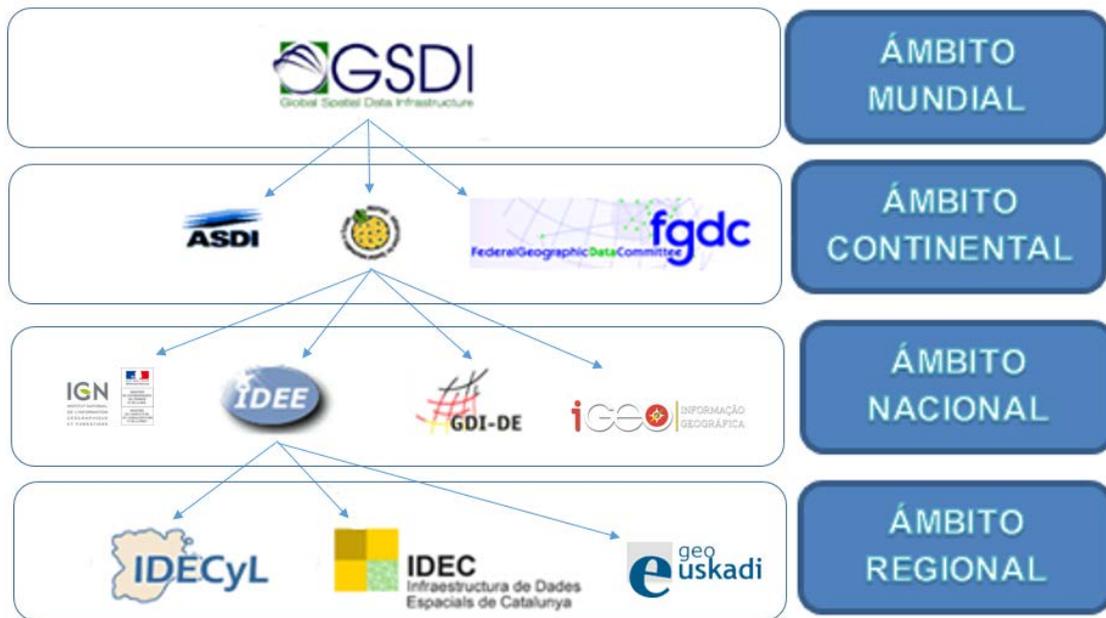


Fig. 3.1. Esquema jerárquico de desarrollo de las IDE. Elaboración propia.

3.1.2 PRINCIPIOS TÉCNICOS Y COMPONENTES DE UNA IDE

Los diseños y desarrollos de una IDE han de seguir unos principios tecnológicos, basados en unos estándares y normas, dado que es necesario que todos los agentes implicados usen unas referencias comunes.

Desde un punto de vista práctico y de diseño de una IDE, la podríamos esquematizar siguiendo el gráfico de Sebastian Benthall y Galen Evans (Fig. 3.2) que mostraron en la presentación titulada “Spatial Data Infrastructure. Best practices with Geonode”:

Según este esquema, las IDE se fundamentan en cuatro elementos fundamentales (datos, metadatos, servicios y usuarios) y las distintas interacciones entre ellos (búsquedas, publicaciones, etc.)



Fig. 3.2. Diseño de operatividad de una IDE y elementos que la componen (Sebastian Benthall y Galen Evans).

A lo largo de la presente tesis se hará continua alusión a este esquema de elementos de una IDE para reseñar distintas necesidades o desarrollos que se hayan ido encontrando en alguno de estos elementos relacionados con la tercera dimensión.

La tecnología de una IDE, desde un punto de vista formal, se refiere al establecimiento de la red y mecanismos informáticos que permiten buscar, consultar, encontrar, acceder, suministrar y usar los datos espaciales o geográficos. Un elemento clave de esta tecnología es la interoperabilidad. Podríamos definir interoperabilidad como *"la capacidad para comunicar, ejecutar programas o transferir datos entre varias unidades funcionales de forma que un usuario necesite pocos conocimientos de las características de estas unidades"*. Para que dos sistemas diferentes puedan comunicarse e intercambiar información primero deben anunciar su existencia y su voluntad para el

intercambio y, segundo, deben utilizar una semántica adecuada para resolver los problemas técnicos que puedan presentarse.

En este contexto, se denominan **servicios web** a un conjunto de tecnologías basadas en la interoperabilidad y que cumplen una serie de opciones: son abiertas, neutras con respecto a la plataforma y están pensados para crear servicios distribuidos, que funcionen de forma autónoma y se comuniquen entre ellos.

Las especificaciones en las que actualmente se basan los servicios web de una IDE son establecidas por el **OGC**. Su objetivo es conseguir estándares abiertos que posibiliten la interoperación entre sistemas de geoprocésamiento de distintos vendedores y tipos (SIG, teledetección, cartografía automática, gestión de instalaciones, etc.). En la actualidad existe un buen número de especificaciones OGC definiendo servicios web de gran interés para las IDE (WMS, WFS, WCS, CSW,...).

Existen múltiples herramientas software para el desarrollo e implementación de aplicaciones que cumplen los estándares del Open Geospatial Consortium y que por tanto pueden integrarse (caso de clientes OGC) y ser accesibles (caso de servicios OGC) a través de un Geoportal de una IDE.

Junto con los citados servicios, los **estándares** y acuerdos constituyen un substrato imprescindible que hace posible la coherencia, compatibilidad e interoperabilidad necesarias para que los datos, servicios y recursos de una IDE puedan ser utilizados, combinados y compartidos.

El trabajar dentro de un marco común de estándares y herramientas basadas en estos estándares, hace posible maximizar los recursos disponibles de una IDE.

Aquí se hace necesario distinguir entre normas, estándares y recomendaciones:

- **Normas:** las definidas por ISO (Internacional Organization for Standardization) a nivel Internacional, CEN (European Comité for

Standardization) a nivel Europeo y AENOR (Asociación española de Normalización y Certificación) a nivel de España.

- **Estándares:** Son los establecidos por empresas y organizaciones como OGC (Open Geospatial Consortium). Ejemplos de especificaciones OGC son: GML, WCS, WFS, WMS...
- **Recomendaciones:** directriz promovida por un organismo en un intento de armonizar determinadas prácticas en una comunidad.

Aunque en el primer punto de este capítulo vimos una serie de definiciones de lo que es una IDE y, por tanto, dejamos entrever los elementos que la conforman, a continuación vamos a entrar en detalle sobre los componentes de una IDE.

Los componentes que conforman una IDE son, básicamente, los siguientes:

DATOS

En la actualidad existe un consenso internacional que clasifica los datos espaciales que pueden manejar las IDE en datos de referencia y datos temáticos:

Datos de referencia

Son aquellos datos georreferenciados fundamentales que sirven de esqueleto o base para construir o referenciar cualquier otro dato fundamental o temático. Constituyen el marco de referencia que proporciona el contexto geográfico a cualquier aplicación.

La iniciativa europea INSPIRE, por ejemplo, ha definido los temas que deben ser considerados como Datos de Referencia, en los **Anexos I y II:**

1. Sistema de Coordenadas.
2. Cuadrículas Geográficas.
3. Nombres geográficos.
4. Unidades Administrativas.
5. Redes de Transporte.

Hacia un modelo real de la Información Geográfica

6. Hidrografía.
7. Lugares Protegidos.
8. Elevación.
9. Identificadores de Propiedad.
10. Parcelas Catastrales.
11. Cubierta Terrestre.
12. Ortoimágenes.
13. Geología.

Datos temáticos:

Son los datos propios de aplicaciones específicas que explotan la información geográfica con una finalidad concreta. Incluyen valores cualitativos y cuantitativos que se corresponden con atributos asociados a los datos de referencia.

INSPIRE define los temas que deben ser considerados como Datos Temáticos, en el **Anexo III**:

1. Unidades estadísticas.
2. Edificaciones.
3. Edafología.
4. Usos del suelo.
5. Salud y seguridad humana.
6. Instalaciones de servicios.
7. Instalaciones de monitorización ambiental.
8. Instalaciones industriales y productivas.
9. Instalaciones agrícolas y acuicultura.
10. Demografía y distribución de la población.
11. Áreas restringidas o reguladas.
12. Zonas de riesgos naturales.
13. Condiciones atmosféricas
14. Características meteorológicas.
15. Características oceanográficas.

16. Regiones marinas.
17. Regiones biogeográficas.
18. Hábitats y biotopos.
19. Distribución de especies.
20. Recursos energéticos.
21. Recursos minerales.

METADATOS

Los metadatos informan a los usuarios sobre las características de los datos existentes, de modo que sean capaces de entender “lo que representan” y “cómo lo representan” para que puedan buscar y seleccionar qué datos les interesan y sean capaces de explotarlos de la manera más eficaz posible.

Para ello la información incluida en los metadatos describe: la fecha de los datos, el contenido, la extensión que cubren, el sistema de referencia espacial, el modelo de representación espacial de los datos, su distribución, restricciones de seguridad y legales, frecuencia de actualización, calidad, etc.

Por todo lo anterior, a los metadatos se los suele definir coloquialmente como “datos acerca de los datos”. Y como elementos fundamentales sobre la información que son, se integran con ella de una de las siguientes maneras:

- **Incrustando los metadatos** dentro del propio documento, embebidos y codificados en la cabecera del documento.
- **Asociando los metadatos** por medio de archivos acoplados a los recursos a los que describen.
- **Metadatos independientes**, en un fichero separado, generalmente una base de datos mantenida por una organización

A su vez y, como no podía ser de otra forma, la estructura y el contenido de los metadatos deben estar basados en una norma aceptada y ampliamente utilizada. Uno de los beneficios de las normas es que son fruto de la experiencia y del consenso, ya que han sido desarrolladas y revisadas por un grupo

internacional de expertos que han aportado una considerable diversidad cultural y social. En particular, las normas ISO19100 relativas a Información Geográfica proporcionan una base desde la que pueden desarrollarse perfiles, o particularizaciones de la norma, nacionales y sectoriales.

Dentro de la familia de normas ISO 19100, la norma encargada de todo lo referente a los metadatos es la norma 19115, que por su complejidad, se ha desarrollado una implementación de un perfil de esta norma en España, denominada Núcleo Español de Metadatos “NEM”.

SERVICIOS

Los servicios de una IDE son las funcionalidades, accesibles mediante un navegador de Internet o desde los llamados clientes pesados, que se ofrece al usuario para ser aplicadas sobre los datos geográficos.

Estas funcionalidades se organizan en servicios de visualización de mapas, de descarga, de consulta, de procesamiento, etc.

Se podría decir que una IDE, además de un repositorio de datos geográficos, es también un conjunto de servicios, que ofrecen una serie de funcionalidades útiles e interesantes. Desde el punto de vista de las IDE, al usuario no le interesa ya tanto descargarse los datos en su sistema, sino obtener directamente las respuestas que necesita y que un servicio le ofrece. Las especificaciones del Open Geospatial Consortium establecen cómo deben ser los servicios estándar e interoperables.

A continuación se enumeran y describen algunos de los principales servicios, sobre todo los de mayor interés para esta investigación y las especificaciones correspondientes a los mismos.

Servicio de catálogo (CSW)

El Servicio de Catálogo forma parte de uno de los tres servicios fundamentales que debe existir en una IDE. Un Servicio de Catálogo (especificación vigente CSW 3.0), permite la publicación y búsqueda de información (a partir de sus

metadatos) que describe datos, servicios, aplicaciones y en general todo tipo de recursos.

Los servicios de catálogo son necesarios para proporcionar capacidades de **búsqueda** e **invocación** sobre los recursos registrados dentro de una IDE.

Estos servicios permiten la búsqueda de conjuntos de datos geográficos (mapas, hojas, ortofotos,...) que hay disponibles a una escala determinada, de una zona particular, sobre un tema específico, y en una fecha o intervalo de fechas. El resultado de la búsqueda se puede ofrecer en distintos formatos, por ejemplo, visualización o descarga del documento de metadatos.

El funcionamiento, en líneas generales, es el siguiente:

1. Un proveedor de datos debe tener domiciliados los metadatos en alguno de los nodos accesibles de la red.
2. El servidor de catálogos, ante una pregunta por parte de un usuario a través de un interfaz, remite una pregunta mediante un mensaje XML al resto de los servidores de catálogos disponibles, los cuales contestan mediante mensajes XML que pueden presentarse al usuario.

Los servidores de catálogo pueden corresponder a fabricantes diferentes pero si cumplen la especificación OGC, siguiendo los criterios de interoperabilidad, deberán entender la pregunta que se les hace y responderla siguiendo las especificaciones.

Servicio de mapas en Web (WMS)

El servicio WMS, permite superponer visualmente datos vectoriales y ráster, en diferente formato, con distinto sistema de referencia y coordenadas y en distintos servidores.

Ha sido adoptado por ISO, para facilitar el intercambio de información geográfica a través de Internet. El WMS forma parte de uno de los tres servicios fundamentales que debe existir en una Infraestructura de Datos Espaciales. Además es uno de los más empleados, por su facilidad de desarrollo y su

potencial de uso. Este estándar permite compartir información geográfica alojada en servidores remotos, para que pueda ser utilizada desde visualizadores web o desde aplicaciones de escritorio. Actualmente la versión de la especificación WMS es la 1.3.0.

Su objetivo es poder visualizar IG. Proporciona una representación, una imagen del mundo real para un área requerida. Esta representación puede provenir de un fichero de datos o varios dentro un SIG, un mapa digital, una ortofoto, una imagen de satélite,...

Está organizado en una o más capas, que pueden visualizarse u ocultarse una a una o de manera dinámica en función de la escala (GetMap). Se puede consultar cierta información disponible (GetFeatureInfo) y las características de la imagen del mapa (GetCapabilities). También se pueden establecer distintos tipos de mapas temáticos por capa, en función de categorías asociadas a campos de atributos.

Servicio de fenómenos en Web (WFS)

La actual especificación WFS 2.0.2 ofrece la posibilidad de acceder y consultar todos los atributos de un fenómeno (feature) geográfico como un río, una ciudad o un lago, representado en modo vectorial, con una geometría descrita por un conjunto de coordenadas.

Habitualmente los datos proporcionados están en formato GML, pero cualquier otro formato vectorial puede ser válido. Un WFS permite no solo visualizar la información tal y como permite un WMS, sino también consultarla libremente.

Servicio de nomenclátor, Gazetteer (WFS-G)

El servicio de nomenclátor se define como aquel servicio que devuelve las descripciones completas de las entidades geográficas seleccionadas mediante la consulta de sus identificadores. El uso más común de un servicio de nomenclátor es almacenar un catálogo de entidades del mundo real junto con los topónimos que los identifican, y permitir a un usuario localizar la ubicación de

la entidad partiendo de su topónimo. Esta consulta debe soportar además la selección de atributos de las entidades, como pueden ser el nombre, el tipo de entidad o la localización geográfica. La definición de estos servicios se encuentra en el estándar internacional del OGC Gazetteer Service para WFS.

Para definir un Servicio de Nomenclátor, el OGC ha creado un perfil de la especificación WFS que propone metadatos, operaciones y tipos de entidades geográficas para este caso específico. El servicio que implementa este perfil se denomina Gazetteer Service y su nombre abreviado es WFS-G.

El funcionamiento del servicio WFS-G es similar al de un WFS. Las diferencias de un WFS-G respecto a un WFS son que el documento que describe los metadatos del servicio tiene una sección adicional que describe la estructura del nomenclátor y que los tipos de entidades geográficas de un WFS-G serán especializaciones del tipo predefinido SI_LocationInstance. De esta forma, todos los tipos de entidades geográficas del servicio tendrán un conjunto de atributos básicos comunes, y un conjunto de atributos específicos del servicio en particular.

Servicio de coberturas en Web (WCS)

El Servicio de Coberturas en Web (WCS 2.0) soporta la consulta de IG del tipo "coberturas". Es el servicio análogo a un WFS para datos ráster. Permite no solo visualizar información ráster, como ofrece un WMS, sino además **consultar** el valor de los atributos o atributos almacenados en cada píxel.

Al igual que WMS y WFS, permite al cliente seleccionar parte de la información, que posee el servidor, basándose en diferentes criterios.

La diferencia principal con el WMS es que el servicio WCS proporciona los datos con su semántica original, lo cual permite que puedan ser interpretados, extrapolados, etc., y no sólo representados de forma estática.

La diferencia principal con el WFS es que éste devuelve fenómenos geoespaciales discretos, mientras que el WCS proporciona coberturas que reflejan fenómenos de variación continua en el espacio.

El WCS proporciona tres operaciones: GetCapabilities, DescribeCoverage, y GetCoverage. La operación GetCapabilities devuelve una breve descripción de las coberturas que los clientes soliciten. La operación DescribeCoverage devuelve un documento XML con una descripción detallada de una o varias coberturas de las suministradas por el servicio. La operación GetCoverage permite obtener una cobertura o parte de ella. Será necesario indicar alguna característica básica que define el subconjunto de datos requerido, es decir, el dominio, el rango de valores,... Por este motivo, es necesario conocer primero cuál es la definición del tipo de coberturas que posee el servicio mediante la operación DescribeCoverage.

Servicio de procesamiento en Web (WPS)

La especificación del Servicio de Procesamiento en Web (WPS 2.0) proporciona el acceso de los usuarios a cálculos preestablecidos, o a algoritmos sobre los datos espaciales. Los datos requeridos por el WPS pueden ser transmitidos a través de la red, o estar disponibles en el propio servidor. Se pueden usar datos de imágenes o datos estándar de intercambio, como GML.

La complejidad del algoritmo puede ser de lo más simple (cortar una entidad con otra) o tan complicado como un modelo predictivo de algún proceso complejo (USLE, modelos predictivos meteorológicos, etc.).

Es uno de los servicios más “potentes” pero, desde el punto de vista técnico, más difícil de implementar. Permitir servicios de geoprosesos en Internet requiere el desarrollo de una amplia variedad de servicios web.

La especificación WPS define tres operaciones básicas que pueden ser solicitadas por el usuario, y realizadas por el servicio WPS:

- GetCapabilities, permite al usuario solicitar información los nombres y descripciones generales de cada uno de los procesos que ofrece una instancia de WPS.
- DescribeProcess, ofrece al usuario información detallada de los procesos que pueden ejecutarse, incluyendo los inputs requeridos, sus formatos permitidos, y las salidas que se pueden producir.
- Execute, permite al usuario ejecutar la aplicación definida en el WPS.

Los servicios detallados hasta ahora son los más importantes a la hora de desarrollar una IDE, suponen prácticamente el 99% de los servicios desarrollados por ejemplo en España (según datos de IDEE).

Sin embargo existe otra batería de servicios especificados por el OGC que también tienen interés dependiendo del campo de actuación sobre la que se vaya a desarrollar la IDE.

Servicio de filtrado de información (FE Filter Encoding).

Es un servicio auxiliar, actualmente en su versión 2.0.2, pensado para trabajar junto con otros servicios como los WFS. Mediante el lenguaje XML se expresan condiciones de selección para obtener un subconjunto de los elementos accedidos. Para ello, se utilizan operadores espaciales, de comparación y operadores lógicos.

Lo que permite este servicio es descargar los datos de interés, los atributos necesarios a través de accesos más rápidos y actualizados.

Servicio de descripción de estilos de capa (SLD Styled Layer Descriptor).

Es un servicio que permite describir estilos de capas, es decir, definir estilos personalizados de simbolización de las entidades geográficas.

Su uso más generalizado es el de definir, temporal o permanente, la simbolización con la que se desean visualizar los datos WMS, permitiendo de esta forma una visualización personalizada, saltando la visualización estándar del propio servicio.

El cliente, mediante la operación GetMap, inserta un archivo XML (lenguaje SLD) con los estilos y capas definidos por el usuario.

Servicio Web de transformación de coordenadas (CT, antiguo WCTS Web Coordinate Transformation Service).

Este servicio realiza transformaciones entre distintos tipos de proyecciones y sistemas de referencia espaciales.

Señala las especificaciones para transformar, vía web, un sistema de coordenadas de un conjunto de datos geográficos a otro sistema.

Las operaciones que realiza son las siguientes:

- GetCapabilities: Solicitud de las características del servicio.
- IsTransformable: Con esta operación puede comprobarse si el servicio realiza la transformación de un determinado tipo de geometría, entre dos sistemas de referencia dados.
- Transform: Transformación entre dos sistemas de referencia dados.
- GetFeatureInfo (opcional).

Servicio de acceso a sensores (SWE Sensor Web Enablement).

Este servicio está pensado para poder acceder en tiempo real a datos tomados por sensores como estaciones de aforos de todo tipo, estaciones meteorológicas, webcams, etc.

Es un conjunto de codificaciones estándar y servicios web que permiten:

- Conocer los sensores, los procesos, y las observaciones
- La programación de los sensores o los modelos
- El acceso a las observaciones y los flujos de observación
- Capacidades de publicación y suscripción de alertas
- Sistemas robustos de sensores y procesos de descripción de los mismos

Las especificaciones de codificación desarrolladas son las siguientes:

- Common SWE: modelos de datos y esquemas comunes
- SensorML: modelos y esquemas de los sistemas de sensores y procesos a cerca de las mediciones
- Las observaciones y mediciones (O & M): modelos y esquemas de datos de observación
- Transductor Markup Language (TML): modelos y esquemas de multiplexación de datos de los sistemas de sensores

Y las especificaciones de servicio Web desarrollados al efecto son:

- Sensor de Observación de Servicio (SOS): Interfaz web estándar para acceder a las observaciones
- Sensor de Planificación de servicio (SPS): Interfaz web estándar para los sistemas de sensores y el modelo de asignación de tareas y adquisiciones solicitadas
- Sensor Servicio de Alerta (SAS): Interfaz web estándar para la publicación y suscripción a las alertas del sensor
- Web Servicio de notificación (SNB): Interfaz web estándar para la notificación asíncrona

Servidor de vistas del terreno (WTS Web Terrain Server).

Este servicio, aunque ya no es mantenido desde la publicación de sus especificaciones en el año 2001 y no ha sido prácticamente desarrollado, merece su comentario en este trabajo, ya que supuso el primer intento del OGC por generar escenarios virtuales tridimensionales (Monteiro Cabada, F. G. et al., 2005). La finalidad de este servicio era ofrecer vistas en perspectiva de coberturas de datos geográficos tridimensionales.

Las operaciones que permitía este tipo de servidor eran GetCapabilities, que define las capacidades del servidor, y GetView, que ofrece la vista en función de los parámetros enviados al servidor (Fig. 3.3).



Fig. 3.3. Ejemplos de visualización de WTS con el software de 52north. Elaboración propia.

POLÍTICAS

En cualquier proyecto de la envergadura que tiene una IDE es necesario desarrollar una serie de políticas acorde con la complejidad de las mismas.

Las principales líneas en estas materias consisten en el desarrollo de las siguientes fases de trabajo:

- Marco legal de desarrollo del proyecto.
- Desarrollo de las partidas presupuestarias para abordar todas las fases del proyecto.
- Marco jerárquico. Asignación y estructuración de los equipos y grupos de trabajo y asignación de atribuciones y competencias de cada uno de los miembros.
- Desarrollo de los reglamentos o normas de tipo tecnológico que se han de cumplir en el desarrollo de la IDE.
- Desarrollo de las políticas de cesión y/o acceso de la información.

No cabe duda que, conforme a la jerarquía en este tipo de materias, las políticas que se desarrollen deberían ir en consonancia con las políticas del ente situado en estadios superiores dentro de la pirámide de competencias, como ocurre en el caso de los países miembros de la Unión Europea e INSPIRE.

Otro aspecto importante es que las políticas a abordar deberán también contemplar los estándares y normas establecidas a nivel internacional, comunitario y estatal (W3W, OGC, ISO, etc.).

PERSONAL

En una IDE, como casi en cualquier proyecto de estas características, como es lógico intervienen distintas personas con distintas funciones dentro de la misma.

A cada tipología, diferenciada por sus funciones en este proyecto, se les llamará personal, entendiendo como tal a cualquier persona y/o institución con una función bien definida en el desarrollo de una IDE. Los principales tipos de personal que surgen en una IDE son:

Productores de datos

La misión fundamental es capturar y producir IG (mapas, MDT, imágenes, ortofotos, etc.) y difundirlos a la sociedad a través de servicios de visualización, de descarga, de consulta, etc.

Generalmente son organismos públicos, como el IGN España, el Gobierno Vasco con GeoEuskadi, la Dirección General del Catastro, el Instituto Nacional de Estadística. Sin embargo el número de productores de datos aumenta vertiginosamente en tanto en cuanto aumenta exponencialmente la producción de IG. Así pues, tendremos agencias públicas y privadas cuya información, de un tiempo a esta parte, se ha convertido en IG relevante para numerosas aplicaciones (Universidades, Centros de Investigación, agencias responsables de meteorología, hidrografía, desarrollo económico, estadística, etc.).

Desarrolladores de software

La misión de este tipo de personal es la de desarrollar software que permita publicar un servicio o desarrollar un Geoportal desde el que puedan verse y utilizarse los datos. Suelen ser una empresa privada o una universidad que trabajan con propósitos de investigación y desarrollo.

Intermediarios (brokers)

La función última de estos, sería la de adaptar e integrar las soluciones y componentes existentes para proporcionar un sistema completo y a la medida para usuarios y organizaciones no expertos. Estaríamos hablando de empresas especializadas en desarrollos informáticos o de ingenierías de tecnologías de la IG subcontratadas por aquellas administraciones que necesitan implantar IDE.

Universidades y Centros de Investigación

La labor de estos últimos es la de investigar e innovar nuevos procesos, programas, desarrollar algoritmos, métodos y soluciones que no existen en el mercado, para que la tecnología progrese y evolucione.

El nivel de desarrollo de las IDE irá asociado con el nivel de desarrollo de este tipo de personal que hace que la tecnología asociada a las IDE esté en continua evolución y crecimiento.

Usuarios

El usuario es el tipo de personal que utiliza los servicios que proporciona una IDE para solucionar sus problemas. Demandan información, la analizan y generan nueva información resultante de las acciones anteriores. Puede ser un ciudadano individual, un organismo público, una empresa privada, una universidad, una asociación o cualquier agente social.

El usuario es el actor más importante de una IDE. Todo se hace por él, para él y pensando en él. Cada vez se le da más importancia a su opinión, su capacidad de decisión y su grado de satisfacción.

Y al igual que ocurría con los productores de datos, el número y tipología de este tipo de personal crece día a día de la mano de las nuevas tecnologías que utilizan información geográfica de lo más variopinta. Y podemos incluso llegar a tener usuarios de datos que se convierten en productores a través de proyectos abiertos de generación y uso de la información geográfica (proyecto Open Street Map).

3.2 LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN EN IDE 3D

Hasta ahora se ha tratado en este capítulo los orígenes del concepto IDE y los elementos que lo componen. Sin embargo, se hace necesario plantear un análisis sobre los principales problemas y retos a los que se enfrentan las IDE, porque con ello vamos a poder trabajar sobre dos de las hipótesis planteadas en este trabajo:

- La tercera dimensión es realmente uno de los retos a afrontar dentro de las IDE.
- Las IDE 3D son realmente necesarias para dar solución a una serie de problemas que se plantean a corto/medio plazo en relación con distintas áreas técnico-científicas.

Para abordar este planteamiento se ha intentado contactar con relevantes figuras nacionales e internacionales del mundo de las IDE. Como ya se ha descrito anteriormente, en el capítulo 2, sobre Metodología Investigadora Seguida.

En esas entrevistas se hicieron preguntas sobre la problemática general de las IDE y, de manera más concreta sobre las IDE 3D. Inicialmente se plantearon las entrevistas a los investigadores de origen nacional para ver el grado de desarrollo de estas tecnologías en nuestro país.

El resultado de estas entrevistas no fue todo lo satisfactorio que se esperaba, mostrando un grado de conocimiento muy genérico sobre las investigaciones que en materia de tridimensionalidad se tenían sobre las IDE. En un importante

número de preguntas no se obtenía respuesta o ésta era excesivamente genérica. Debido a esta situación se decidió dar un paso más, intentando contactar directamente con investigadores internacionales que ya hubieran desarrollado más de cinco publicaciones relacionadas directamente con IDE 3D. Se consiguió contactar con D. Peter van Oosterom y Dña. Jantien Stoter, que amablemente se ofrecieron a responder la entrevista. Aprovechando la coyuntura se preparó una entrevista más enfocada a profundizar sobre las IDE 3D. En este caso sí se obtuvo el grado de conocimiento esperado.

La batería de preguntas que se prepararon fue la siguiente:

1. ¿Podría decirnos dónde y en qué desempeña su trabajo?
2. ¿Cuánto tiempo lleva trabajando en temas relacionados con las IDE?
3. ¿Según su dilatada experiencia, cuál cree que es el grado de maduración de estas tecnologías?
4. ¿Podría avanzarnos las líneas de futuro hacia las que cree que tenderán las IDE?
5. ¿Para usted, cuáles cree que son las mayores debilidades que presentan las IDE?
6. Entrando a detalle en la problemática de la tercera dimensión, ¿considera que el grado de avance actual de las IDE es el suficiente como para albergar, gestionar y publicar de una manera eficiente información tridimensional?
7. ¿Conoce alguna iniciativa relacionada con las IDE y la tercera dimensión? Podría indicar cuál, su ámbito de actuación (global, nacional, regional, etc.) y, en breves líneas, hacia qué se orienta.
8. ¿Quién o quiénes cree que son los mayores impulsores de que las IDE sean capaces de trabajar sin problemas con la tercera dimensión?
 - usuarios de nuevas disciplinas técnicas como Realidad Aumentada, Realidad Virtual, urbanistas, usuarios de BIM (Building Information Modeling), etc...
 - Los propios desarrolladores de servicios y productos IDE...

Hacia un modelo real de la Información Geográfica

- Los creadores de lenguajes avanzados de información tridimensional...
9. ¿Qué países o centros de investigación, universidades, etc. cree que son los más punteros en esta dirección?
 10. ¿Cuáles son las líneas de investigación que actualmente se encuentran más maduras en relación a las IDE y la tercera dimensión?
 11. Y a futuro, ¿qué otros caminos considera que van a tener que recorrer las IDE para poder hablar de IDE tridimensionales?
 12. En muchos foros se considera la información geográfica tridimensionalidad como un lujo caro y pesado de gestionar, además de que aporta poco. ¿Está de acuerdo con esta afirmación?
 13. En lo que a la parte teórica sobre el modelo de datos tridimensional se refiere, ¿está ya todo dicho sobre elementos, geometrías, topologías, BB.DD. espaciales, etc. o todavía queda camino por descubrir?
 14. ¿Y a nivel práctico?
 15. ¿CityGML, IndoorGML, LandGML...? ¿Todos?
 16. Con información geográfica tridimensional ¿cobrarían de nuevo protagonismo los clientes pesados o no sería necesario con estándares como WebGL?

De esas entrevistas, tanto las realizadas a investigadores nacionales e internacionales, las **principales líneas de investigación** que los entrevistados ven entorno al desarrollo futuro de las IDE son:

- El intercambio de conjuntos de datos estructurados de acuerdo con los modelos de información establecidos.
- Intercambio de IG a través de la web semántica.
- Datos enlazados (*Linked Data*).
- BIG data (tratamiento de grandes cantidades de IG, como la proveniente de datos LiDAR o Mobile Mapping).
- Adaptación a IG tridimensional.
- Adaptación a teléfonos inteligentes.

Hacia un modelo real de la Información Geográfica

- Ubicación en la NUBE (Tormenta global), con la consiguiente desaparición de las miles de IDE temáticas, institucionales, etc., y la sustitución por una IDE Universal.

Tras las anteriores respuestas, se pasa a detallar algunas **debilidades** señaladas por los entrevistados:

- Falta de interoperabilidad de licencias
- Escasa aplicación de la filosofía de Datos abiertos
- Baja calidad de algunos servicios.
- En España se apunta a la ausencia de intermediarios y reutilizadores y escaso apoyo político.
- Dificultad de uso de los geoportales.
- Soluciones “parroquiales” y limitadas.
- Los progresos no se ven en los programas comunes de las TIC porque todavía las IDE no son consideradas como una verdadera herramienta TIC.

Alguno de los principales problemas a los que se enfrenta el desarrollo de IDE 3D, según los entrevistados son:

- La tercera dimensión se maneja la mayoría de las veces como un mero atributo. Tenemos en general 2.5D.
- Siendo las IDE herramientas para la toma de decisión territorial, para muchas cuestiones que son críticas, la toma de decisiones debería hacerse teniendo en cuenta la tercera dimensión, pero no están preparadas para esto.
- OGC e ISO deben definir estándares y normas para IG 3D. Los actuales resultan ineficientes.
- Los desarrolladores de software (libre y propietario) deben generar aplicaciones que gestionen y exploten datos 3D.

Hacia un modelo real de la Información Geográfica

- Los usuarios deben expresar sus necesidades de datos 3D, para que de ellas se generen requisitos para desarrollar aplicaciones y casos de uso.
- Apoyar la recolección, el mantenimiento y la difusión de grandes cantidades de datos 3D.
- Integración con otros modelos de datos de aplicaciones.
- Se hace necesario preparar a los clientes ligeros para el manejo de este tipo de información, ante una progresiva desaparición de clientes pesados (conforme al auge de las plataformas ligeras móviles).

Si analizamos esta información, aportada como ya hemos citado por importantes e influyentes expertos del mundo de las IDE, podemos interpretar que la tercera dimensión es una línea de investigación propia dentro de las principales líneas de investigación relacionadas con las IDE. Además de esto, se pueden vislumbrar distintas líneas relacionadas con las IDE 3D, destacando la publicación de IG tridimensional a través de Internet mediante clientes ligeros ante el imparable avance de smartphones y tablets como medio de consumo de este tipo de IG y servicios relacionados.

Otra posible línea dentro de las IDE 3D sería el desarrollo y/o mejora de lenguajes, servicios y normas necesarios para plantear un uso masivo de IG tridimensional.

Con todo lo anterior y teniendo en cuenta el sistema de seguimiento y actualización de la investigación planteado en este proyecto (capítulo 2), se podría dar por ciertas dos de las hipótesis planteadas:

- La tercera dimensión es realmente uno de los problemas a afrontar dentro de las IDE.
- Las IDE 3D son realmente necesarias. Además existe un claro interés científico sobre la materia con distintas líneas de investigación planteadas.

3.3 IDE 3D. ORÍGENES Y JUSTIFICACIÓN

Los orígenes del término IDE 3D se podrían establecer en el año 2008 en una publicación de Jens Basanow, Pascal Neis, Steffen Neubauer, Arne Schilling, y Alexander Zipf, titulado "Towards 3D Spatial Data Infrastructures (3D-SDI) based on open standards – experiences, results and future issues" (Basanow et al., 2008).

La idea fundamental del trabajo era mostrar nuevas tecnologías propuestas para la extensión en la dimensión, sobre la base de la IDE de Heidelberg.

Ya se hablaba de Web3D, de OGC (W3DS), servicio que distribuía los datos en 3D, de CityGML. Se podría decir que es el primer documento que, desde un punto de vista integrador, trata de plasmar los elementos de una IDE 3D conforme a los desarrollos de la época.

Tras esta publicación, que se integró ese mismo año en el libro "*Advances in 3D geoinformation systems*" (van Oosterom et al., 2008), fueron surgiendo varias e interesantes publicaciones, pero no con un punto de vista tan integrador como el de Basanow.

Sin embargo, mucho antes de esta publicación ya había organizaciones que estaban haciendo grandes desarrollos en el ámbito de la información tridimensional. Una de estas organizaciones es el **Web3D Consortium**, fundado en 1997. Se trata de una organización internacional, sin ánimo de lucro, financiada por los miembros (empresas privadas, universidades, gobiernos, etc.). Se encargan fundamentalmente del desarrollo de estándares para la publicación de gráficos 3D en Internet. Desarrollaron un estándar, X3D (Extensible 3D), que surgió tras VRML. X3D es un estándar abierto, extensible e interoperable (multiplataforma). X3D, como veremos en posteriores capítulos, cobra gran importancia a la hora de publicar IG en Internet, ya que se constituye como una de las plataformas más utilizadas para este objetivo.

Otro punto importante de cara al desarrollo de las IDE 3D, sobre todo en lo referente a normas, lenguajes y estándares es la creación del Grupo de Trabajo

sobre Gestión de la Información 3D de la OGC (**The OGC's 3D Information Management Working Group**), en el año 2005.

Actualmente los miembros de este grupo son:

- Roensdorf, Carsten (Ordnance Survey of U.S.A.)
- Stoter, Jantien (Universidad Tecnológica de Delft)
- Graham, David (CAE Inc.)

Dicho grupo de trabajo está facilitando la definición y desarrollo de estándares que permitan soluciones de manejo y visualización de la IG tridimensional. El foco sobre el que centran sus investigaciones es el establecimiento de un marco de interoperabilidad de IG tridimensional debido a la gran variedad de productos, información y servicios existentes en la actualidad. Este trabajo es de interés para la comunidad geoespacial en el sentido de que existe una creciente necesidad de tecnologías e información para inter-operar entre distintas ramas técnico-científicas que, en la actualidad, manejan una gran cantidad de servicios y formatos de una manera dispersa. Para esto se creó el grupo, para identificar y actuar sobre las oportunidades de mejorar la interoperabilidad de datos geoespaciales tridimensionales y servicios relacionados con los anteriores.

Dicho grupo se reúne de manera trimestral con el Comité Técnico del OGC y realiza teleconferencias regulares para aportar sus avances.

Entre los principales partners de este grupo de trabajo se encuentra el propio OGC, el Instituto Nacional de Ciencias de la Construcción (NIBS) de los EE.UU., el Consorcio Web3D y el Special Interest Group (SIG) 3D.

Dicho grupo se está convirtiendo en un foco importante para el desarrollo de los estándares necesarios para una IDE 3D. En él participan desde los más importantes proveedores de software CAD y SIG, pasando por agencias administrativas (como la Agencia Nacional de Inteligencia Geoespacial y el Departamento de Seguridad Nacional) hasta gobiernos europeos. Uno de los miembros de este grupo de trabajo, como ya se ha señalado, es Jantien Stoter,

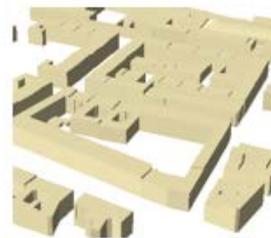
Hacia un modelo real de la Información Geográfica

que participó directamente en este trabajo con sus aportaciones en una entrevista.

Uno de los principales hitos desarrollados por este grupo ha sido la adopción de CityGML como estándar OGC (originalmente, la organización alemana de Renania del Norte-Westfalia sig3D desarrolló CityGML) y su impulso ya que proporciona un modelo estándar para describir objetos 3D con respecto a su geometría, topología, semántica y apariencia, y define cinco diferentes niveles de detalle (LoD) tal y como se describe en la siguiente figura:



LoD 0 (Modelo regional, 2.5 D)



LoD 1 (Modelo en bloque)



LoD 2 (Se distinguen estructuras)



LoD 3 (Arquitectura detallada)



LoD 4 (Modelo topológico completo)

Fig. 3.4. Niveles de detalle de CityGML. Elaboración propia.

CityGML también proporciona una forma estándar de integrar la ubicación interior / exterior, es decir, una forma estándar de integrar la ubicación del edificio en las coordenadas globales con los detalles del edificio en coordenadas relativas de los sistemas CAD. Es, por tanto, una puerta abierta a la integración de las IDE 3D con los sistemas BIM.

Por todo lo anterior, CityGML está siendo ampliamente implementado en productos de software y servicios online. Es el estándar para la IG 3D en Holanda (potencia mundial en este tipo de modelos).

También tuvo gran repercusión la adopción de KML como estándar en el año 2008. Suponía adoptar como estándar un lenguaje que ya tenía una gran cantidad de usuarios y desarrollos relacionados con él, gracias sobre todo por el archi-conocido Google Earth, plataforma original sobre la que se visualizaban este tipo de ficheros. Suponía la “democratización” de estructuras 3D más complejas en el mundo de la IG.

Ese mismo año se produce otro hito importante que tendrá fuertes repercusiones a la hora de poder hablar de IDE 3D (Basanow et al., 2008), **Oracle** introduce su **3D Spatial Engine** en la versión 11g de su gestor de BB.DD. Desde ese momento se ha ido mejorando y desarrollando este motor para almacenar y gestionar información geométrica tridimensional, con su potencial uso, como no podía ser de otra forma, por parte de la comunidad geoespacial. Sobre este aspecto destacan las contribuciones de Peter van Oosterom, del que ya se ha hablado con anterioridad y que participó directamente en este trabajo.

De una manera algo más modesta, pero no menos importante y también relacionada con la anterior, cabe destacar la contribución que la **Fundación OSGeo** ha ido desarrollando, sobre todo con su proyecto PostGIS. **PostGIS** es una extensión del gestor de BB.DD. objeto-relacional PostgreSQL que permite almacenar IG en la propia base de datos. PostGIS incluye soporte para los índices espaciales R-Tree basados en SIGT y funciones para el análisis y procesamiento de objetos SIG y, a partir de su versión 2.0 (2008), comienza a

Hacia un modelo real de la Información Geográfica

dar soporte a almacenamiento de elementos 3D y funcionalidades relacionadas con estos elementos (Fig. 3.5).

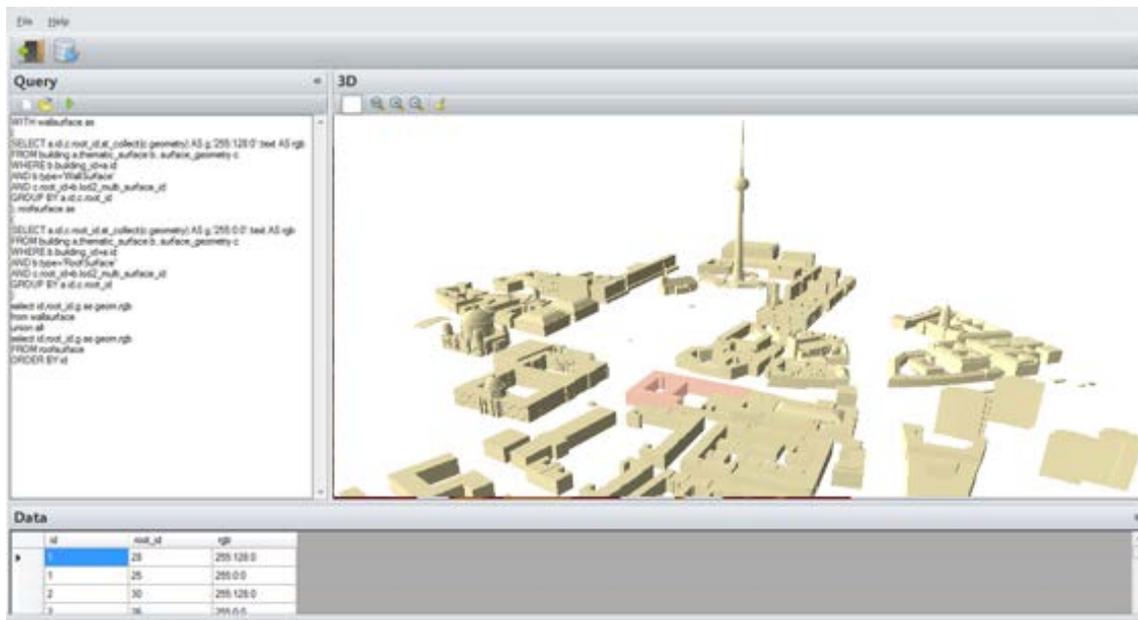


Fig. 3.5. Visor 3D de PostGIS. Elaboración propia.

La fundación OSGeo es una organización no gubernamental que trata fundamentalmente de promover tecnologías para el tratamiento de información geoespacial y datos abiertos. Fue constituida en febrero de 2006 para proporcionar apoyo financiero, legal y organizativo a toda la enorme comunidad geoespacial de software libre y software de código abierto.

Los miembros son grandes contribuyentes en los proyectos desarrollados por la Fundación, que está compuesta por 45 miembros fundadores y 9 miembros del consejo director. El actual presidente es Arnulf Christl.

Dentro de los proyectos auspiciados por OSGeo destacan:

- FDO
- GDAL/OGR
- GeoTools
- GEOS

Hacia un modelo real de la Información Geográfica

- MetaCRS
- GRASS SIG
- OSSIM
- Quantum SIG
- gvSIG
- Mapbender
- MapGuide Open Source
- MapServer
- OpenLayers
- deegree
- GeoNetwork opensource

Finalmente, relacionado con las BB.DD. y la IG tridimensional, merece mención el trabajo desarrollado por el **Departamento de Geoinformática de la Universidad Técnica de Munich**, con su desarrollo de **3D City DB**. Se trata de una plataforma de base de datos geográfica, abierta, que almacena, representa y administra modelos de ciudades 3D virtuales sobre una base de datos relacional espacial estándar. En este caso, el estándar utilizado es CityGML, con posibilidad de trabajar objetos urbanos semánticos y multidetalle. Dispone, además, de herramientas para facilitar el intercambio de datos como los exportadores a formato KML, COLLADA y glTF para la visualización en plataformas como Google Earth, ArcGIS y Cesium, basado en WebGL, y del que se hablará en profundidad en posteriores capítulos por la importancia que está adquiriendo (Fig. 3.6).

Estos tres últimos hitos suponen un avance importante hacia el desarrollo futuro de IDE 3D, ya que permiten abordar el almacenamiento, gestión y análisis de elementos geométricos tridimensionales dentro de una misma BB.DD. Facilitando así la labor de gestión centralizada de la IG en una única plataforma.

Hacia un modelo real de la Información Geográfica

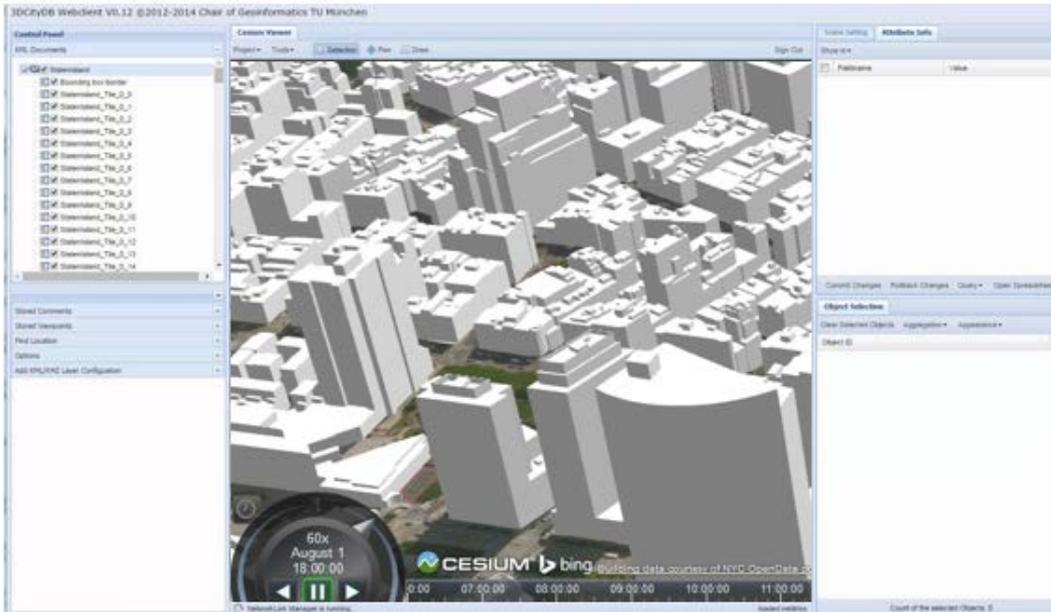


Fig. 3.6. 3DCityDB en funcionamiento con el visor Cesium. Elaboración propia.

En la segunda década del siglo XXI quizá las aportaciones más interesantes han venido del citado OGC. Desde 1994, el OGC ha estado reuniendo diversas compañías, grupos de investigación y organizaciones gubernamentales para desarrollar estándares de interfaz y codificación que solucionen problemas de la industria relacionados con el intercambio de IG 3D. Y como el propio grupo de trabajo describe, su alcance se está expandiendo debido, fundamentalmente a nuevas iniciativas que se ocupan de la ubicación de los nuevos desarrollos tecnológicos, tales como Internet de las cosas (IoT), la comunicación de máquina a máquina (M2M), imágenes ópticas, Realidad Aumentada (AR), navegación en interiores, dispositivos móviles incorporados, las redes sociales.

Según el propio OGC, estos nuevos desarrollos tecnológicos impactarán directamente sobre distintas áreas técnico-científicas de la arquitectura, ingeniería, construcción, etc. Nuevas industrias, como el marketing basado en la localización están creando demanda de datos y nuevas fuentes de datos sobre edificios, áreas comerciales e infraestructuras. Por este motivo, el OGC adoptó en 2016 IndoorGML, lenguaje del que se hablará en posteriores capítulos, como estándar para la localización y navegación en interiores.

La interoperabilidad de la ubicación 3D real, en las citadas áreas técnico-científicas, está requiriendo la integración de la información de la ubicación, no solo tridimensional, también interior y exterior (con las implicaciones que esto implica de información tridimensional). Si a esto añadimos los grandes esfuerzos que desde las compañías de CAD, SIG y BIM se están desarrollando en ofrecer plataformas que gestionen la IG tridimensional (Valencia, J. et al., 2015), con sus correspondientes funcionalidades de importación/exportación a lenguajes estandarizados, como CityGML, nos encontramos en una situación propicia para afrontar el desarrollo de IDE 3D.

Los anteriores argumentos redundarían en la verificación de una de las hipótesis de trabajo ya planteadas:

- Las IDE 3D son realmente necesarias para dar solución a una serie de problemas que se plantean a corto/medio plazo en relación con distintas áreas técnico-científicas.

4 LAS IDE 3D DESDE EL PUNTO DE VISTA DE LA GESTIÓN INTERNA. HERRAMIENTAS, FORMATOS Y TECNOLOGÍAS

4.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se van a abordar las distintas líneas de investigación y problemáticas asociadas a las IDE 3D desde el punto de vista de la gestión interna de la IG También se tratará sobre herramientas, formatos, distintas tecnologías que van surgiendo.

Desde el punto de vista de los actores de una IDE, estaríamos hablando de la parte de producción y gestión de IG tridimensional. Y, como ya se citó en el capítulo anterior, si nos fijamos en el gráfico de Sebastian Benthall y Galen Evans (Fig. 3.2), en este capítulo el foco se va a centrar en los siguientes elementos (Fig. 4.1)



Fig. 4.1. Diseño de operatividad de una IDE desde el punto de vista de la gestión interna. Figura adaptada de la Fig. 3.2 (Sebastian Benthall y Galen Evans).

Siguiendo ese esquema y, pensando ya en clave de tridimensionalidad, la anterior figura se podría haber modificado teniendo en cuenta la naturaleza de la IG tridimensional y sus diferentes formatos. Así las cosas, realmente el esquema

a trabajar sería el siguiente (Fig. 4.2), considerando algunas de las opciones respecto a formatos y herramientas (Valencia, J. et al., 2015).

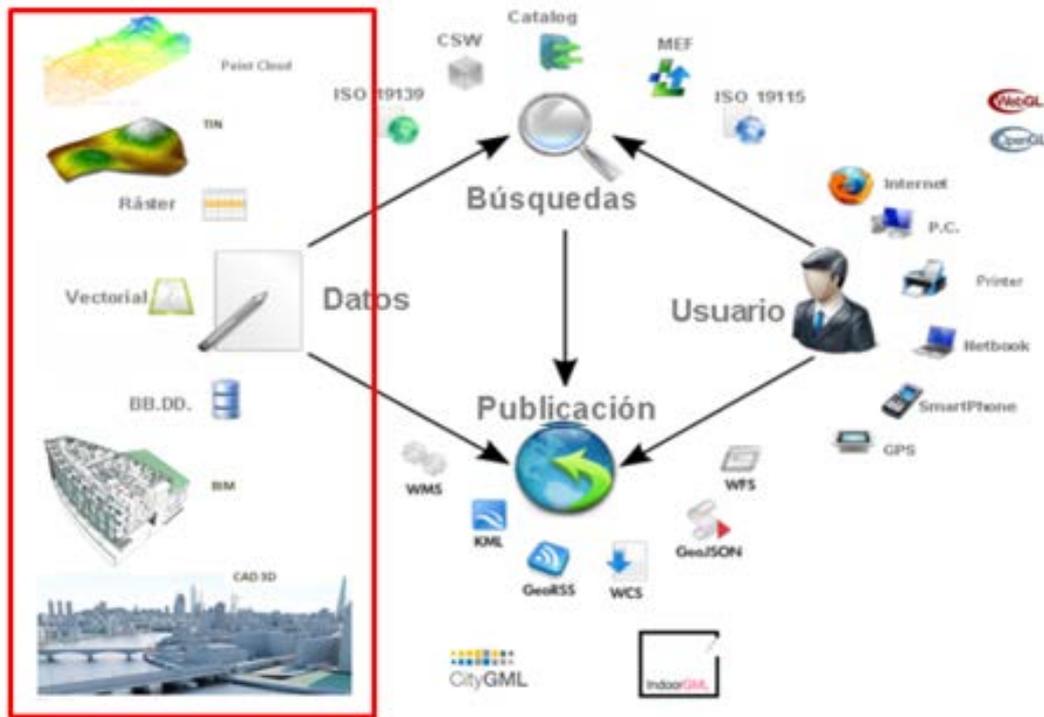


Fig. 4.2. Diseño de operatividad de una IDE 3D desde el punto de vista de la gestión interna. Elaboración propia.

4.2 LA ESCALA EN IG TRIDIMENSIONAL

Una de las grandes diferencias a la hora de trabajar con IG tridimensional es el sentido que tiene el concepto de escala, fundamental a la hora de trabajar con IG 2D, ya que es uno de los valores básicos que definen cualquier representación cartográfica. Tengamos en cuenta que la escala nos ofrece intrínsecamente una aproximación a la precisión de dicha representación. Sin embargo, en 3D tenemos dos elementos completamente distintos, por un lado la escala bidimensional, ya comentada y, por otro, la escala altimétrica. Ambas escalas no tienen por qué ser análogas, ni siquiera tienen por qué tener las mismas unidades de medida.

En este sentido, como criterio estándar en representación tridimensional ya no se habla de “escala”, sino de “niveles de detalles” (en adelante LoD, Levels of Detail). Este sistema permite trabajar con objetos multiescalares en los que se definen cinco modelos bien diferenciados (Fan, H. y Meng, L., 2009) (Fig. 4.3):

LoD 0

Se correspondería con una representación 2.5 D del terreno mediante el empleo de un modelo digital de elevaciones. No se tendría más que una representación de modelos digitales de suelo o de superficie (MDS). Se trataría de un nivel de detalle para modelos a escalas globales o regionales. Como referencia a las escalas numéricas estaríamos hablando de un rango de escala desde 500.000 hasta 50.000. La precisión en posicionamiento y altura de este modelo sería la de la escala bidimensional de la que parte la I.G., encontrándonos dependiendo de la cobertura, con precisiones de entre 30 a 90 m. (las que puede proporcionar por ejemplo el ASTER GDEM) hasta los 10 m. (las precisiones obtenidas de un modelo de elevaciones proveniente de un vuelo fotogramétrico con cobertura nacional).

LoD 1

Nivel de detalle para modelos de ciudades, con los edificios representados por bloques (extrusión). La precisión en posicionamiento y altura de estos modelos sería 5 m., según las recomendaciones del OGC. Este modelo sería utilizado para coberturas provinciales a municipales o para representar modelos de ciudades extensas. Se correspondería con una escala aproximada entre 25.000 y 10.000. Este tipo de modelos se obtienen de extensas campañas fotogramétricas o de LiDAR y, en algunas aplicaciones (como catastro), los edificios se extrusionan dependiendo de información alfanumérica asociada a cada elemento.

LoD 2

Modelo a escala de ciudad en el que los edificios aparecen definidos con fachadas de diferentes texturas y elementos y con detalle de sus cubiertas. La

Hacia un modelo real de la Información Geográfica

precisión en posicionamiento y altura de esto modelo sería 2 m., lo que se correspondería con unas escalas aproximadas de entre 10.000 y 5.000, por lo general procedentes de fotogrametría o LiDAR de baja altura (drones) o mobile mapping.

LoD 3

Modelo a escala de ciudad con mayor lujo de detalles desde un punto de vista arquitectónico. La precisión en posicionamiento y altura de esto modelo sería 0.5 m. Comienza a ser necesaria la intervención del analista con mayor o menor grado de automatización, para dar de valor semántico a elementos como ventanas y puertas. Se corresponderían con modelos para escalas entre 5.000 a 500, fundamentalmente obtenidos a partir de LiDAR o fotogrametría de baja altura, mobile mapping, CAD 3D.

LoD 4

Completa al nivel anterior centrándose en esta ocasión en el interior de los edificios configurando la distribución de los mismos. Se trataría de un modelo topológico, muy similar al concepto BIM. La precisión en posicionamiento y altura de esto modelo sería 0.2 m. Se correspondería con modelos para escalas entre 1.000 y 500. La mayoría de estos modelos proceden de modelos LoD 3 procesados para generar una semántica completa del modelo o proceden de BIM.

LoD	Descripción	Escala	Precisión	Metodología	Modelos
0	Modelos de cobertura global a regional	500.000 a 25.000	90-10 m.	SAR, MDS fotogramétrico, Ecosonda multihaz	

Hacia un modelo real de la Información Geográfica

1	Modelos provinciales a municipales. Modelos para grandes ciudades	25.000 a 10.000	5 m.	MDE fotogramétrico, LiDAR, MDE procedente de 2D + información alfanumérica	
2	Modelos municipales con detalle de fachadas y cubiertas.	10.000 a 5.000	2 m.	LiDAR o fotogrametría de drones o Mobile Mapping	
3	Modelos municipales con detalle de elementos estructurales como ventanas y puertas	5.000 a 500	0.5 m.	LiDAR o fotogrametría de drones o Mobile Mapping o CAD 3D + algorítmica para dotar sentido semántico	
4	Modelos municipales semánticos	1.000 a 500	0.2 m	LoD 3 + procesado semántico o BIM	

Fig. 4.3. Tabla resumen de LoD, escalas, precisiones y metodologías con las que se obtienen. Elaboración propia.

Además de lo anterior, en las últimas investigaciones relacionadas con SIG 3D, se está incorporando el concepto de objetos nD u objetos multidimensionales, lo que dificulta aún más el trabajo con escalas sobre este tipo de objetos (Arroyo Ogori, K. et al., 2017).

Hacia un modelo real de la Información Geográfica

Se puede definir un objeto nD como aquel objeto que se ha modelizado con dimensiones “extra” geométricas (por ejemplo, el tiempo) perpendiculares a las espaciales, creando un modelo de dimensión superior. Esta modelización se puede desarrollar en base a tres operaciones: traslación, rotación y escalado (Fig. 4.4).

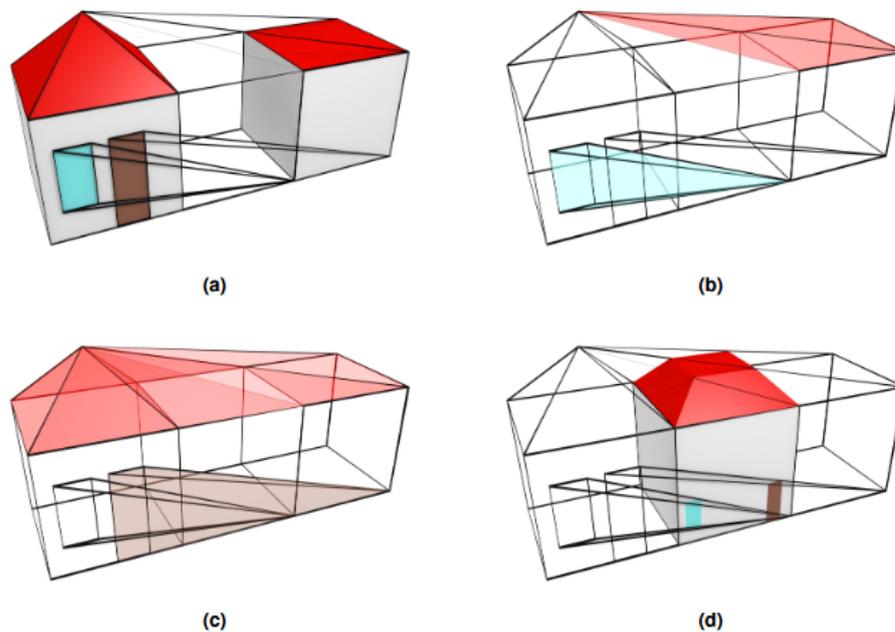


Fig. 4.4. Ejemplo de modelo 4D de una casa en dos LoD distintos (Arroyo Otori, K. et al., 2017).

En la anterior figura se puede ver cómo se puede expresar con una traslación (a) el cambio de LoD 1 a LoD 2. A continuación se obtienen elementos representativos del edificio, (b) y (c), como puertas y ventanas, para pasar finalmente mediante una operación de escala (d) a lo que sería el edificio en la transición de LoD 1 a LoD 2. Como puede apreciarse, con unas sencillas operaciones geométricas se consigue una transición completa de dos niveles de detalle distintos. Al aplicar las proyecciones de objetos 3D que cambian en el tiempo o en la escala (aquí incluimos los cambios de LoD), es posible ver inmediatamente todas las correspondencias entre los diferentes elementos de los objetos 3D y las relaciones topológicas entre ellos. Esto como se podrá ver

más adelante en este capítulo, es de vital importancia, ya que es uno de los que más enriquece el análisis de la IG tridimensional.

Así pues, como se puede extraer de la información analizada en este apartado, el paso de IG 2D a 3D deberá conllevar un cambio en la forma de pensar respecto de la escala. La escala desde el punto de vista 2D sólo tendría sentido en modelos LoD 0, perdiendo todo su sentido en LoD superiores. Y, por supuesto, ocurriría exactamente lo mismo en modelos nD.

Los LoD superan el concepto de precisión que existe asociados a los modelos euclidianos bidimensionales. Si bien puede existir una relación entre los LoD y la precisión de escala en los LoD 0 a 2, es a partir de este nivel de detalle donde los LoD divergen de la escala 2D porque incorporan el concepto semántico y los completan desde el punto de vista topológico, pudiendo discriminar para un mismo elemento (un edificio) distintas estancias del mismo, elementos constructivos, volúmenes, zonas de acceso y transición, etc.

4.3 LA NATURALEZA DE LA IG TRIDIMENSIONAL. TIPOLOGÍAS DE REPRESENTACIÓN

Los datos geoespaciales pueden representarse en tres modelos euclidianos diferenciados (Abdul-Rahman, A. y Pilouk, M., 2008):

- **Modelo 2D:** define la ubicación mediante mediciones en los ejes XY.
- **Modelo 2.5D:** define la ubicación en el espacio 2D con un valor de atributo dimensional vinculado a la ubicación XY
- **Modelo 3D:** define la ubicación que se extiende a través del espacio 3D definido por los ejes X, Y, Z.

Surge entonces la siguiente pregunta: si todos los objetos del mundo real son tridimensionales (3D) ¿cómo se pueden representar los objetos en un sistema donde la información sobre el estado, el comportamiento y las relaciones

topológicas de los objetos con sus vecinos no contempla una de estas dimensiones?

En los SIG, por lo general, los objetos espaciales están representados en forma de puntos, líneas y superficies. Estas primitivas gráficas funcionan bien para objetos bidimensionales (2D) (Peucker, T. K. y Chrisman, N., 1975), pero a medida que aumenta la demanda de aplicaciones SIG en el entorno 3D, estas formas básicas de representación ya no son adecuadas. Además se hace necesario distinguir la representación de aquellos objetos regulares (por ejemplo un edificio) con respecto a los objetos irregulares (masas forestales, sistemas de dunas, etc.).

Las limitaciones e inadecuación del sistema gráfico 2D para atender a las necesidades 3D justifican la necesidad de detenernos a detallar los distintos sistemas de representación de la IG tridimensional, distinguiendo entre las representaciones basadas en superficies y las basadas en volúmenes.

4.3.1 REPRESENTACIONES BASADAS EN SUPERFICIES

Las representaciones de objetos basadas en superficies son las rejillas o cuadrículas (grid), modelos de entidades (shape models), modelos de facetas (facet models) y las representaciones de límites o bordes (b-Rep) (Abdul-Rahman, A. y Pilouk, M., 2008).

Grids

Un grid es un tipo de solución ampliamente utilizada para modelizar el terreno. Se trata de una estructura que especifica valores de altura en ubicaciones regulares (Fig. 4.9). Muchos software de modelización del terreno utilizan este sistema porque es fácil de generar y la topología está implícitamente definida (Peucker, T. K. y Chrisman, N., 1978). Además, desde el punto de vista de la implementación de algoritmos informáticos, se corresponde con los arrays, lo

que la convierte en una estructura fácilmente obtenible, gestionable y con una representación abordable sin un excesivo consumo computacional.

Desde el punto de vista tecnológico de captura de IG, la representación basada en grid es el modelo utilizado por sensores como el LiDAR (ya sea aerotransportado o dispuesto sobre otras plataformas como los sistemas Mobile Mapping o escáner láser).



Fig. 4.5. Ejemplo de grid visualizado en 3D (izquierda) y 2D (derecha) procedente del LiDAR de Goeuskadi y Global Mapper. Elaboración propia.

Shape Models

Los shape models son modelos de superficie en los que se utilizan los valores de pendientes entre puntos de la propia superficie. En estos modelos, cada punto de rejilla tiene valor de pendiente en lugar de valor de Z. Conociendo las pendientes, se puede definir y utilizar un vector normal de cada punto de rejilla para determinar la forma de la superficie (Fig. 4.6) (Li, R. 1994).

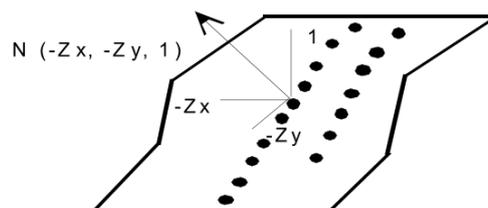


Fig. 4.6. Ejemplo de Shape Model con vector normal (Li, R. 1994).

Este sistema, en la actualidad ha sido reemplazado por sistemas más sencillos, con topología implícita y menor coste computacional, como el b-Rep.

Facet Models

Un facet model, también llamados modelos de facetas o de caras, describe la superficie de un objeto mediante superficies planas que pueden ser de diferentes formas y tamaños. Uno de los modelos más populares es el denominado red de triángulos irregulares (TIN). Una superficie puede ser descrita por una red de caras triangulares (Abdul-Rahman, A. 1992). Cada cara consta de tres nodos triangulares que tienen un conjunto de coordenadas x, y, z para cada nodo (Fig. 4.7).

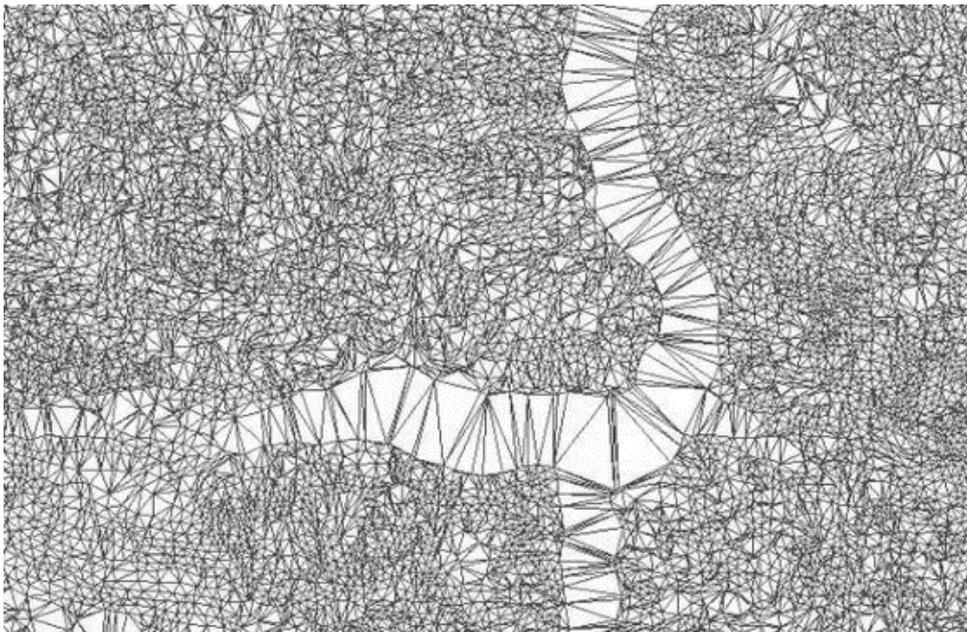


Fig. 4.7. Ejemplo de TIN visualizado en 2D. Elaboración propia.

Este tipo de modelos es también muy utilizado por los distintos software de modelado del terreno, ya que es fácilmente programable, se trata de un modelo con topología implícita y sirve tanto como modelo de salida de distintos algoritmos de análisis (Voronoi) y como modelo de entrada para obtener otros modelos, como los grids.

b-Rep

La representación de límites o de bordes (b-Rep) modeliza un objeto mediante una combinación de primitivas predefinidas de punto, poli-línea, cara y volumen (Fig. 4.8). b-Rep es el modelo por antonomasia del CAD/CAM, que por su complejidad computacional, sólo se usa en modelado del terreno con elementos regulares y planos (Li, R. 1994).

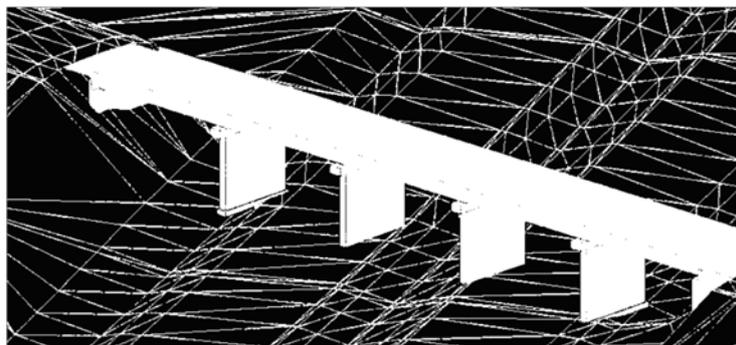


Fig. 4.8. Ejemplo b-Rep visualizado en AutoCAD. Elaboración propia.

4.3.2 REPRESENTACIONES BASADAS EN VOLÚMENES

Las representaciones de objetos basadas en el volumen son: array 3D, octree, geometría sólida constructiva (CSG) y 3D TIN (o TEN) (Abdul-Rahman, A. y Pilouk, M., 2008).

Array 3D

La matriz o array 3D es quizás la estructura de datos más sencilla en el espacio tridimensional (Fig. 4.9). Muy fácil de desarrollar y muy asimilable a nuestro “mundo real”, fácilmente escalable y generalizable a distintos LoD, no siempre resulta eficiente para algunas tareas (Kaufman, A. y Bakalash, R. 1988). Por ejemplo, a nivel de BB.DD. en una distribución muy homogénea de valores generaría una BB.DD. con una innecesaria demanda de espacio. Se trata por tanto, de un “modelo pesado” de representación de voxels, el equivalente en 3D del píxel para un objeto 2D, en el que el píxel 2D se extrusiona hasta su correspondiente elevación.

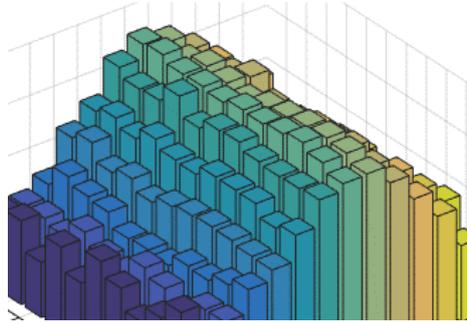


Fig. 4.9. Array 3D modelizado con Excel. Elaboración propia.

Debido a esto, si variamos el tamaño del voxel, obtenemos una mejor representación y el modelo no es tan “pesado”. Este sería el siguiente modelo, el modelo octree

Octree

La base teórica de este modelo es muy similar a la anterior, un desarrollo tridimensional de voxels, pero mediante una estructura jerárquica que basada en el concepto bidimensional de quadtree (Samet, H. 1990). El árbol divide el espacio en cubos que están dentro o fuera del objeto. Un cubo se divide en ocho cubos idénticos, llamados octantes. Este proceso se repite hasta un nivel de precisión determinado (Fig. 4.10).

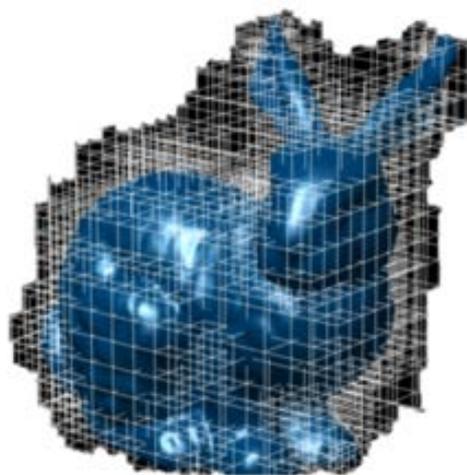


Fig. 4.10. Modelo Octree con MeshLab. Elaboración propia.

Constructive solid geometry (CSG)

La geometría sólida constructiva (CSG) representa un objeto por una combinación de primitivas geométricas simples (Fig. 4.11). Ejemplos de primitivas son esferas, cubos, cilindros, conos o sólidos rectangulares, combinados mediante operaciones booleanos y transformaciones lineales (James, D. 2003). Es el modelo volumétrico por antonomasia del CAD/CAM y adolece, al igual que su homónimo en representación superficial (b-Rep), de los mismos problemas en lo que a coste computacional se refiere.

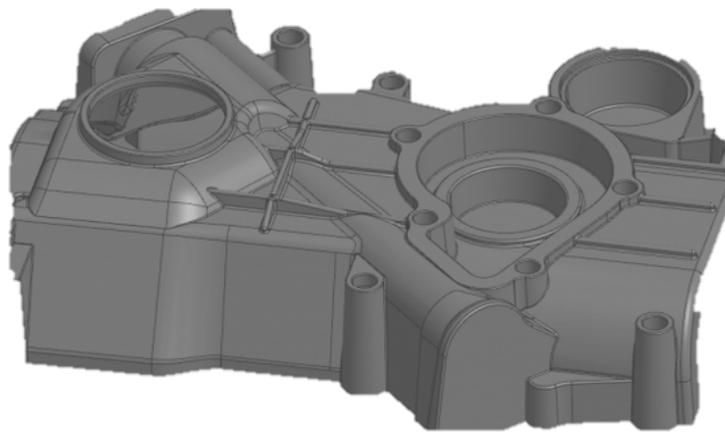


Fig. 4.11. CSG de ejemplo de AutoCAD. Elaboración propia.

3D TIN (Tetrahedral network, TEN)

El modelo 3D TIN, también denominado TEN (red tetraédrica), sería una extensión del modelo TIN 2D. Un objeto se describe mediante tetraedros conectados pero no superpuestos (Fig. 4.12). TEN tiene muchas ventajas en la manipulación, visualización y análisis. Además, se puede generar usando las mismas técnicas que para TIN (Deren, L., y Qingquan, L. 1997).

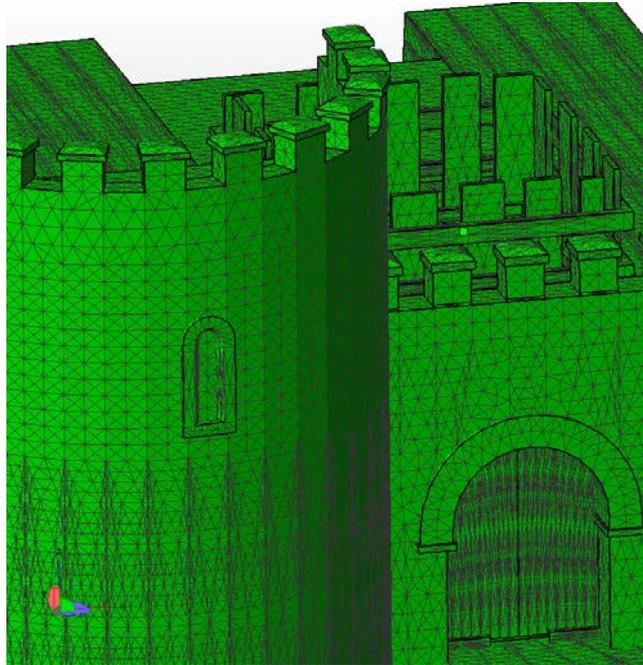


Fig. 4.12. TEN visualizado con Netfabb. Elaboración propia.

Las ventajas de este modelo son, por un lado, su sencilla representación mediante puntos, líneas, áreas y volúmenes (sólidos), el procesado topológico es bastante rápido y la visualización no es excesivamente costosa. Sin embargo, el trabajo sobre tetraedros para SIG es muy limitado. Como se verá en este mismo capítulo, las grandes marcas de software de SIG han tenido que desarrollar productos específicos para trabajar con este tipo de modelos, no sirviendo sus actuales programas para este tipo de modelos.

Como se puede ir apreciando tras el análisis de los distintos tipos de representaciones, el tipo de representación y su correspondiente modelo utilizado dependerán también del LoD sobre el que se quiera mostrar los objetos. Para un LoD 0 bastaría con un modelo tipo grid o un TIN. Conforme se va aumentando el LoD tendríamos que ir adaptando el modelo a b-Rep hasta llegar al LoD 4, en el que podríamos combinar TEN para aquellos elementos irregulares con CSG para aquellos elementos regulares (sobre todo en entornos urbanos).

Modelo de datos	LoD 0	LoD 1	LoD 2	LoD 3	LoD 4
Grid	X	X	-	-	-
Shape models	-	-	-	-	-
Facet models	X	X	-	-	-
b-Rep	-	X	X	X	-
array 3D	X	X	-	-	-
octree	X	X	-	-	-
CSG	-	-	-	X	X
TEN	X	X	X	X	X

Fig. 4.13. Tabla comparativa entre modelos de datos 3D y LoD. Elaboración propia.

4.4 LA TOPOLOGÍA EN LOS MODELOS TRIDIMENSIONALES

4.4.1 DIFERENCIAS ENTRE MODELOS TOPOLÓGICOS 2D Y 3D

La descripción de las relaciones espaciales cualitativas entre los objetos (análisis topológico) es fundamental en la modelización de la distribución de objetos en el espacio, ya que supone una buena aproximación a la conceptualización humana.

El análisis topológico enriquece al propio sistema utilizado para modelizar objetos del mundo real. Si esta aseveración es válida para un modelo espacial euclidiano 2D, en mayor medida lo será para un modelo euclidiano tridimensional. Este argumento se aprecia fácilmente analizando una estructura arco-nodo sobre un elemento sin mucha complejidad, por ejemplo un edificio (Fig. 4.14). El análisis, tanto desde el punto de vista cualitativo como desde el

punto de vista cuantitativo es mucho mayor en un modelo 3D que en un modelo 2D.

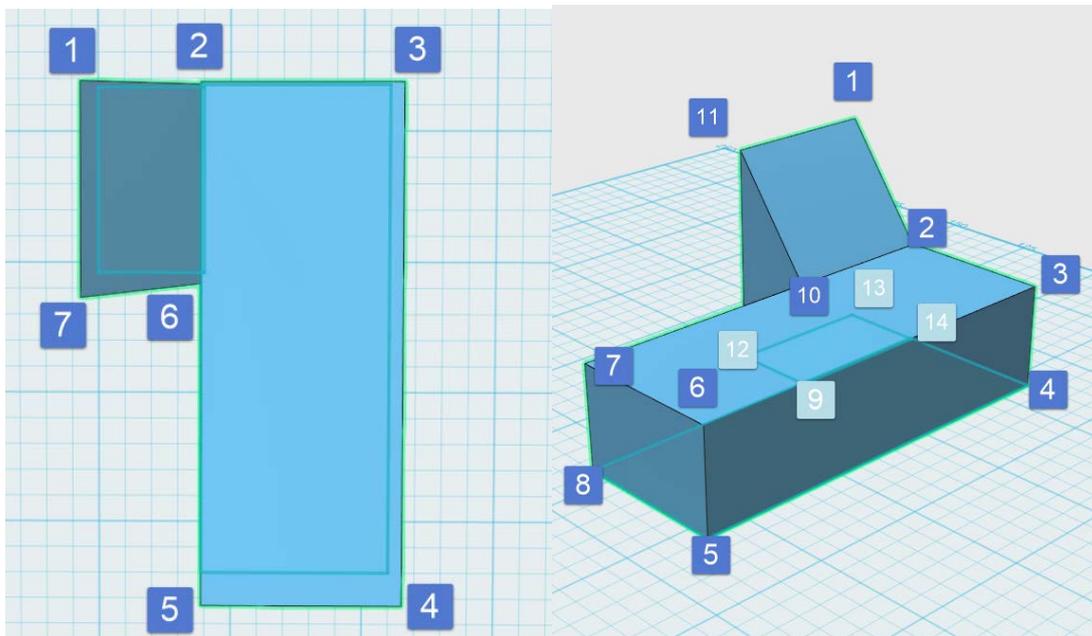


Fig. 4.14. Visualización de nodos en 2D y 3D. Elaboración propia.

Como puede apreciarse de la anterior figura, en un sencillo modelo hemos pasado a duplicar el número de nodos cambiando del modelo bidimensional al modelo tridimensional. En el caso de los arcos pasamos de 7 en el modelo 2D a 21 en el modelo 3D, en este caso el triple. Si continuamos analizando nos encontramos con que tenemos 2 caras en el modelo 2D y en el modelo 3D pasamos a 11 caras. De una sencilla manera podemos establecer una relación entre los distintos modelos euclidianos y las relaciones entre puntos, líneas, caras y cuerpos (Kurata, Y. 2008). Como puede apreciarse de la siguiente figura (Fig. 4.15), el número de posibles relaciones entre distintos elementos se incrementa notablemente conforme vamos aumentando el número de dimensiones. Es más, como resulta lógico, sólo se pueden analizar determinadas relaciones exclusivamente en un modelo euclidiano 3D.

Relación	R ¹	R ²	R ³
Punto - Punto	2	2	2
Punto - Línea	3	3	3
Punto - Cara	-	3	3
Punto - Cuerpo	-	-	3
Línea - Línea	8	33	33
Línea - Cara	-	19	31
Línea - Cuerpo	-	-	19
Cara - Cara	-	8	44
Cara - Cuerpo	-	-	19
Cuerpo - Cuerpo	-	-	8

Fig. 4.15. Relaciones topológicas en distintos espacios euclidianos. Elaboración propia.

Como puede apreciarse las relaciones topológicas aumentan conforme aumentamos las dimensiones de nuestro modelo. Esto es así porque además de incorporar los posibles análisis topológicos de un modelo 2D, incorporamos los análisis de un modelo 3D en los que aparecen relaciones tan importantes como las relaciones de contacto (Kurata, Y. 2010). Todo esto provoca que algunas disciplinas técnico-científicas sólo encuentren solución a sus necesidades de gestión y análisis espacial en un espacio euclidiano tridimensional (Abdul-Rahman, A. y Pilouk, M., 2008).

Los anteriores argumentos reafirmarían una de las hipótesis de trabajo ya planteadas: las IDE 3D son realmente necesarias para dar solución a una serie de problemas que se plantean a corto/medio plazo en relación con distintas áreas técnico-científicas.

4.4.2 MODELOS TOPOLÓGICOS 3D

Desde los inicios de los SIG, se han desarrollado muchos estudios sobre las distintas relaciones topológicas. Estudios como los de Egenhofer (Egenhofer M.J. y Herring, J.R., 1990), Randell (Randell, D.A. et al., 1992) o Zlatanova (Zlatanova et al., 2002) tuvieron mucha repercusión en el desarrollo del análisis topológico. Inicialmente estos estudios se desarrollaron en un espacio euclidiano 2D. Prácticamente casi todos los modelos proponen en este tipo de espacios ocho tipos distintos de relaciones topológicas: separación, encuentro, superposición, cobertura, cobertura por, contención, inclusión, igualdad.

Sin embargo, tales relaciones topológicas fallan cuando se aplican a objetos físicos, simplemente porque generalmente se trata de sólidos. Ante esta situación es necesario replantearse las relaciones topológicas en un espacio euclidiano 3D. En este tipo de espacios los modelos topológicos documentados pueden subdividirse en dos grandes grupos (Zlatanova et al., 2002):

- Modelos topológicos 3D con representación explícita de objetos.
- Modelos topológicos 3D con representación explícita de las relaciones

La diferencia fundamental entre el primer grupo de modelos y el segundo estriba en que en el primero la mayoría de las relaciones entre los objetos tienen que derivarse, mientras que en el segundo grupo, es la propia representación de los objetos la que tiene que derivarse. A continuación se describirán los principales modelos topológicos de cada grupo, interrelacionándolos con los modelos de datos ya comentados.

Modelos topológicos 3D con representación explícita de objetos

- **Estructura formal de Datos (3D FDS):** la primera estructura de datos que considera al objeto espacial como una integración de propiedades geométricas y temáticas. El modelo consta de tres niveles fundamentales: características (entendida como la clase temática a la que pertenece un

objeto), tipo de objeto (punto, línea, superficie y cuerpo) y primitivas (nodo, arco, cara y borde).

- **Red Tetraédrica (TEN):** introducida por Pilouk (Pilouk, M. y Tempfli, K. 1994). An object-oriented approach to the Unified Data Structure of DTM and SIG. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 30, 672-679. para superar algunas dificultades de 3D FDS en el modelado de objetos con límites irregulares (formas geológicas, nubes de contaminación, etc.). Del mismo modo, TEN tiene cuatro primitivas (tetraedro, triángulo, arco y nodo).
- **Modelo Espacial Simplificado (SSS):** diseñado para servir aplicaciones orientadas a la web con muchos elementos irregulares. En este caso las primitivas son nodos y caras.
- **Modelo de Datos Urbanos (UDM):** representa la geometría de un cuerpo o una superficie mediante caras planas convexas. Cada cara es definida por un conjunto de nodos. La primitiva arco no está soportada pero puede definirse implícitamente por dos nodos sucesivos. Modelo sencillo y óptimo para grandes extensiones pero sin posibilidad de análisis complejos.
- **Modelos orientados a objetos:** Los modelos mencionados anteriormente se planifican sobre una BB.DD. relacional, menos apropiado para describir objetos del mundo real. En este modelo, Abdul-Rahman utiliza el modelo FDS desarrollando los objetos espaciales basados en TIN 3D en un entorno orientado a objetos. El modelo continúa con cuatro primitivas espaciales (nodo, línea, superficie y sólido).

Modelos topológicos 3D con representación explícita de las relaciones

Introducido por Brisson en 1990 (Brisson 1990) y ampliado por Pigot (Pigot, S. 1995) más tarde, se denomina habitualmente modelo de tupla. Una tupla es una lista ordenada de elementos o celdas y se define mediante la construcción de un par ordenado. Las tuplas suelen anotarse listando sus elementos entre paréntesis. En estos modelos, cualquier objeto espacial se puede describir como

Hacia un modelo real de la Información Geográfica

un conjunto de tuplas de 3 celdas, 2 celdas, 1 celda y 0 celdas, es decir, la representación de las células está implícita. Desde el punto de vista de la construcción, el modelo permite que las células tengan una forma arbitraria. De esta forma, se establecen las relaciones explícitamente. Se trata de un modelo que por su representación explícita es muy utilizado en química, medicina, etc. (Fig. 4.16) (García-Jacas, C. R. et al., 2016).

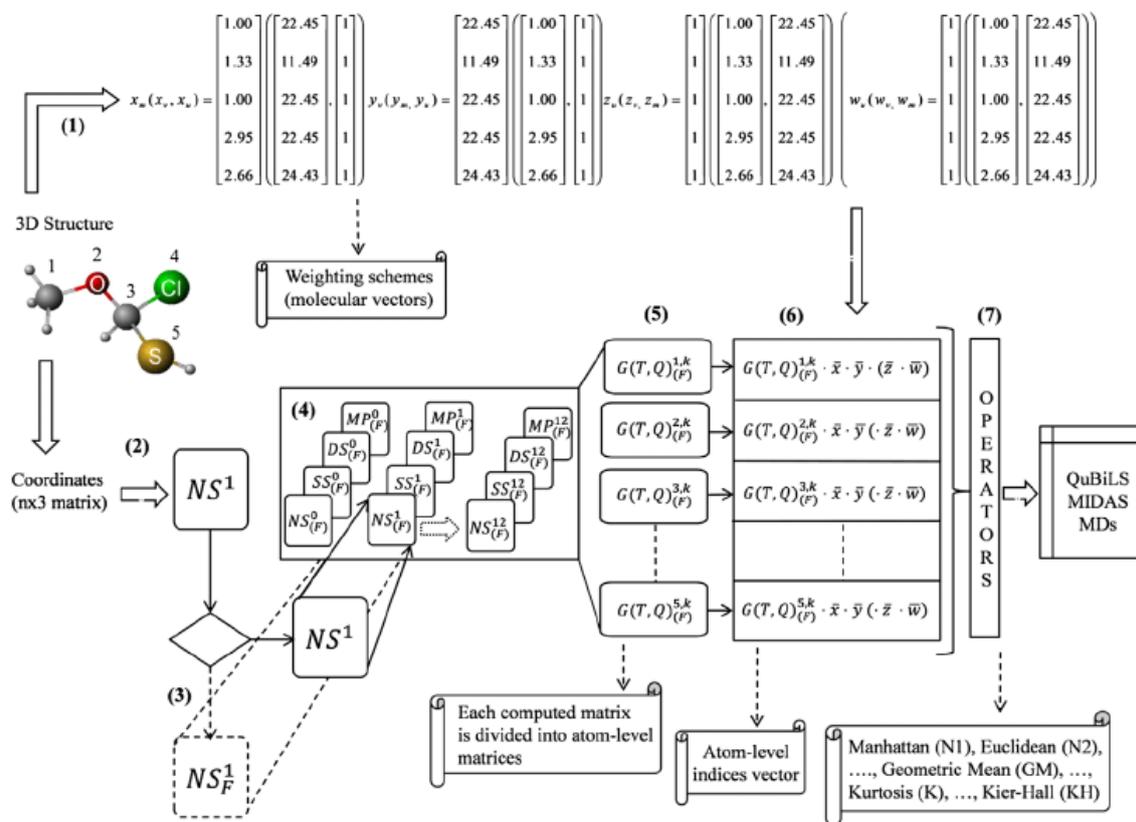


Fig. 4.16. Esquema de un modelo de n-tuplas (García-Jacas, C. R. et al., 2016).

No se puede decir que un modelo sea mejor que otro. Las diferencias fundamentales entre estos tipos de modelos los hace, desde un punto de vista práctico, más convenientes para un tipo de LoD o para un tipo de modelo geográfico determinado. Unos son más útiles para modelos con elementos irregulares (LoD a nivel regional y con temáticas medioambientales), mientras que otros lo son más para modelos con objetos regulares (modelos urbanos).

4.5 TECNOLOGÍAS DE CAPTURA Y OBTENCIÓN DE IG TRIDIMENSIONAL.

Una vez que se han analizado los distintos tipos de modelos geométricos y las relaciones topológicas de los mismos, es momento de analizar las distintas fuentes de obtención de IG. De lo que se trata es de identificar las tecnologías de obtención de IG y relacionarlas con el posible modelo geométrico capaz de trabajar con ella. Se trata, por tanto del paso de la realidad a cómo queremos representar y modelizar posteriormente esa realidad.

Se pueden establecer distintas metodologías en función de distintos factores como:

- Cobertura
- Metodología de adquisición
- Adquisición directa o de manera derivada
- Valor semántico de la información

4.5.1 TECNOLOGÍAS EN FUNCIÓN DE LA COBERTURA

En este sentido, podemos hablar de tecnologías de obtención de gran cobertura y tecnologías de obtención de cobertura reducida. La diferencia fundamental entre ambas es, meramente, respecto de la superficie cubierta en la adquisición. Entre las primeras estarían los sistemas SAR, LiDAR, fotogramétricas, ecosondas, mobile mapping, etc. Entre las segundas nos encontramos escáner-láser de trípode, estaciones fotogramétricas de trípode, estaciones totales, etc. El rango de alcance del método es el elemento diferenciador.

Continuando con el tratamiento según LoD y sin tener en cuenta el obsoleto concepto tradicional de escala, con los sistemas de amplia cobertura se puede llegar a obtener de manera relativamente automática LoD 0, 1 y 2. Con un menor grado de cobertura, es decir con plataformas de trípode, se podría llegar a obtener LoD 3 aumentando el grado de procesado.

Hacia un modelo real de la Información Geográfica

Cuanta mayor cobertura sea capaz de ofrecer la plataforma de adquisición de I.G., menor será el LoD conseguido. Los altímetros RaDAR, las plataformas SAR, las ecosondas multieco, etc. plataformas de gran capacidad de cobertura, permiten obtener casi de manera instantánea LoD 0 (Fig. 4.17 izquierda y derecha arriba).



Fig. 4.17. Arriba a la izquierda, SAR Sentinel 1 (<http://www.esa.int>). Arriba a la derecha, Buque Oceanográfico Sarmiento de Gamboa (<http://www.csic.es>). Abajo, plataforma fotogramétrica Aerocomander AC-690 (<http://aerodata-surveys.com/>).

De manera análoga pero con menos grado de automatización y con menor capacidad de cobertura, las plataformas fotogramétricas aerotransportadas son capaces de obtener también LoD 0 y, dependiendo de la altura de vuelo y de la precisión de la captura se puede llegar a LoD 1 (Fig. 4.17 abajo).

Hacia un modelo real de la Información Geográfica

En plataformas aerotransportadas de baja altura de vuelo, con mucho menor capacidad de cobertura, tanto con LiDAR como con fotogrametría es posible obtener LoD 2 (Fig. 4.18).



Fig. 4.18. Izquierda, dron con LiDAR aerotransportado (Phoenix Aerial). Derecha, dron fotogramétrico (Trimble)

Finalmente, con mucha menor capacidad de cobertura pero con precisión como para llegar a LoD 3 con relativa automatización existen las plataformas sobre trípode de escáner-láser y fotogramétricas (Fig. 4.19)



Fig. 4.19. Izquierda, escáner láser (Faro Focus 3D). Derecha, sistema fotogramétrico de trípode (Trimble V10)

4.5.2 TECNOLOGÍAS EN FUNCIÓN DE LA METODOLOGÍA DE CAPTURA

Dependiendo de la tipología de técnica utilizada disponemos de dos grandes grupos:

- Tecnologías activas, como el SAR, LiDAR, escáner-láser, ecosondas, etc.
- Tecnologías pasivas, como los fotogramétricos aerotransportados o de trípode.

La gran diferencia entre estos dos grupos estriba en el trabajo con puntos o con píxeles. Las tecnologías activas son las que proporcionan nubes de puntos de gran envergadura, mientras que las pasivas obtienen distribuciones de fotogramas con un gran número de píxeles. Estas tecnologías de captura permiten, por ejemplo en el caso de las activas, obtener directamente modelos tipo grid ya comentados. Sin embargo, la obtención de este tipo de modelos no es tan directa en el caso de las tecnologías pasivas, que necesitan una serie de algoritmos matemáticos (fotogramétricos) para obtener modelos tipo grid.

Así las cosas, en ambos métodos sería necesario el concurso de algoritmos de triangulación o teselación para pasar de un modelo discreto (grid) a un modelo continuo (TIN o TEN, por ejemplo). Nos encontramos ante dos grandes metodologías de captura de información, totalmente diferenciadas, pero que convergen en el hecho de que ambas proporcionan la base de los modelos tridimensionales continuos a partir de enormes nubes de puntos (Fig. 4.20).

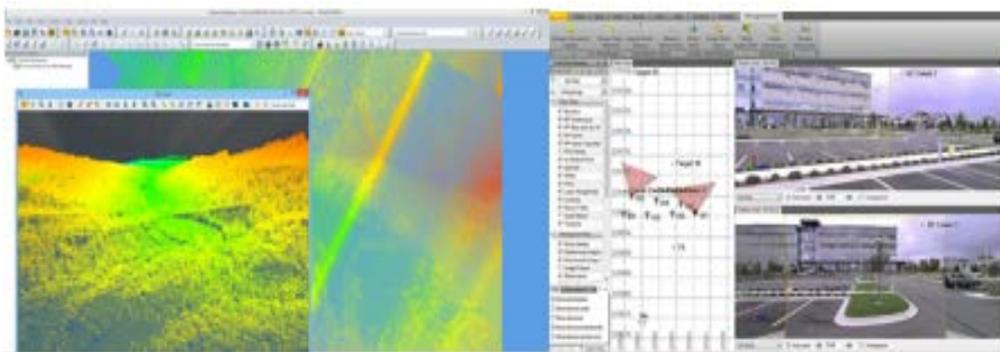


Fig. 4.20. Izquierda, tratamiento de puntos (Global Mapper). Derecha, tratamiento de píxeles (Trimble Business Center). Elaboración propia.

En numerosas investigaciones desarrolladas a cabo sobre el tratamiento y obtención de grandes nubes de puntos, (Kersten, T. et al., 2015) (Zhai, R.2015), se constata que tanto los métodos de adquisición como los algoritmos de tratamiento y obtención de nubes de puntos se están “democratizando” de tal manera que resulta relativamente factible la obtención de modelos 3D con cualquiera de las tecnologías de captura.

Un ejemplo de lo anterior sería la estructura de datos TEN de Pointcaré (Penninga, F. y van Oosterom, P., 2008), que permite basar sobre una BB.DD. con topología, en este caso se trataba de Oracle Spatial, una compleja y sólida base matemática. Como ejemplo, una estructura de modelo de ciudad con algo menos de 200.000 tetraedros y nodos, quedaría modelizado en una tabla en escasos 15 Mb, estructura fácilmente construible y manejable.

Otro ejemplo de lo anterior sería la aplicación para la obtención automática de las redes de drenaje a partir de triangulaciones de alto-orden de Delaunay (Biniaz, A. y Dastghaibifard, G., 2008). La triangulación de Delaunay es una buena forma de modelizar las redes de drenaje con respecto a otros algoritmos, con mejoras del 16%, sobre algoritmos conocidos. Los algoritmos para conocer este tipo de modelos son bien conocidos y, a nivel computacional, no suponen un “coste” excesivo para los resultados que generan.

Además de lo citado anteriormente, se puede observar un claro proceso de “convergencia” tanto en lo que se refiere tanto a la algorítmica como a precisiones obtenidas (Kersten, T. et al., 2015).

En esta contribución se muestra el hecho de que al lado de los escáneres láser terrestres utilizados como tecnología estándar para la grabación en 3D, también los sistemas basados en cámaras de bajo costo son capaces de grabar y generar datos 3D de objetos grandes, con errores medios cuadráticos de 2 cm, respecto de las medidas láser, dependiendo del software utilizado.

4.5.3 TECNOLOGÍAS EN FUNCIÓN DE LA ADQUISICIÓN DIRECTA O DERIVADA

Además de lo anterior, podemos tener en cuenta la diferenciación de la tecnología si de lo que estamos hablando es de una adquisición directa de toma o si la creación de la información se hace de forma derivada de una información ya existente.

Los métodos directos utilizan distintas arquitecturas electrónicas, ópticas, físicas o combinaciones de ambas para obtener datos directos del mundo real. Los métodos derivados utilizan de manera conjunta la manipulación humana como distintos algoritmos con mayor o menor grado de automatización para obtener la IG tridimensional. En este último grupo incluimos también la IG tridimensional de tipo discreto existentes en algunos bancos de datos

Los modelos de datos tridimensionales, como las nubes de puntos, grids, TIN, etc. son un ingrediente esencial pero, no siempre disponible, para la construcción de modelos de IG en 3D. Por todo ello, en los últimos años se están desarrollando importantes esfuerzos en la investigación (Biljecki, F. et al., 2017) sobre metodologías y protocolos para poder generar modelos continuos en 3D, partiendo únicamente de datos 2D y/o 3D discretos (SIG, CAD, BIM, etc.).

En el caso de datos 2D, la idea es, de alguna manera, “predecir” la altura de los objetos a partir de datos 2D (atributos disponibles, datos catastrales), y, posteriormente, extruir los bordes 2D para obtener modelos 3D (Fig. 4.21) (Biljecki, F. et al., 2017).

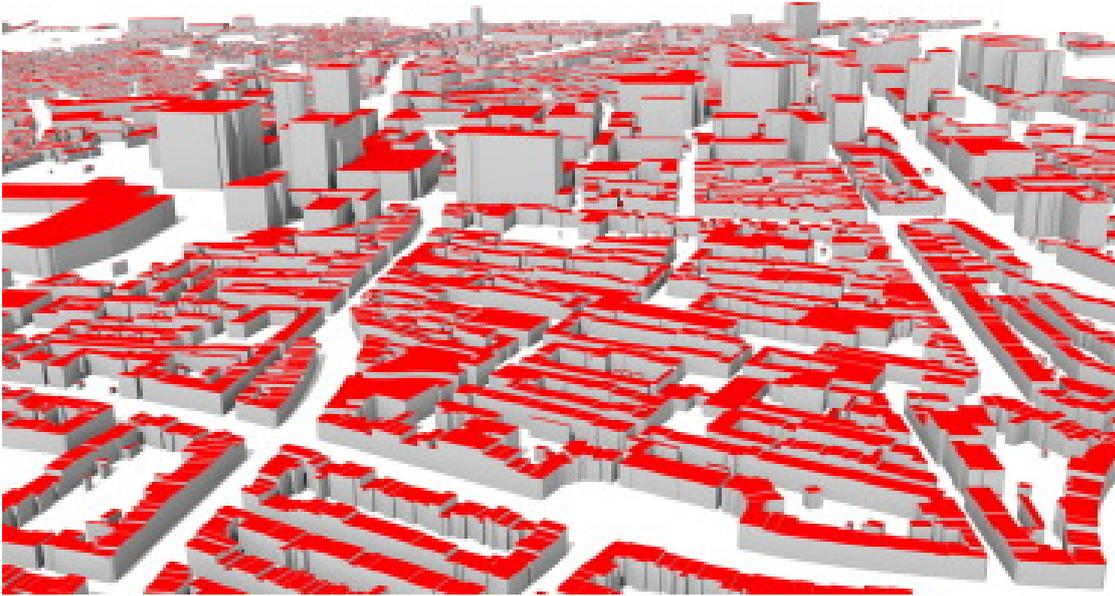


Fig. 4.21. Modelo 3D a partir de 2D y datos alfanuméricos ((Biljecki, F. et al., 2017).

En este tipo de investigaciones se utilizan técnicas de aprendizaje automático utilizando atributos diferentes y sus combinaciones, que reflejan diferentes escenarios que completan los datos del mundo real. Los resultados preliminares permiten obtener un error absoluto medio de 0,8 m en las alturas inferidas a partir de datos 2D, lo que satisface las recomendaciones de precisión de CityGML para los modelos LoD1 y las necesidades de análisis SIG más usuales.

En el caso de los datos discretos 3D, la idea es la extracción rápida de una nube de puntos coherente con el modelo discreto. En este caso se trata de utilizar algoritmos que no sólo trabajan con coordenadas X, Y, Z para triangular. En este caso se utilizan además distintos atributos de los elementos que contribuyen con su geometría para obtener los modelos 3D. A la hora de desarrollar los distintos modelos de TEN o 3D TIN, el algoritmo tiene que ser capaz de trabajar con datos geométricos y alfanuméricos para, de esta manera, obtener una triangulación coherente sin errores de triángulos que unen vértices de elementos diferentes desde el punto de vista temático (Fig. 4.22).



**Fig. 4.22. Modelo 3D a partir de vectores 3D y datos alfanuméricos (goshtTown).
Elaboración propia**

4.5.4 TECNOLOGÍAS EN FUNCIÓN DEL VALOR SEMÁNTICO

Otro elemento diferenciador de la tecnología de obtención de IG 3D es el valor semántico de la información obtenida. En este sentido es necesario diferenciar si la información obtenida dispone, o no, de valor semántico. Así pues tenemos tecnologías de creación de IG con valor semántico y tecnologías de creación de IG sin valor semántico. La gran diferencia entre una y otra es la capacidad de la misma de devolvernos IG discretizada desde el punto de vista semántico, es decir, si la tecnología es capaz de ofrecernos algún tipo más de información, además de su geometría, relacionada con su naturaleza, temática, etc.

Hasta ahora, de las diferentes tecnologías mencionadas, sólo aquellas que realizan la adquisición a partir de datos derivados, son capaces de obtener este tipo de información semántica, ya que por su naturaleza, se apoyan en datos semánticos para generar el propio modelo 3D.

Hacia un modelo real de la Información Geográfica

En el caso de las tecnologías de adquisición directa, lo que se tiene son modelos 3D “brutos”, sin ningún tipo de valor semántico. Sin embargo, se están desarrollando interesantes investigaciones sobre algoritmos para la identificación de elementos semánticos a partir de estos modelos 3D “brutos” (Zhai, R., 2015). Este tipo de algoritmos permite, de manera automática, discriminar una serie de elementos bien definidos e identificables (Fig. 4.23) desde el punto de vista semántico (paredes, suelos, ventanas, puertas, etc.) (Krispel, U. et al, 2015).

Los LoD obtenidos con este tipo de técnicas y modelos pueden llegar hasta el nivel 3, con las precisiones que se recomiendan desde el OGC para este tipo de niveles.

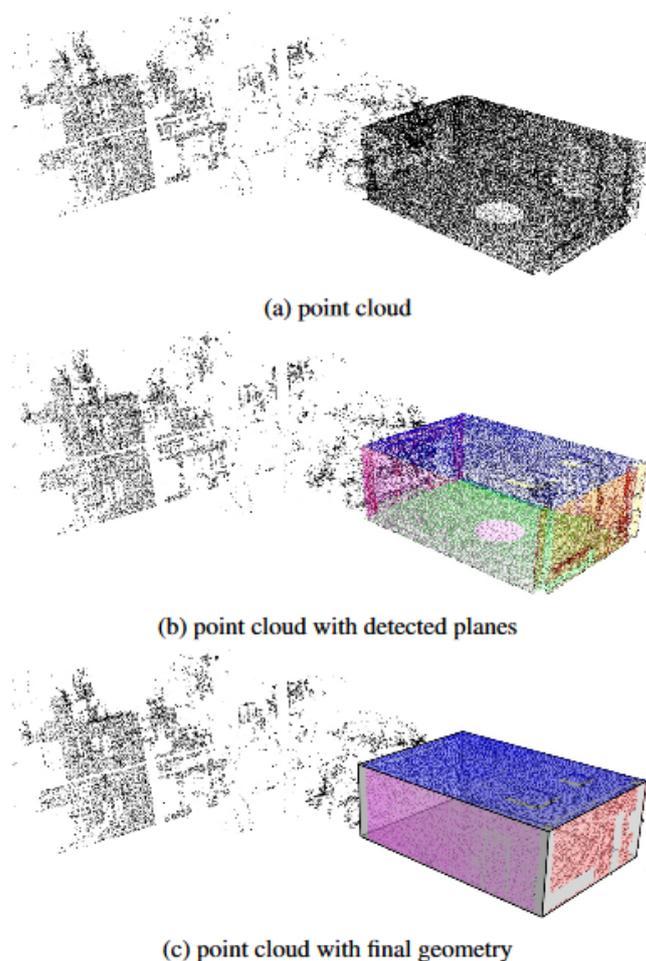


Fig. 4.23. Detección automática de elementos semánticos (Krispel, U. et al, 2015)

Hacia un modelo real de la Información Geográfica

En este punto también es necesario citar aquellas ramas tecnológicas que son capaces de aportar directamente modelos 3D, perfectamente elaborados desde el punto de vista semántico, como el CAD 3D y, sobre todo los BIM. En este sentido, ambas tecnologías son capaces de generar modelos 3D semánticos con la suficiente precisión como para ser visualizados a un LoD 4 (El-Mekawy, M., 2010).

En esta interesante sinergia entre los BIM y las IDE podemos diferenciar dos tipos distintos de modelos tridimensionales de ciudad, los modelos de diseño y los modelos del mundo real. Los primeros se utilizan generalmente para los propósitos de la industria de la construcción y para cumplir con los requisitos de un nivel máximo de detalle en la industria de la arquitectura, la ingeniería y la construcción. Los modelos del mundo real, sin embargo, son sistemas de información geoespacial que representan objetos espaciales ampliamente representados en aplicaciones SIG. Los esfuerzos de investigación en la industria de la construcción dieron como resultado los BIM, modelos que soportan la gestión de la información a lo largo del ciclo de vida de los edificios.

Los resultados de diferentes esfuerzos de integración de BIM e IDE muestran que sólo la información geométrica en 3D no cumple el propósito de integración y puede conducir a la inconsistencia geométrica. Se requiere más información semántica compleja (Fig. 4.24).

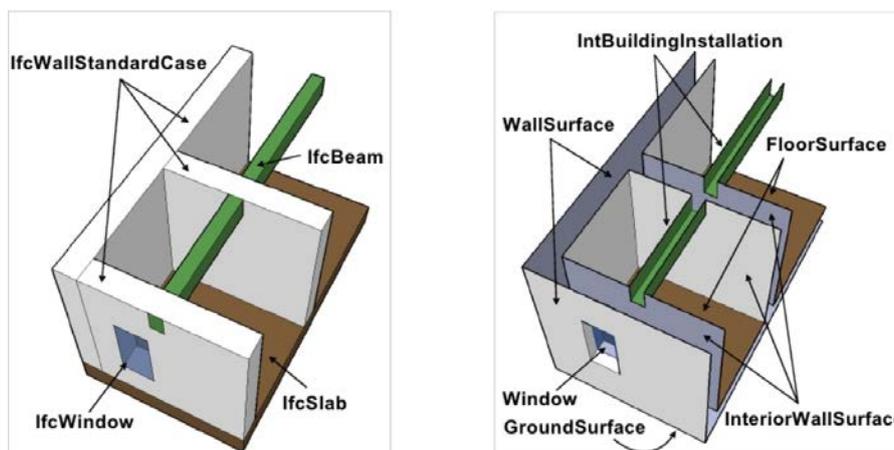


Fig. 4.24. Modelo BIM, IFC (izquierda). Modelo IDE, CityGML (derecha) (Thomas H. Kolbe)

En la anterior figura puede observarse que no es posible una integración directa de un modelo BIM (en este caso IFC) en un modelo IDE (CityGML), ya que mientras los primeros tienen una clara orientación a la diferenciación volumétrica de elementos, los segundos tienen una clara orientación a la diferenciación de elementos por sus bordes o superficies de separación.

Viendo una clara línea convergente entre ambas tecnologías se han desarrollado interesantes medios para crear trasvases de información directa entre modelos BIM y modelos IDE, como GeoBIM (van Berlo, L. y de Laat, R., 2011), o CityGML extension for BIM IFC, dotando de información semántica a los modelos IDE, pudiendo así, conseguir un LoD 4.

Tras esta compleja diferenciación de las distintas metodologías de obtención de IG tridimensional, se podría resumir mediante la siguiente figura dichas metodologías en relación con la precisión, los LoD, los automatismos necesarios y la superficie abarcable por los mismos (Fig. 4.25).

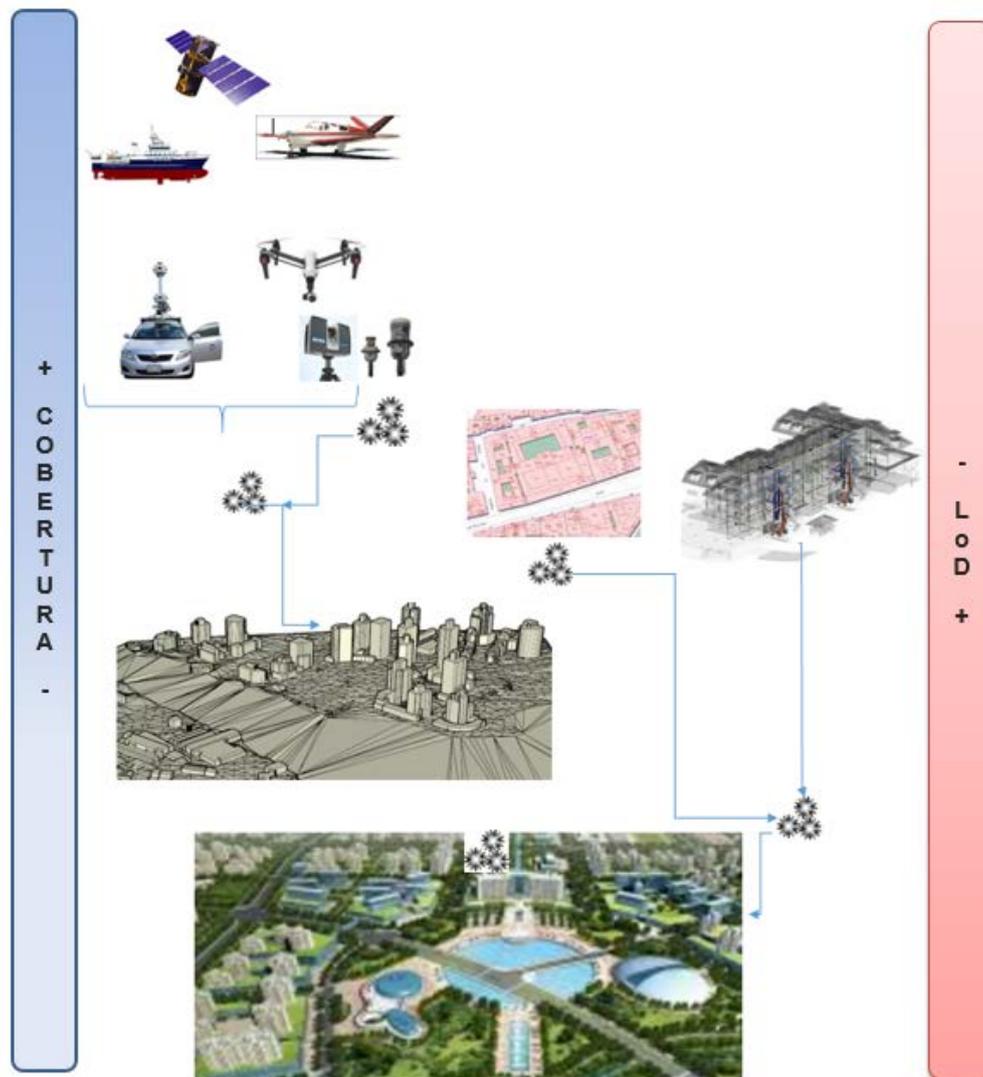


Fig. 4.25. Distintos métodos de obtención de IG 3D. Elaboración propia

4.6 HERRAMIENTAS PARA LA GESTIÓN DE LA IG TRIDIMENSIONAL. FORMATOS

Hasta el momento se han comentado las distintas tipologías de modelos, topologías, metodologías de adquisición, etc. relacionados con la IG tridimensional. En este apartado se tratarán las distintas herramientas para la gestión de las mismas.

Como ya se ha tratado hasta ahora, los modelos 3D son ya considerados como un recurso muy importante para la planificación y la toma de decisiones a

Hacia un modelo real de la Información Geográfica

distintos niveles geográficos y sobre distintas temáticas. Para ello, disponemos de distintas opciones en cuanto a software para poder gestionar este tipo de modelos (Valencia, J. et al., 2015). De todas estas opciones podemos discriminar dos grandes grupos. Por un lado las herramientas gráficas con modelos de datos propietarios. Por otro lado disponemos de herramientas de gestión de BB.DD. capaces de gestionar la IG tridimensional.

4.6.1 HERRAMIENTAS GRÁFICAS CON MODELOS DE DATOS PROPIETARIOS

Las opciones comerciales más utilizadas son CityEngine, de Esri, Infrastructure Design Suite, de Autodesk, Bentley Map, de Bentley y GeoMedia 3D de Hexagon Geospatial.

Estas herramientas tienen una serie de opciones principales que las hacen muy versátiles para gestionar este tipo de modelos. Inicialmente hay que cargar la información de la ciudad o del territorio que se quiera modelizar (DTM, BIM, CAD, 3D models, etc.) que posteriormente se irá completando con el resto de elementos que conformarían el modelo (mobiliario urbano, vegetación...). Finalmente se incorporan elementos estéticos relativos a la iluminación y el ambiente (Fig. 4.26).

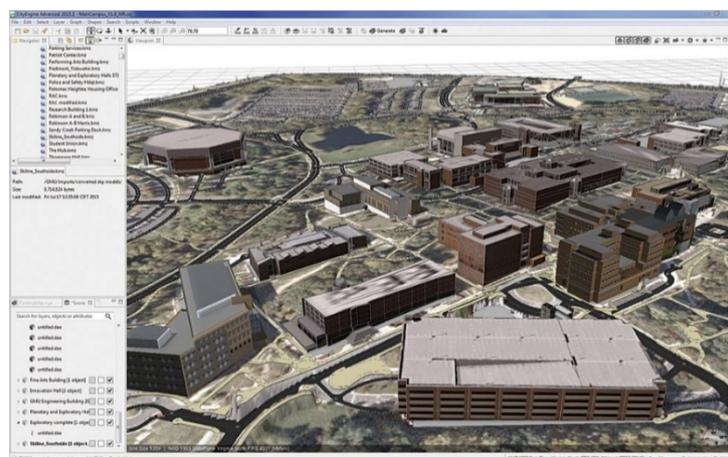


Fig. 4.26. Ejemplo de proyecto MyCampus de Esri City Engine (Esri.com).

Hacia un modelo real de la Información Geográfica

Estos modelos no sólo se pueden analizar bajo estas plataformas, también permiten ser compartidos a través de distintos métodos o lenguajes de exportación. Su función principal es permitir ver bajo cualquier punto de vista una ciudad o un territorio, tanto para evaluar su estado actual como su posible estado futuro a través de proyectos a acometer, para ayudar a la toma de decisiones.

Interactúan muy bien con la mayor parte de las tipologías de información geográfica susceptibles de trabajar con información tridimensional y permiten, de una manera muy intuitiva, la obtención de los modelos 3D. Sin embargo, la obtención de un exhaustivo modelo de una ciudad, con un alto grado de realismo y con un nivel de detalle elevado puede llegar a ser una tarea muy costosa en tiempo y en recursos. En la figura 4.27 se hace una comparación cualitativa de la funcionalidad de los programas citados.

Funcionalidad	Esri	Autodesk	Bentley	Geomedia
Importación de CAD y SIG	●●●	●●●	●●●	●●
Soporte de GeoDBMS	●●●	●●●	●●●	●●●
Herramientas de edición	●●	●●●	●●●	●●
Modelado 3D y texturas	●●●	●●●	●●	●●●
Modo Terreno y Mapas	●●●	●●●	●●●	●●●
Soporte de formatos básicos 2D y 3D	●●●	●●	●●	●●●
Interacción con OpenStreetMap	●●●	○	○	○
Escenas Web 3D	●●●	○	○	○
KML Support	●●●	●●●	●●●	●●●
Soporte CityGML	●●●	●●●	●●	●●

Librerías 3D	●●●	●●●	●●●	●
Soporte avanzado de formas 3D	●●	●●●	●●	○
Análisis 3D	○	●●	●	●●●
Navegación 3D	●●●	●●	●●●	●●●
Interacción BIM	●	●●●	●●●	●
Vuelos virtuales	●●	●●	●	●●
Interface para scripting	●●●	●●	●	●
Simulación	●●●	●●●	●●	●●

Fig. 4.27. Comparación cualitativa de funcionalidad de software de gestión de modelos 3D (○: no, ●: mala, ●●: regular, ●●●: buena). Elaboración propia

Otro tipo de herramientas parecidas que poco a poco se van incorporando al mercado tienen similares características pero interactúan algo peor con las distintas fuentes de información geográfica, ofreciendo un menor rango de posibilidades a la hora de cargar información inicial. Ejemplos de este tipo de herramientas son RCP, de VirtuelCity o DbMAP Flyer 3D, de Abaco.

Hasta ahora todos los software citados son software de escritorio pero existe también otra tipología de software muy interesante desarrollado sobre plataformas en la nube. Un ejemplo de este tipo de software, para la gestión de la componente geoespacial de Smart Cities, es 5D Smart City y es un software basado en la nube para crear y gestionar modelos 3D de ciudades.

Estos tipos de herramientas, totalmente orientadas a la visualización de la IG tridimensional desde un punto de vista realista, utilizan siempre modelos de almacenamiento propietarios. Cada herramienta dispone de su propio modelo. Pero por lo general, sí que permiten exportar a modelos de intercambio

tridimensional, en ocasiones estandarizados (CityGML, JSON) y, en otras ocasiones no estandarizados pero sí muy utilizados.

4.6.2 HERRAMIENTAS DE GESTIÓN DE BB.DD. PARA IG TRIDIMENSIONAL.

La tecnología de indexación espacial es ampliamente utilizada en SIG y BB.DD. espaciales (van Oosterom et al., 2008). Como tecnología de recuperación de datos, la indexación espacial es cada vez más importante en la era de los BIG Data. Por este y otros motivos, como se ha podido ver en el apartado sobre topología, las herramientas basadas en BB.DD. suponen una nueva perspectiva de trabajo con los grandes modelos de datos espaciales tridimensionales.

Sobre este respecto, los sistemas de gestión de BB.DD. espaciales para IG tridimensional, existen tres importantes desarrollos. Por un lado Oracle 3D Spatial Engine, por otro PostGIS y, finalmente 3D City DB.

Como ya se ha comentado anteriormente, estos tres desarrollos suponen un avance importante hacia el desarrollo futuro de IDE 3D, ya que permiten abordar el almacenamiento, gestión y análisis de elementos geométricos tridimensionales dentro de una misma BB.DD. facilitando así la labor de gestión centralizada de la IG en una única plataforma y de forma totalmente indexada.

Si tenemos claro que la gestión de datos es el núcleo de una IDE, esas necesidades aumentan en el caso de modelos tridimensionales. Por lo tanto, como núcleo de una IDE 3D, es necesario una potente BB.DD. para administrar su información de manera eficiente (Zlatanova y Prospero, 2005).

En la mayoría de los casos citados, los objetos espaciales 3D se almacenan como poliedros. Esta primitiva es fácil de visualizar para los usuarios, se puede validar con bastante facilidad, ya que los algoritmos no son demasiado difíciles de implementar y resultan bastante realistas en su modelización. Cada poliedro tiene un conjunto de caras, que consisten en un conjunto de nodos ordenados.

Estos nodos apuntan a vértices (x, y, z). Esto significa que el modelo de datos es geométrico con topología interna, como ya se ha comentado en el apartado de topologías.

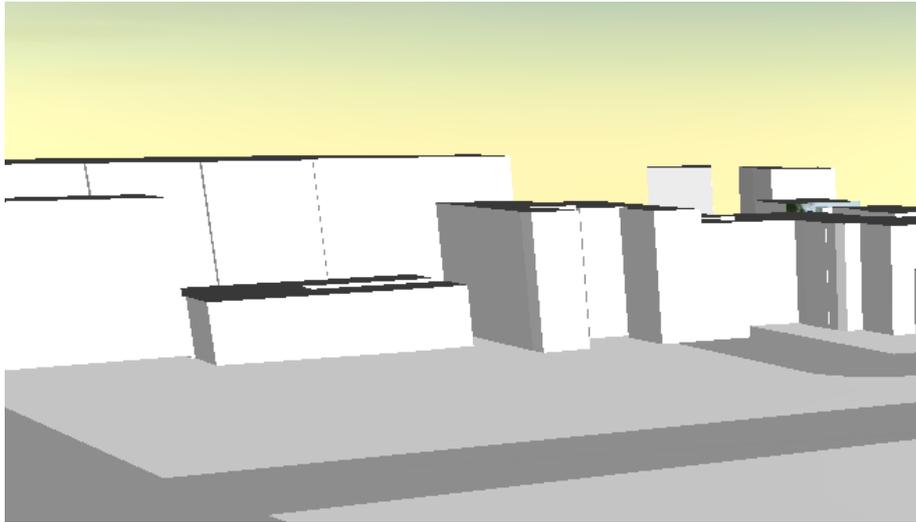


Fig. 4.28. Visualización de poliedros con PostGIS. Elaboración propia

El poliedro se almacena dentro del modelo de datos de Oracle, de PostGIS, etc. (Fig. 4.28). La validación se produce verificando si los poliedros se almacenan correctamente y después de comprobar cada característica geométrica de los mismos, básicamente que caras planas, deban unirse hasta completar un volumen. Para mejorar el rendimiento de las consultas, se establece un índice espacial en una tabla con cada poliedro. Distintos estudios han demostrado que es preferible crear un índice espacial 3D en lugar de un índice espacial 2D, para obtener el máximo rendimiento de la consulta (Arens, C. A., 2003).

También se ha demostrado que las funciones de BB.DD. espaciales (Oracle Spatial anterior a 11g y PostGIS anterior a 2.0) no son adecuadas para objetos 3D, ya que estas funciones trabajan con modelos euclidianos 2D. Sin embargo, las nuevas funciones desarrolladas a partir de las versiones mencionadas, con capacidad total para trabajar con elementos 3D (por ejemplo, área, volumen, punto en poliedro y cuadro delimitador), devuelven un valor realista.

Posteriormente, los poliedros gestionados en las BB.DD. espaciales se pueden visualizar en programas SIG y CAD o, incluso en visores desarrollados para ello (Fig. 3.5 y 3.6). Para ello, las soluciones aportadas pasan por exportar los poliedros multi-polígonos 3D.

En el caso de las grandes BB.DD. tridimensionales provenientes de fuentes como LiDAR se están desarrollando nuevos avances que contemplan otras tipologías de modelos tridimensionales, como el octree (SchöN, B. et al., 2013). Estos estudios presentan una forma más rentable, a efectos computacionales, de administrar datos 3D LiDAR mediante la implementación de un índice octree sobre Oracle Spatial 11g.

Tanto los sistemas de gestión de BB.DD. como los distintos modelos de indexación de la IG 3D han mejorado enormemente en los últimos años. Existen distintas plataformas con distintos modelos posibles de indexación capaces de gestionar y trabajar con grandes BB.DD. tridimensionales. A estos sistemas de gestión de BB.DD. se les están acoplando numerosas funciones que trabajan con primitivas gráficas y devuelven soluciones reales en un espacio euclidiano tridimensional.

Estas BB.DD. espaciales con capacidad para gestionar y manipular información tridimensional demuestran ser la mejor solución para trabajar de manera indexada con primitivas 3D, mejorando la capacidad de mantenimiento de los datos espaciales 3D y abriendo la puerta a aplicaciones de modelado mucho más realistas y rápidas.

4.7 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO

En este capítulo se ha tratado todo lo referente a las IDE 3D en lo que respecta a la adquisición y tratamiento de la IG tridimensional, los modelos geométricos utilizados, los modelos topológicos y las distintas metodologías de adquisición de las mismas. Del mismo modo se han tratado las herramientas más utilizadas para la gestión de este tipo de información, sus ventajas e inconvenientes.

Hacia un modelo real de la Información Geográfica

Por todo lo analizado hasta ahora se podría resumir que desde el punto de vista de la gestión interna de una IDE 3D existen las suficientes herramientas, modelos, formatos, etc. para poder ser desarrolladas.

Se están haciendo continuos avances para obtener información semántica a partir de grandes nubes de puntos y los sistemas de gestión de este tipo de información se manejan sin problemas desde sistemas comerciales desarrollados para visualizaciones realistas hasta sistemas de gestión de BB.DD. para manejos y accesos rápidos a las mismas.

Por todo lo anterior, se podría responder de manera afirmativa, desde el punto de vista de la gestión interna, a dos de las hipótesis de trabajo planteadas hasta el momento:

1. Las IDE 3D son realmente necesarias para dar solución a una serie de problemas que se plantean a corto/medio plazo en relación con distintas áreas técnico-científicas.
2. Aunque la evolución de una manera estandarizada y rápida no es sencilla, las IDE 3D son proyectos abordables gracias a los distintos desarrollos e investigaciones que se han abordado en los últimos años respecto a la tercera dimensión y la IG.

5 LAS IDE 3D DESDE EL PUNTO DE VISTA DE LOS METADATOS

5.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se van a abordar las distintas líneas de investigación y problemáticas asociadas a las IDE 3D desde el punto de vista de los metadatos. En este caso, como se argumentará en este capítulo, se ha constatado que para el desarrollo de una IDE tridimensional es uno de los eslabones más débiles de la cadena. Desde el punto de vista de los actores de una IDE, estaríamos hablando de la parte de definición de estándares.

Y, como ya se hizo en capítulos anteriores, si nos fijamos en el gráfico de Sebastian Benthall y Galen Evans (Fig. 3.2), en este capítulo el foco se va a centrar en los elementos resaltados bajo el marco rojo de la siguiente figura (Fig. 5.1)

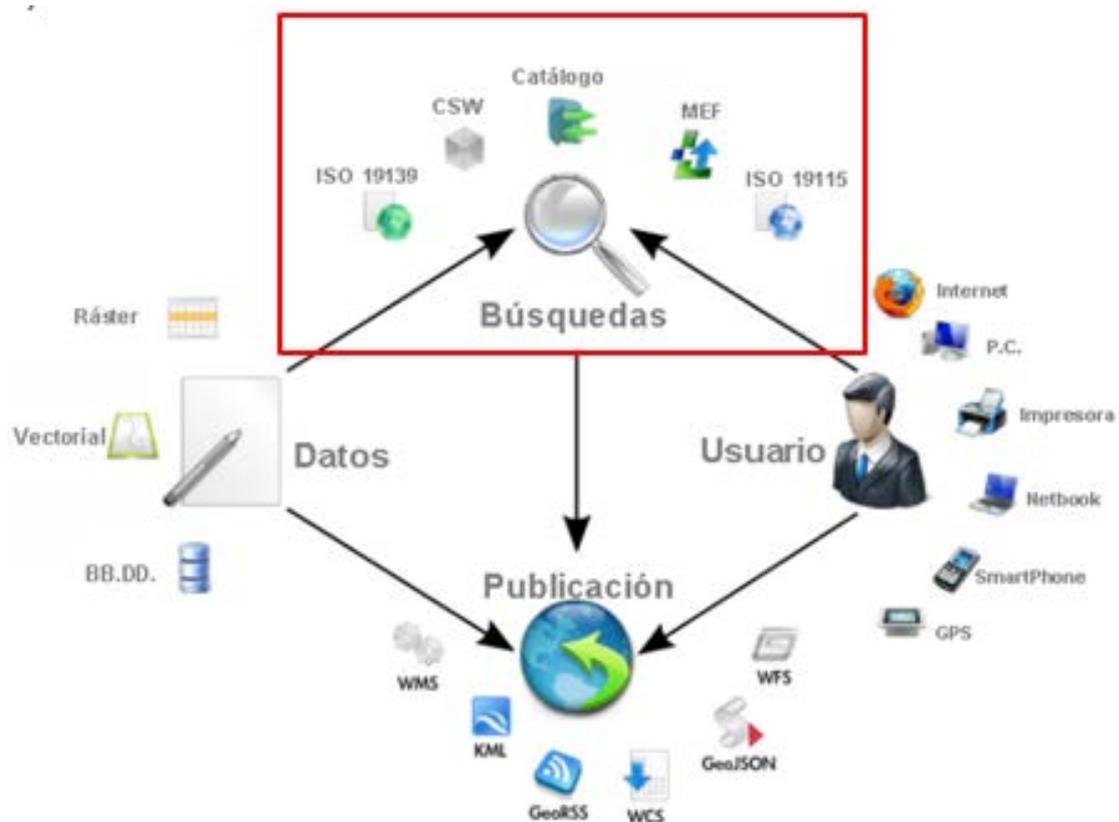


Fig. 5.1. Diseño de operatividad de una IDE desde el punto de vista de la gestión interna.

Figura adaptada de la Fig. 3.2 (Sebastian Benthall y Galen Evans).

El concepto de metadato (del griego μετα, meta, 'después de, más allá de' y latín datum, 'lo que se da', «dato»), en una traducción literal sería “sobre datos”, habitualmente definido como información o datos sobre otros datos, es un concepto anterior a la era de Internet. Sería lo análogo a los índices o códigos asociados a información y su finalidad original era la de servir de herramienta para localizar datos.

En el caso de las IDE, son una herramienta fundamental ya que posibilitan la creación de catálogos que, como ya se han definido con anterioridad en el capítulo 3, son unos servicios IDE imprescindibles para poder filtrar y buscar la información dentro de la propia infraestructura y constituiría el proceso de documentación de los datos y los servicios (Manso, M.A. et al., 2008).

El acceso a cualquier información (datos), distribuida por medio de buscadores Web especializados o por medios de servicios desarrollados específicamente para tal labor, obliga a que los datos estén clasificados y categorizados de una manera eficaz, lo que se consigue por medio de sus metadatos. Hasta no hace mucho, la creación de metadatos era algo residual ya que suponía un coste adicional para los productores de datos. Sin embargo, hoy día, en lo que a las IDE se refiere, siguiendo el criterio de interoperabilidad que tienen que tener éstas, son elementos indispensables para poder cumplir este criterio.

Los **objetivos** de los metadatos son:

- La **búsqueda** de conjuntos de datos: saber qué datos existen, qué datos hay disponibles de una cierta zona, de un tema determinado, a una escala, de una fecha o en general de unas características específicas que el usuario demanda.
- La **elección**: es decir, poder comparar distintos conjuntos de datos entre sí, de modo que se pueda seleccionar cuáles cumplen los requisitos del usuario de manera más adecuada para el propósito perseguido.
- La **utilización**: que consiste en describir las características técnicas de los datos, de la manera más objetiva, más amplia y completa, con la finalidad de permitir su explotación eficaz. Sirve de ayuda a los usuarios

de los datos tanto en la obtención de resultados como en su mantenimiento y actualización

Desde el punto de vista de integración en la IG, los metadatos pueden ser desarrollados de las siguientes maneras:

- **Incrustando los metadatos** dentro del propio documento, embebidos y codificados en la cabecera del documento.
- **Asociando los metadatos** por medio de archivos acoplados a los recursos a los que describen.
- **Metadatos independientes**, en un fichero separado, generalmente una base de datos mantenida por una organización

Y, como no podía ser de otra forma, el desarrollo y descripción de los metadatos, para que se puedan utilizar en un contexto de interoperabilidad, deben seguir unas normas de estandarización que, en el caso de la IG, son bien conocidas y aplicadas. En este sentido, en lo que respecta a estas normas de estandarización existen una serie de grupos de referencia a nivel internacional:

- El **Comité Técnico 211 ISO**, denominado “Geomática/Información Geográfica”, que ha desarrollado las normas:
 - **ISO 19115:2003**- Geographic Information Metadata¹. Esta norma queda reemplazada por la ISO 19115-1:2014- Geographic information -- Metadata -- Part 1: Fundamentals.
 - **ISO/TS 19139**-Geographic Information-Metadata -- XML schema implementation para la implementación de los metadatos como XML;
 - **ISO/CD 19115-2** Geographic information- Metadata-Part 2: Extensions for imagery and gridded data, para la descripción de recursos de información geográfica específicos.
 - **ISO/TS 19115-3:2016** Geographic information -- Metadata -- Part 3: XML schema implementation for fundamental concepts, que define una implementación XML integrada de ISO 19115-1, ISO 19115-2 y conceptos de ISO / TS 19139.

Hacia un modelo real de la Información Geográfica

- El **Comité Técnico 46 ISO**, denominado “Información y documentación”, ha definido:
 - **ISO 15836:2003** - Information and Documentation- The Dublin Core Metadata Element Set.
 - ISO 15836:2009.

- El Comité Europeo de Estandarización (CEN), que ha definido:
 - **CEN / TC 287**: Estandarización en el ámbito de la información geográfica digital para Europa: Este comité ha elaborado un marco estructurado de normas y directrices, en el que especifica una metodología para definir, describir y transferir datos y servicios geográficos. Este trabajo se lleva a cabo en estrecha cooperación con el Comité Técnico 211 de ISO, con el fin de evitar la duplicación de trabajo. Las normas se apoyan en el uso coherente de la información geográfica en toda Europa de forma compatible con el uso internacional. Totalmente orientado a las IDE en todos los niveles de Europa.

A nivel nacional se creó en nuestro país el Núcleo Español de Metadatos (NEM), recomendación definida por el Grupo de Trabajo de la IDEE, establecida en forma de perfil de ISO19115. Es un conjunto mínimo de elementos de metadatos recomendados en España para su utilización a la hora de describir recursos relacionados con la información geográfica. Está formado por la ampliación del Núcleo de la Norma ISO 19115 de Metadatos, con los ítems de ISO19115 necesarios para incluir los elementos de la Dublín Core, la descripción de la Calidad y los elementos requeridos por la Directiva Marco del Agua.

Así pues, como ya se ha comentado, dentro de las aplicaciones directas a las IDE, existen tres estándares que han sido utilizados de manera masiva en el desarrollo de las mismas: la norma ISO 19115, su predecesora la norma Dublin Core y la norma CEN/TC287.

A pesar de la existencia de estas tres normas, por su complejidad, grado de desarrollo y uso las más importantes son la ISO 19115 y la Dublin Core. La norma CEN/TC287 sería la más moderna de todas y la que tendría un menor grado de desarrollo. Sin embargo es necesario tenerla en cuenta en tanto en cuanto se están haciendo importantes esfuerzos por parte de la Unión Europea para que se convierta en la norma de referencia en los futuros desarrollos de INSPIRE.

Desde el punto de vista de la IG tridimensional, como se comentará más adelante, ninguna tiene un desarrollo profundo como para ser considerada norma de referencia para este tipo de información. Sin embargo la norma ISO 19115 es la que presenta un mayor grado de desarrollo en este sentido.

A continuación se tratarán en detalle cada una de estas normas y las posibilidades que tienen de ser utilizadas en modelos tridimensionales.

5.2 LA NORMA ISO 19115 Y LA IG TRIDIMENSIONAL

La norma ISO 19115 es una extensa y compleja norma de metadatos enfocada a la IG. Dentro de la misma norma se distinguen una serie de versiones que se detallan a continuación de manera cronológica y obviando las normas derogadas o substituidas por otras.

ISO 19115-1:2014

Sustituye a la ISO 19115:2003, define metadatos de propósito general. Proporciona un modelo para describir información o recursos que pueden no tener una extensión geográfica.

ISO 19115-2:2009 "Geographic Information -Metadata - Part 2: Extensions for imagery and gridded data"

Se trata de una extensión para imágenes y grids, definiendo los metadatos adicionales necesarios para describir adecuadamente la IG en formato ráster.

ISO/TS 19115-3:2016 "Geographic Information -Metadata - Part 3: XML schema implementation for fundamental concepts"

Establece los esquemas XML necesarios para implementar el modelo de metadatos abstracto que define ISO 19115, de modo que gracias a esta especificación técnica se pueden crear los registros de metadatos en formato XML, interoperables a través de Internet y compatibles independientemente de la herramienta de creación que se utilice.

ISO 19139-2:2012 "Geographic information -- Metadata - XML schema implementation - Part 2: Extensions for imagery and gridded data"

Define los metadatos geográficos adicionales necesarios para describir adecuadamente la codificación de la IG ráster. Como puede apreciarse, es una implementación de esquema XML derivada de ISO 19115-2:2009.

A grandes rasgos, los metadatos se presentan mediante paquetes UML, en los que cada paquete contiene una o más entidades (clases UML), que a su vez pueden estar especificadas mediante subclases o generalizadas mediante superclases. A su vez, las entidades contienen elementos, atributos de clases UML, que identifican las unidades de metadatos (Pascual, A. F. R. et al., 2004).

Teniendo en cuenta lo anterior, se van a detallar los elementos que dicha norma implementa a la hora de ser aplicada a IG tridimensional.

La clase *MD_Identification* contiene la subclase *MD_DataIdentification* junto con el atributo *spatialRepresentationType* y la lista de códigos *MD_SpatialRepresentationTypeCode* que refleja la forma en que se representa la información geográfica e incluye tanto información vectorial con posibilidad de incorporar la tercera dimensión, como grid y TIN (Fig. 5.2).

ISO 19115 - MD SpatialRepresentationTypeCode	Descripción
Vector	Datos vectoriales representando datos geográficos
Grid	Datos ráster (imagen y/o 3d)
Tabla de texto	Textos o tablas representando datos geográficos
TIN	Red de triángulos irregulares
Modelo estéreo	Vista tridimensional creada a partir de la intersección de rayos homólogos y pares de imágenes superpuestas
Video	Escenas grabadas de vídeo

Fig. 5.2. Métodos de representación de IG 3D en la ISO 19115. Elaboración propia

Como puede extraerse de la figura, sólo se permiten tres modelos de IG de los citados hasta el momento: vectorial, grid y TIN. Esta clase es, por tanto, la responsable de detallar el modelo de IG de la información que acompaña. Tal y como se trató en el capítulo anterior, la norma omite por completo alusión alguna a los modelos tridimensionales susceptibles de trabajar con un LoD más elevado, o aquellos modelos que incorporan la topología completa necesaria para un tipo de lenguaje tan importante como CityGML.

Por todo lo anterior, se podría decir que nos encontramos ante una norma incapaz de acompañar a modelos tridimensionales complejos, con topologías complejas o con modelos capaces de albergar información semántica. Este último punto, como se verá a continuación, también vuelve a ser crítico en el desarrollo de la norma.

El atributo *spatialResolution* de la subclase *MD_DataIdentification* (Fig. 5.3) de la clase *MD_Identification* proporciona información sobre la resolución espacial de la información geográfica (escala, tamaño de grid, resolución de ráster). Este atributo es especificado por *MD_ResolutionTypeCode* que contiene los valores *equivalentScale* y *distance*. Este último contiene información sobre la precisión

Hacia un modelo real de la Información Geográfica

también incluye la clase *GM_Solid*, con la que se pueden describir tetraedros. Además, la extensión vertical puede representarse mediante *EX_VerticalExtent*.

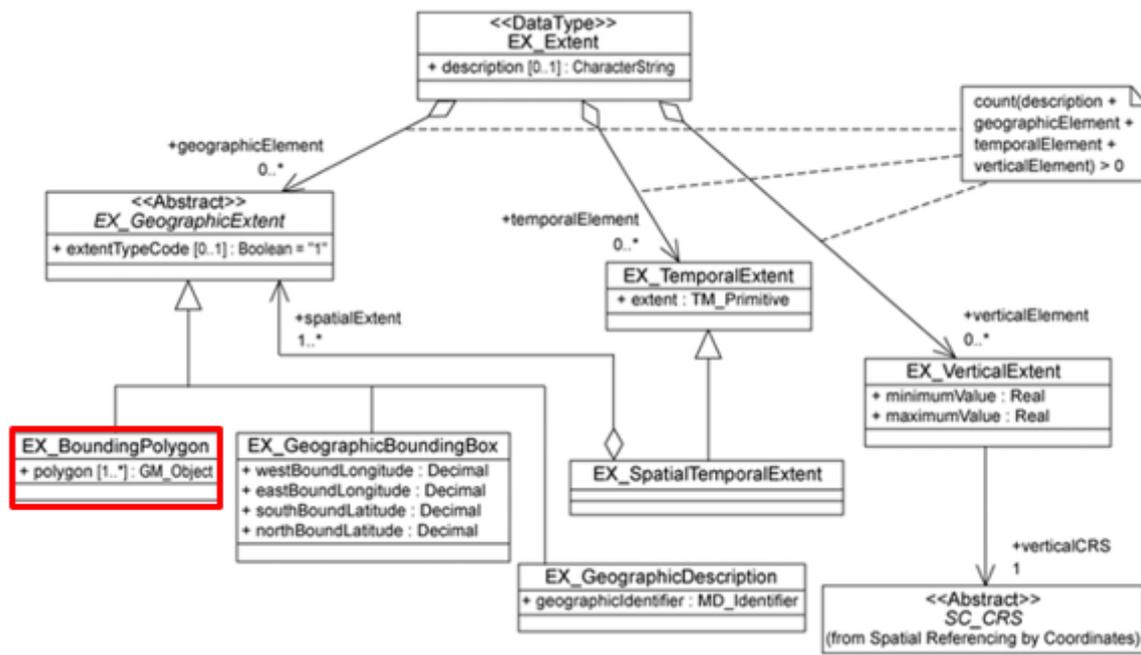


Fig. 5.4. Extensión vertical y geometrías 3D para IG 3D en la ISO 19115 (https://www.iso.org/obp/graphics/std//iso_std_iso_19115_ed-1_v1_cor_1_v1_en/fig_A.15.png).

Este elemento es de gran importancia porque sería el elemento de consulta principal a la hora de filtrar la IG tridimensional por su extensión geométrica. Sin embargo se queda algo corta a la hora de la delimitación porque en el caso de la cita a polígonos, no permite alusión alguna a los volúmenes contenidos en ellos.

Además de la subclase anterior, la clase *MD_SpatialRepresentation* contiene la subclase *MD_VectorSpatialRepresentation* con el atributo *geometricObjects* y el tipo de dato *MD_GeometricObjects*. La geometría del objeto *MD_GeometricObjects* también contiene atributos tales como *geometricObjectType*. Este último especifica el tipo de geometría de los objetos de acuerdo con una lista de códigos llamada *MD_GeometricObjectTypeCode*, incluyendo descripciones para sólidos (Fig.5.5).

En este caso nos volvemos a encontrar con una delimitación “básica” para la definición de las geometrías 3D, permitiendo exclusivamente la definición de las mismas mediante el elemento *sólido* o *superficie*, o combinaciones de ambos.

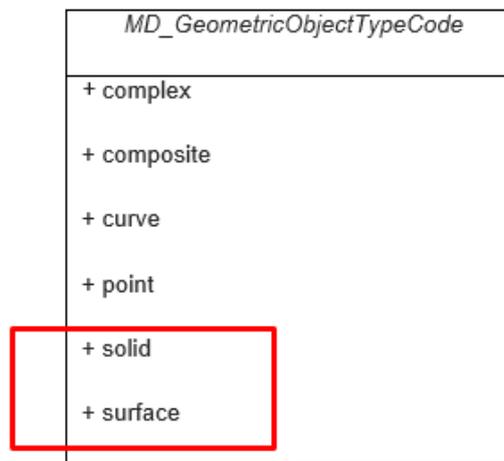


Fig. 5.5. Extensión vertical y geometrías 3D para IG 3D en la ISO 19115. Elaboración propia.

La clase *DQ_DataQuality* con su subclase *DQ_Element*, *DQ_PositionalAccuracy* y *DQ_AbsoluteExternalPositionalAccuracy* proporcionan información sobre la exactitud de la ubicación y la altura (Fig. 5.6). Estos dos ítems resultan también importantes a la hora de modelizar IG tridimensional. Pero al igual que en la clase *MD_Identification* no se permite alusión alguna al LoD, que como ya se ha visto, está relacionado directamente con la precisión vertical de la IG tridimensional.

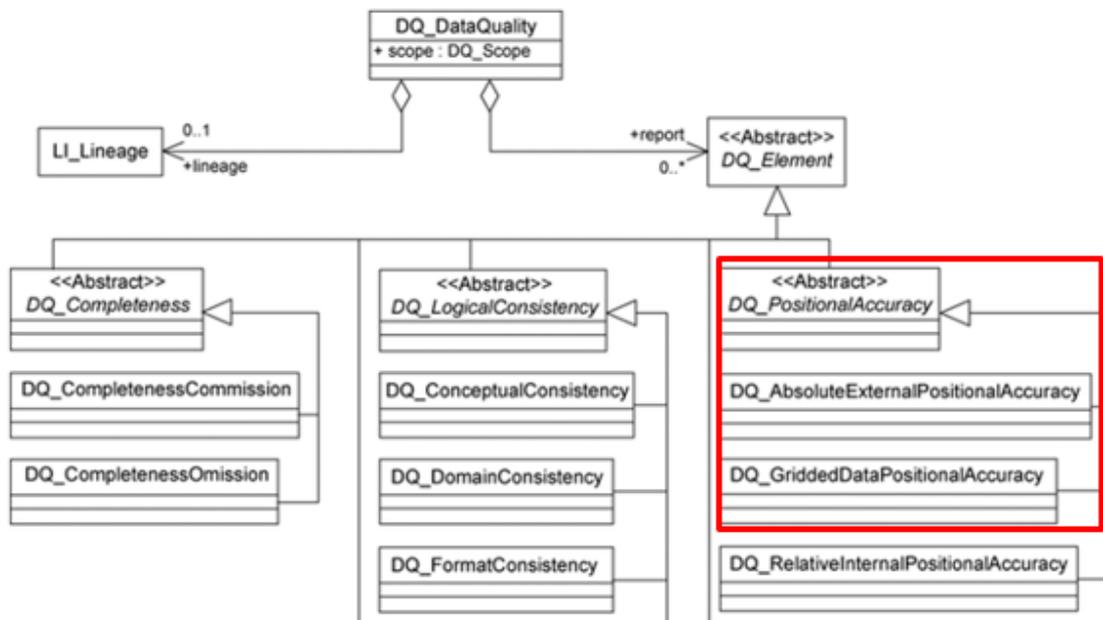


Fig. 5.6. Precisión vertical para IG 3D en la ISO 19115
 (https://www.iso.org/obp/graphics/std//iso_std_iso_19115_ed-1_v1_cor_1_v1_en/fig_A.6.png).

Respecto a la topología, la ISO 19115 dispone de la clase *MD_SpatialRepresentation*, que incluye la subclase *MD_VectorSpatialRepresentation*, con el atributo *topologyLevel* y la lista de códigos *MD_TopologyLevelCode*. Esta lista describe el tipo de topología e incluye entre otros valores *topology3D* y *fullTopology3D* (Fig. 5.7).

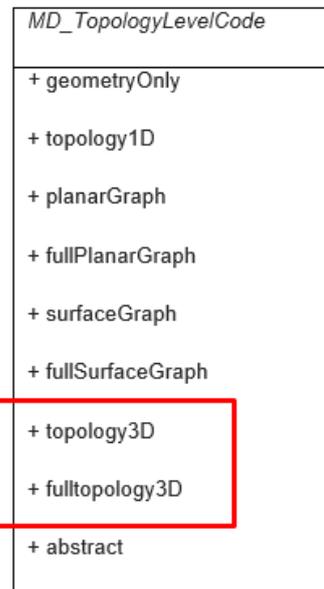


Fig. 5.7. Topología para IG 3D en la ISO 19115. Elaboración propia.

En este caso sí se podría hablar de una correcta extensión de la norma respecto a los distintos modelos de topología tridimensional. En estos valores se pueden recoger los modelos topológicos utilizados en el almacén de datos en cuestión y reflejar la topología usada conforme a los distintos modelos recogidos y comentados en el capítulo 4.

5.3 LA NORMA ISO 15836 Y LA IG TRIDIMENSIONAL

Como ya se ha comentado anteriormente, Dublin Core es un modelo desarrollado por la Dublin Core Metadata Initiative. Su implementación se define por ISO en su norma ISO 15836 del año 2009, y la norma NISO Z39.85-2012. Dentro de la misma norma se distinguen una serie de versiones que se detallan a continuación de manera cronológica y obviando las normas derogadas o substituidas por otras:

ISO 15836:2003 - Information and Documentation- The Dublin Core Metadata Element Set

Hacia un modelo real de la Información Geográfica

Presenta un modelo de metadatos de propósito general para la descripción de recursos. Tiene como actividades principales: la formación de grupos de trabajo, conferencias globales y talleres y desarrollo de prácticas en el campo de los metadatos. Esta iniciativa definió 15 elementos básicos y esenciales para describir un recurso cualquiera (fichero, mapa, libro,..) y en la actualidad es la iniciativa de metadatos más utilizada.

ISO 15836:2009

Establece un estándar para la descripción de recursos entre dominios, conocido como el conjunto de elementos de metadatos de Dublin Core. Define los elementos típicamente utilizados en el contexto de un perfil de aplicación que restringe o especifica su uso de acuerdo con los requisitos y políticas locales. Sin embargo, no define detalles de implementación.

Respecto a las capacidades de esta norma respecto a la IG tridimensional, su extensión no tiene nada que ver con la norma ISO 19115, si bien por su antigüedad y objetivo de la misma, de propósito general, como ya se ha comentado, es comprensible que sea así. En este caso, para esta norma, disponemos de los siguientes elementos:

El elemento *Coverage* describe las características espaciales y temporales del objeto o recurso y es el elemento clave para soportar la búsqueda de rango espacial o temporal en objetos similares que están referenciados espacial o temporalmente. Dicho elemento contempla la elevación y las coberturas 3D (Fig. 5.7).

Como puede observarse, nos encontramos ante una capacidad mínima de descripción de un tipo de modelo tridimensional.

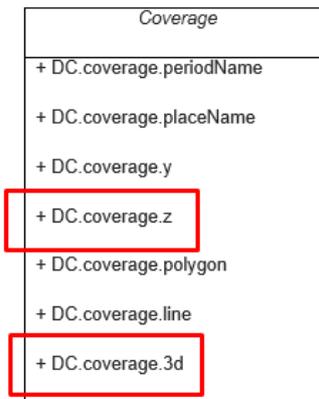


Fig. 5.7. Coberturas 3D en la Dublin Core. Elaboración propia.

5.4 LA NORMA CEN/TC287 Y LA IG TRIDIMENSIONAL

Respecto a la norma CEN/TC287, existe muy poca información sobre la misma en lo referente a los metadatos para modelos tridimensionales. Además es una norma que apenas ha sido incorporada en los desarrollos referentes a metadatos para IG.

Sin embargo se ha querido hacer constancia de su existencia en esta investigación debido a la futura importancia que pueda adquirir, como ya se ha comentado, en futuras ampliaciones de INSPIRE.

5.5 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO

Como se ha visto hasta este momento, la normativa que mejor acogida tiene con la información tridimensional es la ISO 19115, contando con una serie de atributos básicos. Sin embargo, hay una serie de problemáticas asociadas a la misma respecto a las necesidades de desarrollo de una IDE 3D (Dietze, L. et al., 2007).

En el caso de todos aquellos modelos basados en LoD, debería existir la posibilidad de ampliar aún más la ISO 19115 en este sentido. Tengamos en cuenta que el LoD, por ejemplo en los modelos CityGML va implícito en el archivo, sin embargo con la intención de facilitar los servicios de búsqueda y de

Hacia un modelo real de la Información Geográfica

catálogo, esta información debería estar disponible en los metadatos. Una posibilidad para solucionar este problema sería la subclase *MD_DataIdentification* de la clase *MD_Identification*, con un nuevo atributo *levelOfDetail*, con valor entero entre 0 y 4 para definir el LoD. Por supuesto, esta problemática se repite en la norma Dublin Core.

Otro problema adicional es que en las normas de metadatos analizadas no se permite conocer con mayor precisión qué información de partida se utilizó para la creación de los modelos 3D. Aunque la ISO 19115 permite definir la calidad de los MDE, no es capaz de profundizar en este dato.

Finalmente, otro problema detectado es la escasa capacidad que tienen las normas para informar sobre los elementos semánticos de un modelo 3D. Si bien muchos modelos tridimensionales incorporan una extensa información semántica sobre los elementos que incorpora, sobre todo los modelos de ciudad con un LoD 3 o 4 (Fig. 5.8), las normas de metadatos analizadas hasta el momento no son capaces de recoger e informar sobre esta riqueza de información semántica.

<u>BuildingFunctionCode</u>	
1000	residential building
1010	tenement
1020	hostel
1030	residential- and administration building
1040	residential- and office building
1050	residential- and business building
1060	residential- and plant building
1070	agrarian- and forestry building
1080	residential- and commercial building
1090	forester's house
1780	heat plant
1790	pumping station
1800	building for disposal
1810	building for effluent disposal
1820	building for filter plant
1830	toilet
1840	rubbish bunker
1850	building for garbage incineration
1860	building for abatement disposal
1870	building for agrarian and forestry

Fig. 5.8. Clasificación semántica de edificios en CityGML. Elaboración propia.

Hacia un modelo real de la Información Geográfica

De todo lo analizado hasta el momento con respecto a los metadatos y las IDE 3D, se puede concluir que aunque existe una mínima estructura capaz de soportar este tipo de información, no han sido todavía desarrolladas para ofrecer todo el potencial de un esquema de metadatos a nivel de IG tridimensional.

Sin embargo, existen posibilidades de ampliación gracias a las figuras de *propuestas de desarrollo* de las distintas normativas, por lo que se puede concluir que, aunque no están totalmente desarrolladas estas normativas, conforme se vayan presentando y aprobando dichas propuestas, el grado de desarrollo provocará que a corto plazo, dichas normativas sean capaces de afrontar el desarrollo de IDE 3D.

6 LAS IDE 3D DESDE EL PUNTO DE VISTA DE LOS PROTOCOLOS DE INTERCAMBIO Y COMUNICACIÓN

6.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se van a abordar los distintos servicios de búsqueda y publicación de IG en relación a las IDE 3D. En este caso, al igual que ocurría en el capítulo anterior con los metadatos, se podrá comprobar que con respecto a la IG tridimensional todavía no se han desarrollado de manera completa este tipo de servicios con respecto a la IG tridimensional.

Desde el punto de vista de los actores de una IDE, estaríamos hablando de la parte de servicios, lenguajes de intercambio. Es decir, se trata ahora del trabajo de los desarrolladores de IDE, especialmente los relacionados con el desarrollo de herramientas de servicios y lenguajes.

Y, como ya se hizo en capítulos anteriores, si nos fijamos en el gráfico de Sebastian Benthall y Galen Evans (Fig. 3.2), en este capítulo el foco se va a centrar en los elementos resaltados bajo el marco rojo de la siguiente figura (Fig. 6.1)



Fig. 6.1. Diseño de operatividad de una IDE desde el punto de vista de la gestión interna.
 Figura adaptada de la Fig. 3.2 (Sebastian Benthall y Galen Evans).

6.2 PROTOCOLOS DE INTERCAMBIO Y COMUNICACIÓN

Los protocolos de intercambio y comunicación dentro de las IDE son un elemento nuclear dentro de su estructura ya que soportan los mecanismos de búsqueda y localización de IG así como su difusión. Como ya se ha detallado en anteriores capítulos, los principales servicios IDE serían los de búsqueda o de catálogo (CSW), los de difusión (WMS, WMTS, WFS, WCS, etc.) y luego existen una serie de servicios que se podrían catalogar como de soporte o de productividad (SOS, WPS, etc.)(Fig. 6.2). En este apartado se van a citar los servicios que de una u otra forma, serían susceptibles de ser utilizados por una IDE tridimensional.

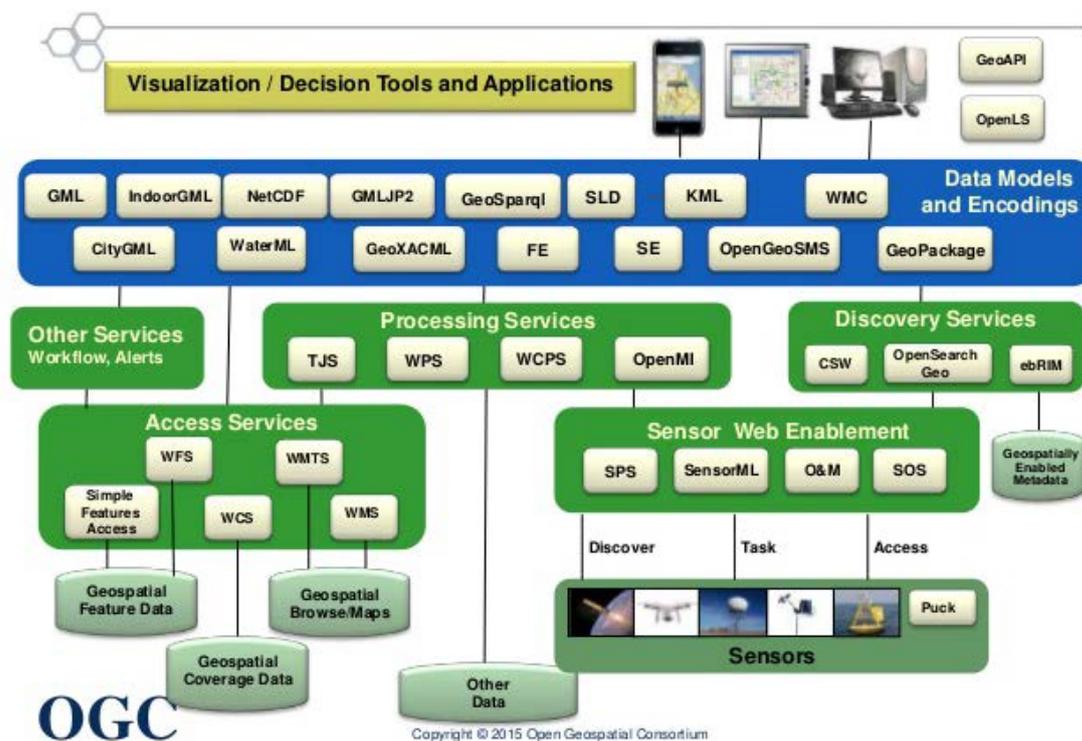


Fig. 6.2. Arquitectura de Servicios de una IDE. OGC
 (<https://www.slidhare.net/GeorgePercivall/percivall-cyber-SIG-panel>).

6.2.1 SERVICIOS DE CATÁLOGO

Los servicios de catálogo, como se indicó en el capítulo 3, son uno de los principales servicios de una IDE, ya que permiten gestionar todo lo relacionado

Hacia un modelo real de la Información Geográfica

con la publicación y búsqueda de los metadatos, tanto de la IG como de los servicios dentro de una IDE. Permiten, por lo tanto, mostrar y acceder a los recursos que presenta cada IDE. Como puede desprenderse de esta definición, su éxito en el desarrollo y uso depende fundamentalmente de los metadatos. Tras haber podido contrastar en el apartado anterior algunas lagunas en materia de metadatos en lo referente a la IG tridimensional, podemos adelantar que los servicios de catálogo no están todavía suficientemente preparados o desarrollados para una correcta funcionalidad con datos tridimensionales.

Desde el punto de vista de los metadatos y su correcta publicación, esta falta de funcionalidad se vería resuelta con una correcta y adecuada extensión de las distintas normas en lo referente a IG tridimensional. Pensemos que, en lo que a los motores de búsqueda se refiere, a este tipo de servicios no les supondría mayor problema realizar sus búsquedas y filtrados en un modelo de datos mejor preparado para información tridimensional. Así que es de esperar que estos servicios sean capaces de desarrollar su funcionalidad con información tridimensional en la medida en que las normas de metadatos vayan incorporando las distintas propuestas de desarrollo de las mismas, para trabajar con este tipo de información. Podemos afirmar que el éxito de estos servicios está íntimamente relacionado con el grado de desarrollo de los clientes, tanto ligeros como pesados, que los utilizan. (Fig. 6.3).

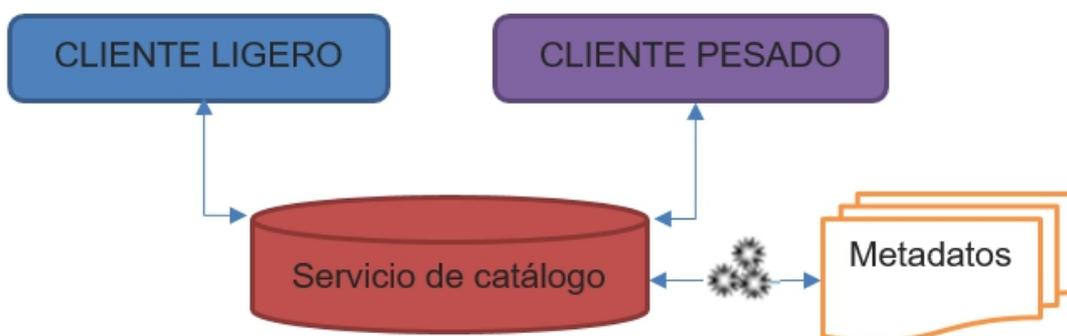


Fig. 6.3 Modelo ontológico entre metadatos, servicios de catálogo y clientes. Elaboración propia.

Los elementos de mayor interés para los servicios de catálogo respecto de la tercera dimensión son:

- Extensión espacial tridimensional y su volumen respectivo de la caja mínima de límites (mBB).
- Nivel de detalle (LoD).
- Precisión tridimensional.
- Modelo topológico 3D.
- Volúmenes de los elementos constituyentes del repositorio a consultar (si procede, dependiendo del LoD y del modelo topológico utilizado).
- Elementos semánticos constituyentes del repositorio a consultar (si procede dependiendo del modelo de datos utilizado).

Si tenemos en cuenta las tres grandes tipologías de especificaciones de servicios de catálogo definidas por el OGC, (CSW, OpenSearch y eb-RIM), podremos analizar las posibilidades de éstas con respecto a los anteriores elementos.

Respecto a CSW, si nos introducimos en su descripción y su norma de desarrollo nos podemos dar cuenta rápidamente de las lagunas existentes en materia de opciones de búsqueda y filtrado de IG tridimensional (Fig. 6.4).

Se aprecia una total ausencia de posibilidades de inferir una consulta (QueryRequest), con su correspondiente respuesta (QueryResponse), respecto a ningún aspecto referente a la tercera dimensión, bien sea por extensión, modelo de datos, LoD, topología, etc.

Hacia un modelo real de la Información Geográfica

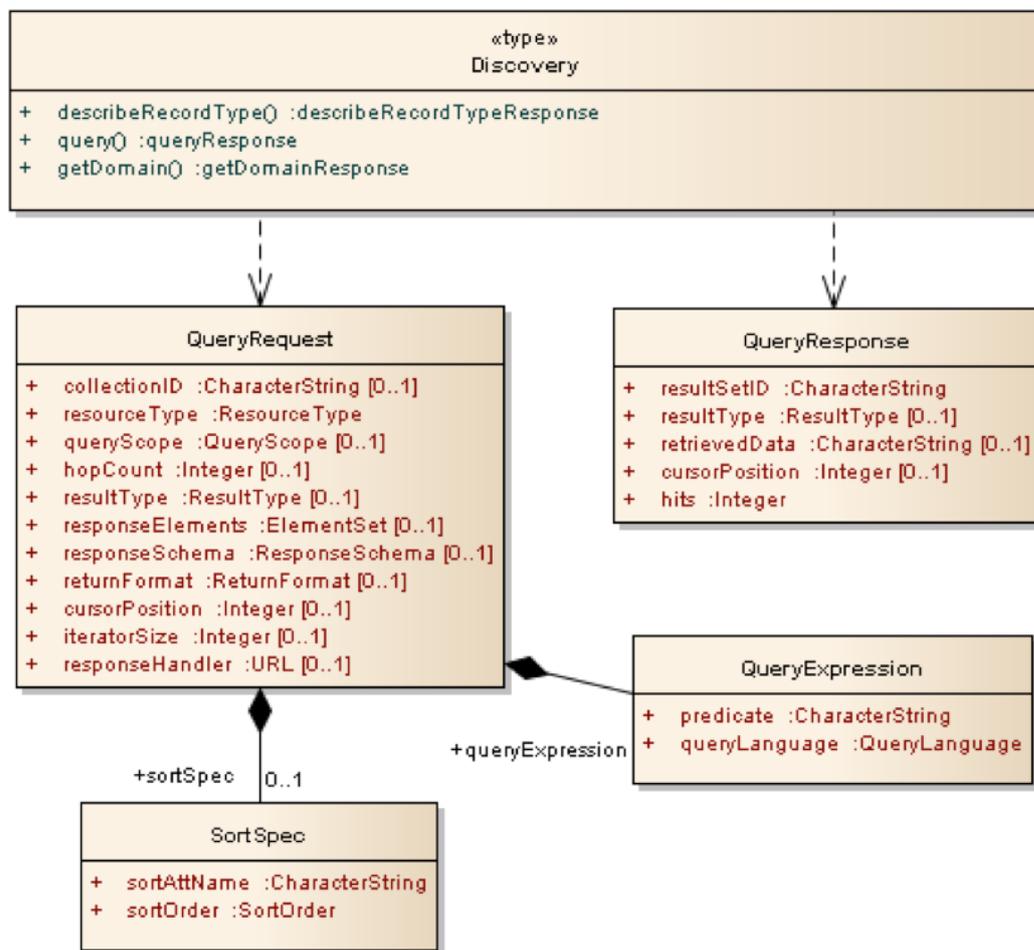
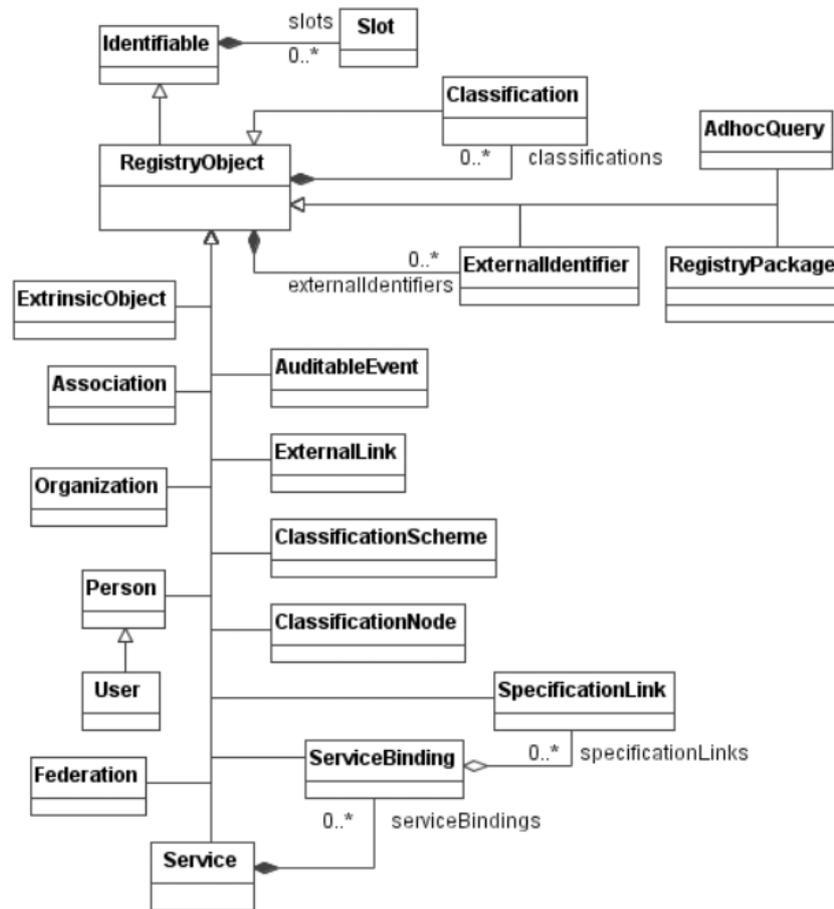


Fig. 6.4. Modelo UML de consultas en el servicio CSW. OGC
 (<http://docs.opengeospatial.org/is/12-168r6/12-168r6.html#24>).

Algo similar ocurre con OpenSearch y eb-RIM. En ambos casos, tal y como puede observarse en la siguiente figura (Fig. 6.5), no existe posibilidad alguna de realizar una búsqueda o un filtrado atendiendo a aspectos relacionados con la tercera dimensión espacial. Como puede apreciarse, ni en el modelo UML de eb-RIM ni en la tabla descriptiva de elementos de OpenSearch existe posibilidad alguna de filtrar por aspectos tridimensionales.

Hacia un modelo real de la Información Geográfica



Names ^a	Definition	Data type and values	Multiplicity and use
Geo Extension (http://a9.com/-/opensearch/extensions/geo/1.0/)			
Box	Geographic bounding box	The box is defined by "west, south, east, north" coordinates of longitude, latitude, in a EPSG:4326e decimal degrees ^c	One (optional)
geometry	Geographic area (geometry)	The geometry is defined using the Well Known Text and supports the following 2D geographic shapes: POINT, LINESTRING, POLYGON, MULTIPOINT, MULTILINESTRING, MULTIPOLYGON The Geometry shall be expressed using the EPSG:4326 ^c	One (optional)
uid	Local identifier of the record in the repository context	Character String	One (optional)
lat	The latitude of a given point	Latitude in decimal degrees in EPSG:4326 ^c	One (optional)
lon	The longitude of a given point	Longitude in decimal degrees in EPSG:4326 ^c	One (optional)

Fig. 6.5. Modelo UML de eb-RIM (arriba) y OpenSearch (abajo). OGC (http://portal.opengeospatial.org/files/?artifact_id=31137 y https://portal.opengeospatial.org/files/?artifact_id=56866)

Hacia un modelo real de la Información Geográfica

Nos encontramos ante una situación similar en lo que respecta a los clientes, en los que se observa, tanto en los ligeros, como en los pesados, en los comerciales y en los de software abierto, una total ausencia de posibilidad de búsqueda y filtrado de la IG en lo que a su tercera dimensión se refiere, atendiendo una vez más a los elementos anteriormente señalados, tal y como se acredita en la siguiente figura (Fig. 6.6), que muestran las ventanas de diálogo de dos plataformas SIG con respecto al servicio CSW.

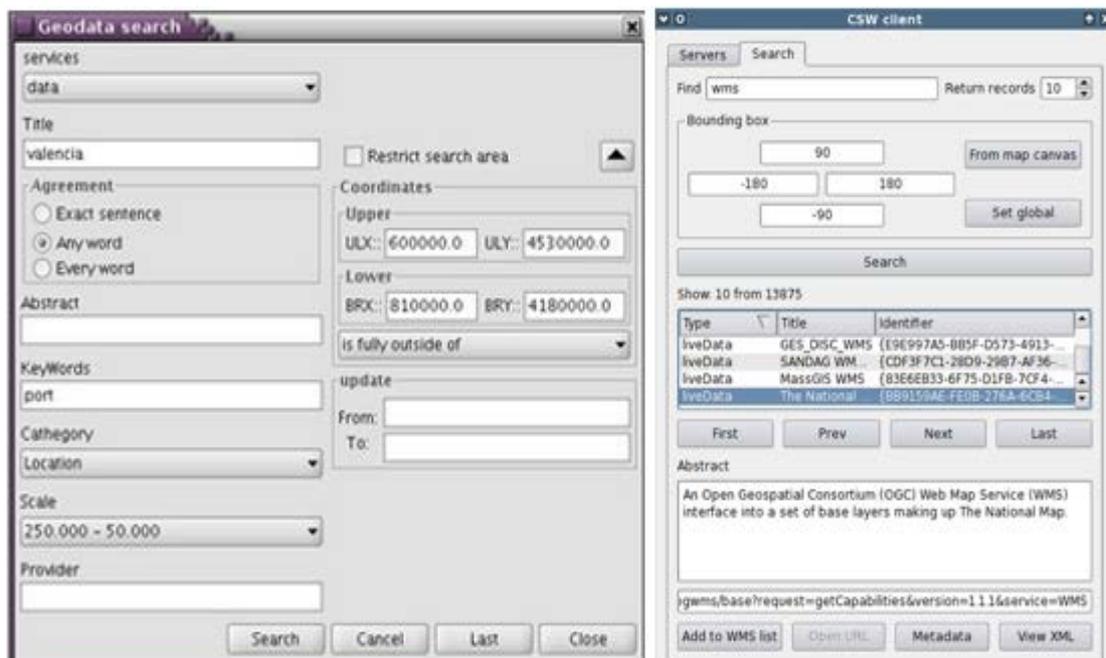


Fig. 6.6. Clientes CSW de gvSIG y QSIG. Elaboración propia.

Tras el análisis tanto de las respectivas normas que fundamentan las distintas tipologías de servicios de catálogo y el grado de desarrollo de los diferentes tipos de clientes capaces de trabajar con estos servicios se puede precisar que no hay posibilidad de realizar búsquedas y filtrados en lo referente a la IG tridimensional. Sin embargo, esta situación está claramente influenciada por las “lagunas” detectadas en el desarrollo de los metadatos, que se han descrito

Sin embargo, la solución a estas carencias que presentan los servicios de catálogo en materia de IG tridimensional, sería fácilmente abordable una vez se

hubieran desarrollado las distintas normativas de metadatos. Dicha solución pasaría por:

1. Adecuación de las normativas de servicios de catálogo ante el desarrollo de las normas de metadatos en lo referente a IG tridimensional. En la medida en que las normas de metadatos contemplen una correcta definición de los mismos respecto de la tercera dimensión las normativas de servicios de catálogos se verán obligadas a trabajar con ellas.
2. Adecuación de los diversos clientes a operar con estos nuevos elementos una vez adaptadas las normativas de los servicios de catálogo. Algo totalmente necesario desde el punto de vista del cliente final, ya que sin este tipo de implementaciones van a ser imposibles los filtrados por extensión vertical, por ejemplo o por LoD. Sin embargo esta solución se podría entender más rápida en su adopción ya que las empresas desarrolladoras de software adoptan con bastante premura los cambios relativos a la adopción de las nuevas normas referentes a los servicios de la OGC.

6.2.2 SERVICIOS DE PUBLICACIÓN

Los servicios de publicación de IDE preparados para trabajar con información tridimensional son los siguientes: WCS y WFS. Siendo los principales servicios de publicación de una IDE, permiten gestionar dos modelos de datos totalmente distintos. Por un lado tenemos la posibilidad de publicar modelos continuos, mediante WCS y, por otro lado tenemos la posibilidad de publicar modelos discretos, mediante WFS.

WCS

El servicio **WCS** o Servicio de Cobertura Web se sirve de una interfaz estandarizada que permite realizar peticiones de coberturas geográficas a través de la web. En la actualidad se ha desarrollado la versión 2.0 de dicho servicio y,

Hacia un modelo real de la Información Geográfica

en ella, los formatos permitidos son formatos de modelos ráster, como GeoTIFF, netCDF, JPEG2000 y GMLJP2 (Fig. 6.7).

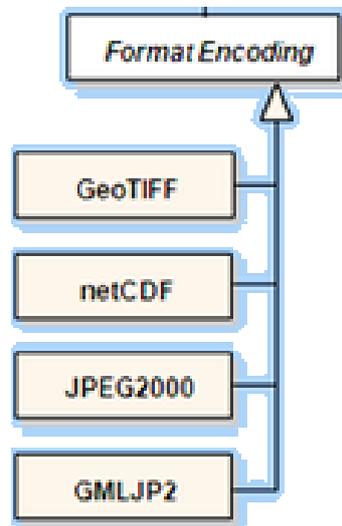


Fig. 6.7. Formatos de trabajo de WCS. Elaboración propia.

De esta forma, se puede servir modelos completos o filtrados geográficamente, disponibles en una gran variedad de formatos (grid, GeoTIFF, csv, etc.) y que se transmiten por Internet al cliente que realiza la solicitud en alguno de los anteriores formatos.

Con esta tipología de formatos el servicio sería capaz de solucionar publicaciones tridimensionales desde LoD 0 a LoD 2, no siendo capaz de dar un paso más en lo que al nivel de detalle se refiere, al no permitir LoD 3 debido a problemas de continuidad en elementos abiertos en las estructuras. Otro inconveniente es que este servicio no permite el trabajo con elementos semánticos.

Sin embargo, teniendo en cuenta las limitaciones anteriores, el servicio es capaz de dar solución al modelado tridimensional cubriendo importantes niveles de precisión, sobre todo en lo referente a escalas regionales, y llegando hasta escalas de modelos de ciudad (Fig. 6.8).



Fig. 6.8. Hillshade de alta resolución vía WCS. Elaboración propia.

Este tipo de servicio es idóneo para servir de base en sistemas que permiten la navegación 2.5 D, sin embargo no permite una navegación completa en entornos 3D ya que sólo contempla una topología de superficie, sin posibilidad de pasar de elementos interiores a exteriores. Únicamente se puede sobrevolar o caminar sobre el modelo. Esta limitación sería resuelta en modelos capaces de integrar topologías y semánticas complejas, como CityGML.

Ninguno de los clientes WCS analizados permite filtrar la información servida en lo que respecta a la tercera dimensión. Tampoco permite ningún tipo de filtrado en función del nivel de detalle.

WFS

El servicio WFS trabaja con un interfaz estándar de comunicación que permite la publicación de entidades geográficas completas, tanto a nivel geográfico como a nivel alfanumérico. Para ello, utiliza el lenguaje GML. La posibilidad de publicar modelos discretos de WFS, abriría la posibilidad de publicar modelos topológicos complejos y dotados de semántica. Así pues, este sería el servicio idóneo para publicar modelos con un LoD 3 y 4.

En la actualidad, la versión del servicio es la 2.0.2 y permite la publicación de una gran variedad de datos, esta vez con la posibilidad de filtrado geográfico y/o alfanumérico, a través de Internet, que llegan al cliente que los solicita en los siguientes formatos:

- GML2
- GML3
- Shapefile
- JSON
- JSONP
- CSV

Teniendo todo ello en cuenta, y revisando la descripción del estándar CityGML, implementado como un esquema de aplicación para el Geography Markup Language 3 (GML3), el servicio “natural” para servir modelos tridimensionales complejos en lo que a topología se refiere, con valor semántico y, con posibilidad de alcanzar LoD 3 y 4 sería, por tanto, el servicio WFS.

Esta línea coherente ha sido implementada por los principales desarrolladores de servicios IDE, como Geoserver (Fig. 6.9).o ESRI

Nivel de servicio

Básico
 Transaccional
 Completo

GML2

Estilo de SRS
 URL HTTP OGC

Override GML Attributes

GML 3

Estilo de SRS
 URN Experimental OGC

Override GML Attributes

GML 3.2

Estilo de SRS
 URN OGC

Override GML Attributes

Fig. 6.9. Distintas posibilidades de GML en servicios WFS de Geoserver. Elaboración propia.

6.2.3 DEBILIDADES Y FORTALEZAS DE CITYGML

CityGML es un modelo abierto de datos estandarizados que se utiliza como formato de intercambio de modelos 3D tanto de ciudades como de paisajes. Se implementa como un esquema de aplicación para GML3, y es un estándar internacional oficial de la OGC.

Los modelos 3D, tienen una multitud de aplicaciones, cada una de las cuales va ligada a un LoD diferente, un concepto que indica la cohesión semántica que tiene un modelo en relación con su equivalente en el mundo real. Mientras que en la práctica el LoD se refiere sobre todo a la riqueza de la geometría, el concepto es en sí mismo más amplio y abarca también la granularidad de la semántica y la cantidad de atributos del modelo (Biljecki, F. et al., 2016), entendiéndose granularidad semántica como el grado de cualificación de un modelo respecto a la información semántica, es decir, representa el nivel de

detalle al que se desea almacenar y presentar la información. Por ejemplo, un modelo LoD 4 con plena distribución de habitaciones dentro de las edificaciones tendría granularidad fina, mientras que un modelo LoD 0, sin esta información semántica tendría granularidad gruesa.

Entre otras fortalezas, los modelos CityGML están estructurados semánticamente. A pesar de ser un formato relativamente nuevo, bien sustentado en lo que a estándares se refiere, su soporte y adopción por parte del software relacionado con la IG son aún inferiores en comparación con otros formatos de gráficos como COLLADA o JSON.

Distintos estudios han revelado que CityGML posee importantes desventajas respecto a sus posibles competidores como JSON (Gaillard, J. et al., 2015). Así pues, JSON compacta mejor la información, haciendo menos pesados los modelos y transmitiéndolos de manera más rápida. No sólo esto, además es un formato más fácil de parsear (recorrer todos los registros del modelo) a la hora de mostrar los modelos en clientes ligeros, algo que está adquiriendo gran importancia.

Con el fin de mejorar las capacidades de CityGML respecto a otros estándares para modelos 3D se están desarrollando interesantes investigaciones con el fin de dotar a este formato del denominado multi-LoD (multi nivel de detalle) (Biljecki, F. et al., 2016).

La idea de estas investigaciones es llegar a desarrollar un modelo CityGML que incorpore dentro de él distintos niveles de detalle, dependiendo del uso que se le vaya a dar. En la práctica, la gran mayoría de los modelos 3D se almacena como una representación fija y cerrada, lo que es suficiente para muchos casos de uso. Sin embargo, hay situaciones en las que tener múltiples LoD puede ser muy positivo. Por ejemplo, aplicaciones para conseguir una visualización más eficiente y disminuir el coste computacional (Fig. 6.10). Otra aplicación posible sería su utilización en aquellos software que estructuran la información en escalas múltiples (como los universos de SmallWorld).

Como puede apreciarse, este tipo de modelos de CityGML multi-LoD serían un importante avance en la funcionalidad de los servicios que sirven esta tipología de modelos.



Fig. 6.10. Visualización Multi-LoD (Biljecki, F. et al., 2016).

Aunque existen lenguajes y modelos con un factor de compresión de la información mayor que el de CityGML y, aunque existen más desarrollos y el grado de integración de aquellos pudiera ser mayor que el de CityGML, tanto el OGC como los distintos desarrolladores de software IDE están haciendo una apuesta importante por CityGML. Por ello, a corto plazo son esperables nuevas mejoras del formato, respecto a su modelo de datos así como nuevas adopciones, como estándares, de otros formatos por parte del OGC, como por ejemplo Collada, .obj o x3D, que son las codificaciones que usan Google Earth y Microsoft Virtual Earth 3D.

6.2.4 OTROS LENGUAJES OGC PARA MODELOS 3D

En la actualidad el OGC está haciendo importantes esfuerzos para desarrollar estándares que bien por su aplicabilidad o por sus necesidades intrínsecas,

manejan o necesitan de un modelo 3D. Nos referimos al estándar IndoorGML y a la propuesta de estándar InfraGML.

IndoorGML

Este estándar se basa, desde enero del 2015, en un modelo de datos abierto, basado en XML, para la información espacial de interiores. En realidad, IndoorGML es un esquema de aplicación de GML 3.2.1. Mientras CityGML, KML e IFC, tratan el espacio interior de los modelos 3D desde aspectos puramente geométricos, cartográficos y/o semánticos, IndoorGML se centra en el modelado de espacios interiores para fines de navegación y localización indoor.

IndoorGML se basa en dos marcos conceptuales: el modelo de espacio estructurado y el modelo de espacio multicapa (MLSM). El modelo de espacio estructurado define el diseño general de cada capa de espacio independiente del modelo de espacio específico que representa. Cada capa se subdivide sistemáticamente en cuatro segmentos (Fig. .6.11).

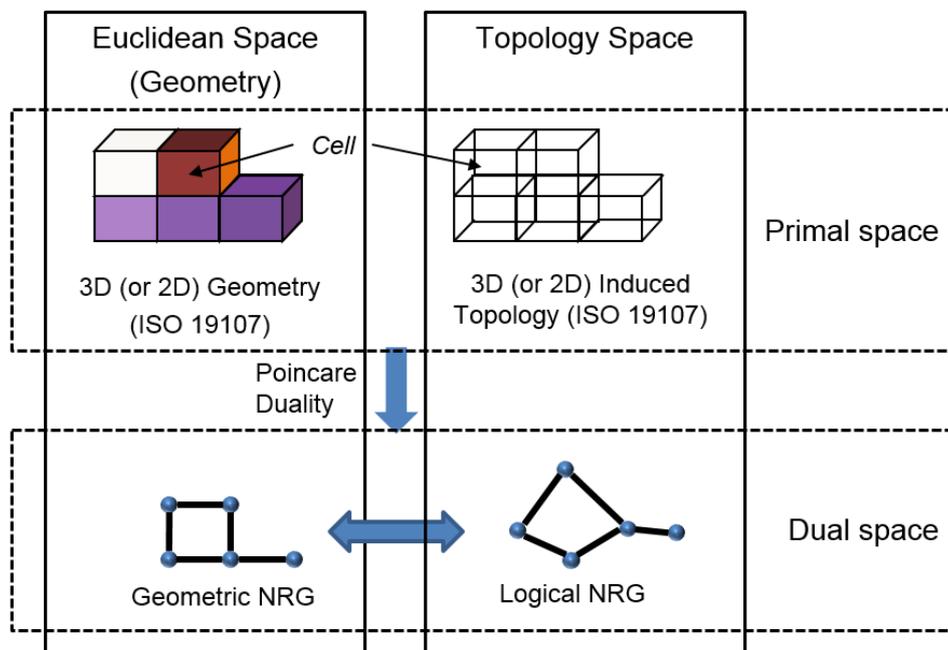


Fig. 6.11. Modelo de estructuración del espacio en IndoorGML. OGC
 (http://docs.opengeospatial.org/is/14-005r4/14-005r4.html#figure_1).

La figura anterior ilustra el modelo de espacio estructurado que permite la distinta separación del espacio primario del espacio dual por un lado, y la geometría y la topología pura por otro. Esta estructura constituye la base del modelo de espacio interior propuesto por IndoorGML.

Desde el punto de vista del modelo geométrico, IndoorGML proporciona un soporte básico para el modelo geométrico 2D y 3D de la celda, que puede expresarse conforme a la ISO 19107. En el espacio 2D, cada celda se representa como un objeto geométrico 2D de tipo polígono, mientras que su geometría es un objeto 3D, en concreto un cubo, en el espacio 3D. El estándar no intenta describir las características arquitectónicas, trata por el contrario de modelizar los espacios interiores y sus relaciones que luego se utilizan para apoyar la navegación en interiores. Si se requiere describir esas características arquitectónicas, se puede hacer a través de enlaces a otros estándares existentes como ISO 19107, CityGML o IFC.

Desde el punto de vista de la representación topológica, se puede decir que ésta es una de las principales preocupaciones de IndoorGML. Basándose en una teoría matemática, llamada dualidad de Poincaré, un espacio interior queda representado como una colección de células y se transforma en un gráfico que representa la relación topológica entre esas células. Se trata de una representación basada en un gráfico de relación de nodos que representa la adyacencia o conectividad entre las células (Fig. 6.12).

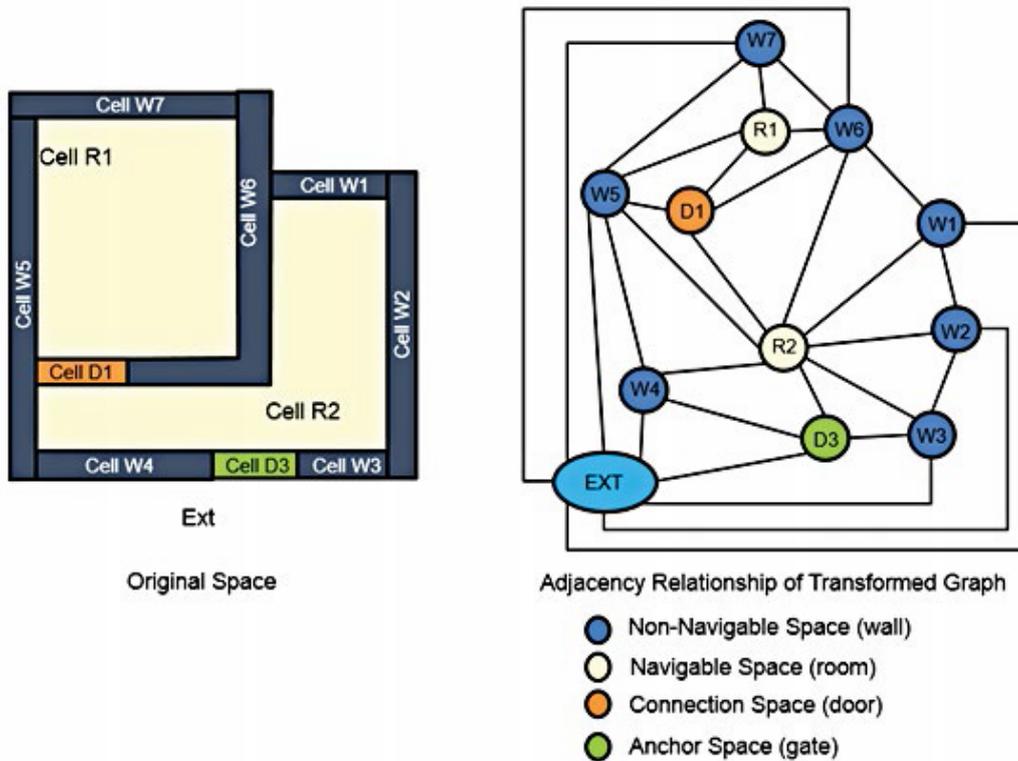


Fig. 6.12. Modelo de navegabilidad en IndoorGML (Li, K. J. y Lee, J. Y. 2013).

Desde el punto de vista semántico, las células se clasifican semánticamente en espacio navegable general, espacio de transición, espacio de conexión y espacio de anclaje. Además de la clasificación del espacio, cada célula se asocia con una descripción semántica de detalle para calificar el tipo de espacio del que se trata, por ejemplo si se trata de una "sala", de un "pasillo", etc.

El grado de desarrollo de IndoorGML todavía no es muy elevado ya que apenas lleva dos años como estándar, siendo la zona del sureste asiático dónde más avances se han desarrollado, pero su potencial en tecnologías relacionadas con la localización y navegación indoor es prometedora (Ki-Joune Li, 2015) (Fig. 6.13).

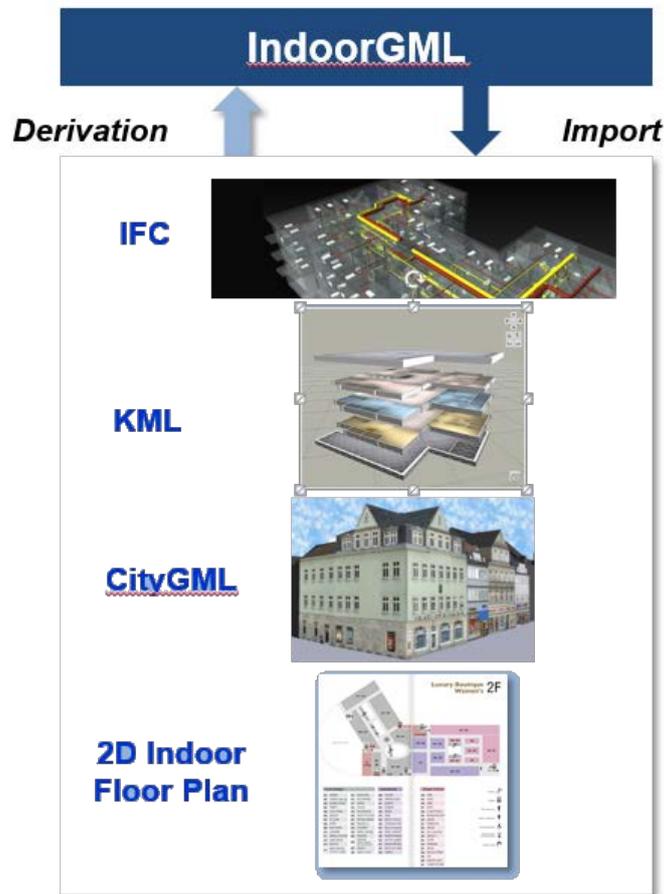


Fig. 6.13. Combinación IndoorGML con otras tecnologías (Ki-Joune Li, 2015).

InfraGML

InfraGML no es un estándar todavía, se encuentra en fase candidato. InfraGML trata de implementar los conceptos relacionados con instalaciones de infraestructuras de ingeniería civil. InfraGML es una implementación GML de LandInfra. La idea es utilizar InfraGML para implementar software y servicios que permitan a los usuarios de diversas tecnologías y plataformas intercambiar eficientemente información sobre las instalaciones.

Debido a la amplitud de conceptos y elementos del modelo LandInfra, las áreas temáticas están divididas en partes separadas. De manera similar, InfraGML se divide en clases que luego se agrupan en partes.

Las partes de InfraGML son las siguientes:

Parte 0: LandInfra Core

Parte 1: LandInfra Land

Parte 2: LandInfra Instalaciones y proyectos de codificación estándar

Parte 3: Estándar de codificación de alineamientos LandInfra

Parte 4: Estándar de Codificación LandInfra Road

Parte 5: Norma de codificación de los ferrocarriles LandInfra

Parte 6: Estándar de codificación de la encuesta LandInfra

6.3 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO

La revisión y análisis llevados a cabo en este capítulo en materia de protocolos de intercambio y comunicación y su relación con las IDE 3D, nos permiten afirmar que existen suficientes servicios diseñados y desarrollados para servir modelos 3D. Dichos modelos pueden ser tanto continuos como discretos, WCS y WFS, llegando a cubrir con ellos todos los LoD definidos por el OGC.

Sin embargo, se han detectado algunas lagunas importantes, sobre todo en lo referente al lenguaje de intercambio en los servicios WFS, si se hace vía CityGML. Como se ha comentado, aunque en fase de mejora y desarrollo, existen formatos más robustos en materia de intercambio de modelos 3D.

A pesar de ello, las nuevas mejoras que se implementen en futuras versiones de CityGML, junto con la adopción de nuevos estándares por parte del OGC y las conexiones existentes entre este lenguaje y otros con gran potencial práctico, como IndoorGML hacen pensar que CityGML será uno de los principales medios de comunicación de modelos 3D.

Hacia un modelo real de la Información Geográfica

Así las cosas, podemos responder de manera afirmativa, desde el punto de vista de los protocolos de intercambio y publicación de modelos 3D, a dos de las hipótesis de trabajo planteadas hasta el momento:

Las IDE 3D son realmente necesarias para dar solución a una serie de problemas que se plantean a corto/medio plazo en relación con distintas áreas técnico-científicas, dado que supondrían, junto con los BIM, las plataformas más evolucionadas a nivel de interoperabilidad para la gestión y difusión de IG tridimensional.

Aunque la evolución de una manera estandarizada y rápida no es sencilla, las IDE 3D son proyectos abordables gracias a los distintos desarrollos e investigaciones que se han abordado en los últimos años respecto a la tercera dimensión y la IG.

7 LAS IDE 3D DESDE EL PUNTO DE VISTA DE LA PUBLICACIÓN. CLIENTES PESADOS Y CLIENTES LIGEROS. LA PUBLICACIÓN EN INTERNET

7.1 INTRODUCCIÓN

En este último capítulo se van a abordar aquellos elementos relacionados con las IDE desde el punto de vista de los usuarios. Incluimos, por tanto, todos aquellos avances en materia de publicación de IG, en relación a las IDE 3D, pero esta vez desde el punto de vista de interacción del usuario final con respecto a los modelos 3D gestionados por las IDE.

Desde el punto de vista de los actores de una IDE, estaríamos hablando de la parte de publicación y herramientas de visualización de IG tridimensional. Es decir, se trata ahora del trabajo de los desarrolladores de software, especialmente aquellos relacionados con el desarrollo de herramientas de visualización y gestión de IG tridimensional.

En este caso, nos encontramos ante uno de los campos en los que se está produciendo un mayor desarrollo en lo concerniente a las IDE 3D, En este campo se observan importantes sinergias entre los avances que se producen en otras ramas técnico-científicas (visores 3D, juegos, realidad virtual, realidad aumentada, etc.) y las IDE. Habiéndose beneficiado claramente éstas de los avances conseguidos por aquellas, el usuario y consumidor final de IG tridimensional puede tener acceso a modelos geográficos tridimensionales. Este acceso es posible mediante el uso de clientes pesados (aplicaciones software sobre las que recae la mayor carga de procesamiento en una arquitectura cliente-servidor), o mediante el uso de clientes ligeros (usualmente navegadores en los que la distribución de cargas de procesamientos es la inversa a la mencionada).

Este ámbito técnico de las IDE es uno de los que más auge e importancia está cobrando, presentando grandes avances en materia de publicación de IG tridimensional por Internet, impulsados gracias al desarrollo de tecnologías y aplicaciones como three o Cesium, basados en WebGL, que permiten renderizar los modelos 3D directamente en HTML5, siendo este lenguaje otro de los grandes progresos a considerar a la hora de publicar información 3D en Internet.

Retomando el gráfico de Sebastian Benthall y Galen Evans (Fig. 3.2), en este capítulo el foco se va a centrar en los elementos resaltados bajo el marco rojo de la siguiente figura (Fig. 7.1)



Fig. 7.1. Diseño de operatividad de una IDE desde el punto de vista del usuario final.
 Figura adaptada de la Fig. 3.2 (Sebastian Benthall y Galen Evans).

7.2 TIPOLOGÍA DE CLIENTES

Si partimos de la idea de que el medio de difusión de la comunicación de la IG tridimensional es, o debiera ser, un estándar y, si tenemos en consideración todos los estándares publicados por el OGC, podemos aseverar que el medio de comunicación de la IG tridimensional debería ser GML (CityGML) o KML.

A su vez, a la hora de proceder con dicho proceso de comunicación tenemos dos metodologías diferenciadas. Por un lado se pueden servir estos modelos directamente, mediante los distintos protocolos estandarizados de difusión de archivos, como FTP o HTP. Por otro lado la difusión se puede hacer mediante el

desarrollo de servicios de comunicación de este tipo de información como el ya abordado WFS,

Sea cual sea el método elegido, en este caso, un aspecto de gran importancia es la tipología de cliente a utilizar. En este caso nos estamos refiriendo a clientes ligeros y clientes pesados. A través de su definición (Orfali, R. et al., 2002) su distinción queda bastante clara.

Se denomina cliente pesado al programa, de una arquitectura cliente-servidor, hacia el que se desplaza la mayor carga computacional. Por el contrario, un cliente ligero, en una arquitectura cliente-servidor, realiza las labores de entrada, salida y comunicación entre el usuario y el servidor remoto, el cual desarrollaría la mayor carga computacional.

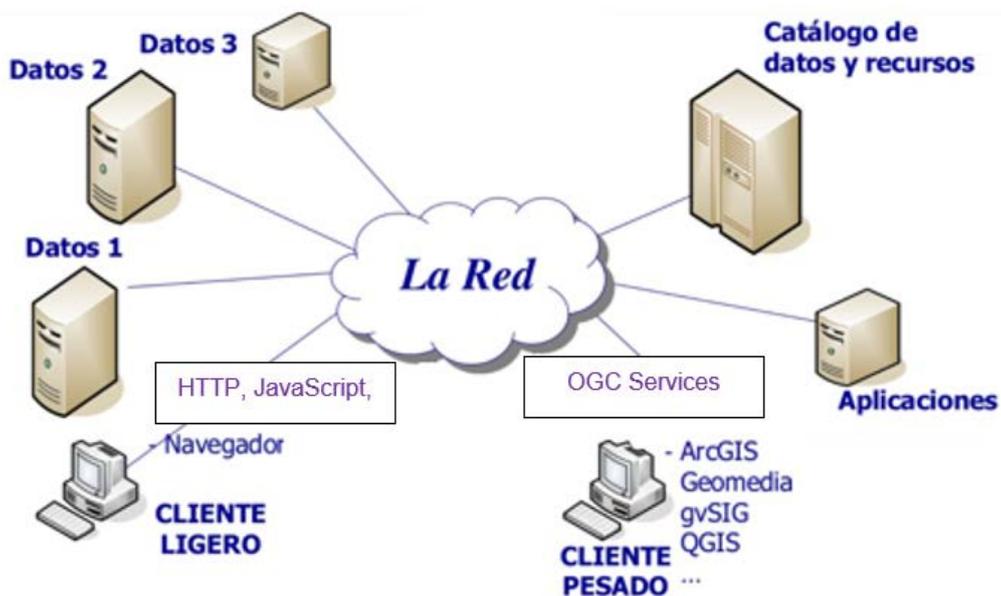


Fig. 7.2. Tipología de clientes respecto de una IDE (Adaptación de IGN, <https://es.slIDEhare.net/afrodriguezpascual/20150921-la-directiva-inspire-y-la-ley-142010-lisige>)

En lo que respecta a este tipo de clientes y las IDE, la diferencia podría quedar expresada como se muestra en la Figura 7.2. En ella se puede observar como

básicamente se orientan los clientes ligeros hacia los navegadores de Internet y los clientes pesados hacia los programas SIG de escritorio.

Con estas definiciones, queda claro que para el caso de clientes ligeros la capacidad del ancho de banda es fundamental a la hora de trabajar con IG tridimensional debido, fundamentalmente, a la carga de este tipo de archivos. En el caso de clientes pesados, resulta fundamental la capacidad del ordenador respecto a la memoria RAM y la tarjeta gráfica.

En los últimos años se ha producido un gran avance en tecnologías y herramientas que permiten visualizar y analizar IG tridimensional (Romeu, A. et al., 2012). Uno de los motivos principales de este avance es la capacidad que tienen estos sistemas de poder interactuar con modelos 3D, lo que conlleva una mejor aproximación a la realidad y una interpretación más clara del modelo que se pretende mostrar (Martínez, A. J. A., 2004). En entornos 3D, tanto el diseño como los procesos de toma de decisión pueden desarrollarse mejor que en uno bidimensional, ya que un entorno 3D se aproxima mejor a la realidad y ofrece al usuario una esquematización mejor, asimilable de una manera más rápida por el cerebro humano, sobre el modelo al que se enfrenta. Si además tenemos en cuenta la posibilidad que proporciona el 3D para navegar en distintos formatos (vuelo, caminata, exploración, etc.) estaríamos conectando con la capacidad de agregar la cuarta dimensión, el tiempo, a nuestros análisis.

Por todos estos motivos las empresas de software están promoviendo este importante avance y están contribuyendo al desarrollo de herramientas de visualización y análisis tridimensional, tanto en lo que respecta a clientes pesado, como a clientes ligeros.

7.2.1 CLIENTES PESADOS

Las distintas compañías desarrolladores de software, conscientes de la ventaja que suponen los entornos tridimensionales, han procedido a adaptar o desarrollar sus herramientas para esta tipología de modelos.

En este sentido podemos realizar una primera clasificación dependiendo del tipo de solución desarrollada. Así se propone clasificar este tipo de clientes en tres grandes grupos: por un lado los sistemas adaptados, por otro los desarrollos específicos para IG 3D y, finalmente, los desarrollos para modelos 3D genéricos.

Sistemas adaptados

Los sistemas adaptados serían todos aquellos clientes pesados que han desarrollado “plugins” o complementos, por lo general sistemas de globo, que se integran en la plataforma y permiten visualizar, navegar y consultar la información tridimensional.

Ejemplos de estos sistemas serían gvSIG, con su complemento 3D; QSIG, con QSIG Globe; ArcGIS, con ArcScene; MapInfo, con Discover 3D, GlobalMapper, etc. (Fig. 7.3).

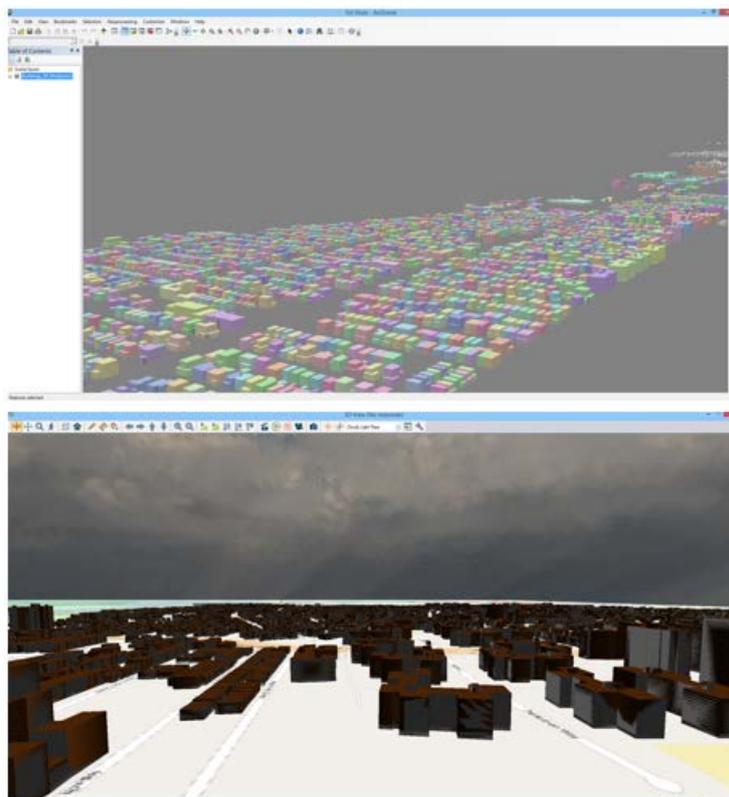


Fig. 7.3. Sistemas adaptados para 3D, ArcScene (arriba) y GlobalMapper (abajo).

Elaboración propia.

Hacia un modelo real de la Información Geográfica

En estos sistemas, además de las herramientas habituales de cualquier plataforma SIG aparecen las herramientas de navegación y consulta para elementos tridimensionales. Respecto a estas herramientas, dependiendo del entorno de desarrollo, se constata que en todos ellos al menos está implementado un conjunto que permite las acciones de identificación de elemento, navegación, vuelo, caminata, inspección, centrar en objetivo, y otras similares. (Fig. 7.4).

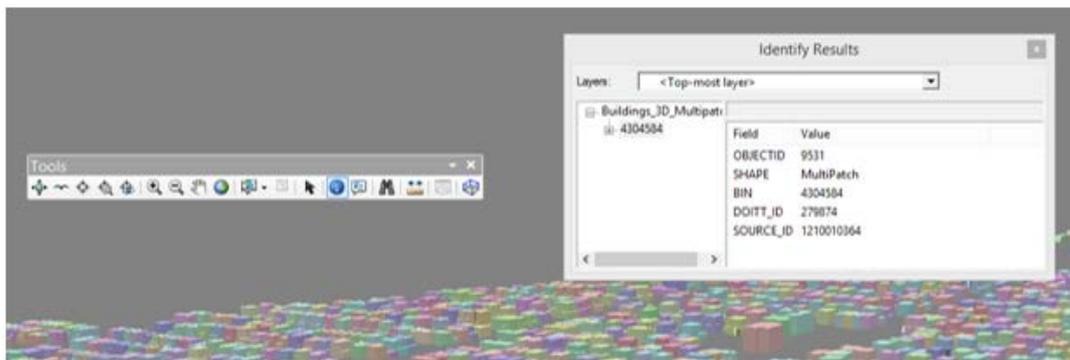


Fig. 7.4. Herramientas de navegación 3D de ArcScene. Elaboración propia.

El modo en el que estos sistemas han procedido a adaptarse al uso de la IG tridimensional, en líneas generales, consiste en la utilización de librerías existentes para el manejo de modelos 3D. Para la visualización se han servido de los lenguajes estandarizados (kml, CityGML). La visualización, de modo general se realiza mediante la lectura (parseo) del archivo y posterior traducción al lenguaje interno con el que cada herramienta maneja los modelos vectoriales (Fig. 7.5). Las librerías más utilizadas en estos casos son Nasa World Wind, prevaleciendo en aquellas plataformas de código abierto basadas en Java3D,

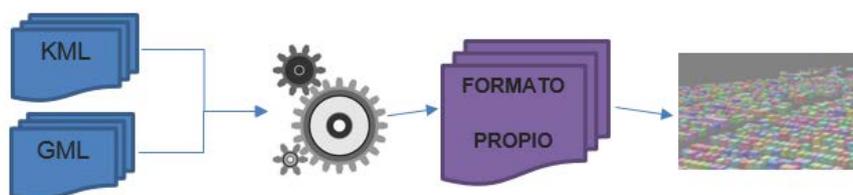


Fig. 7.5. Protocolos de lectura y visionado de IG 3D. Elaboración propia.

Hacia un modelo real de la Información Geográfica

Este tipo de sistemas suelen disponer de herramientas de geoproceso o análisis espacial, ya que están orientadas hacia ello. Sin embargo, los algoritmos para realizar análisis espacial en modelos 3D son mucho más complejos que en los modelos 2D (Zipf, A. 2008), por lo que las capacidades de análisis no están todavía tan avanzadas como en el análisis 2D. La complejidad de la topología 3D con respecto a la topología 2D provoca que los geoprocensos 3D más usuales sean aquellos que conlleven como resultado selecciones de elementos, en detrimento de aquellos geoprocensos que conllevan la creación de geometrías 3D, a excepción del denominado buffer 3D que sí está implementado en alguno de estos sistemas, como ArcScene.

Una revisión bibliográfica referente sobre esta materia nos ha permitido llegar a otra interesante línea de investigación que está surgiendo respecto a estos sistemas y las IDE 3D, es el de las conexiones a servicios WPS con la finalidad de solicitar la ejecución de un geoprocenso, ser ejecutado en el servidor al que se le solicita y obtener respuesta en el cliente pesado que la ha solicitado (Zipf, A. 2008). En estas líneas de investigación se muestran, desde sencillos mapas temáticos obtenidos mediante WPS (Fig. 7.6), pasando por complejos resultados de localización y enrutamiento (Fig. 7.7)

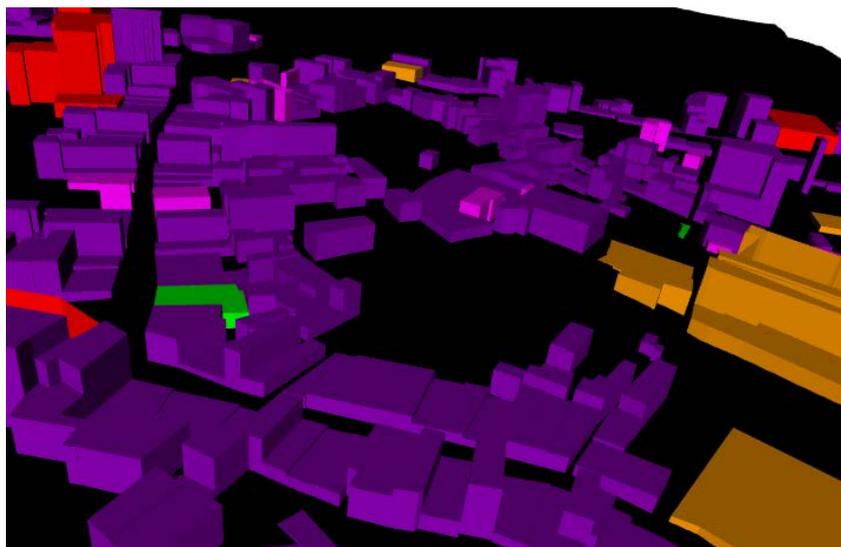


Fig. 7.6. Mapa temático obtenido mediante un WPS con Geoserver. Elaboración propia (conexión establecida con <http://3dwebSIG.di.uminho.pt/geoserver3D/>).

Hacia un modelo real de la Información Geográfica

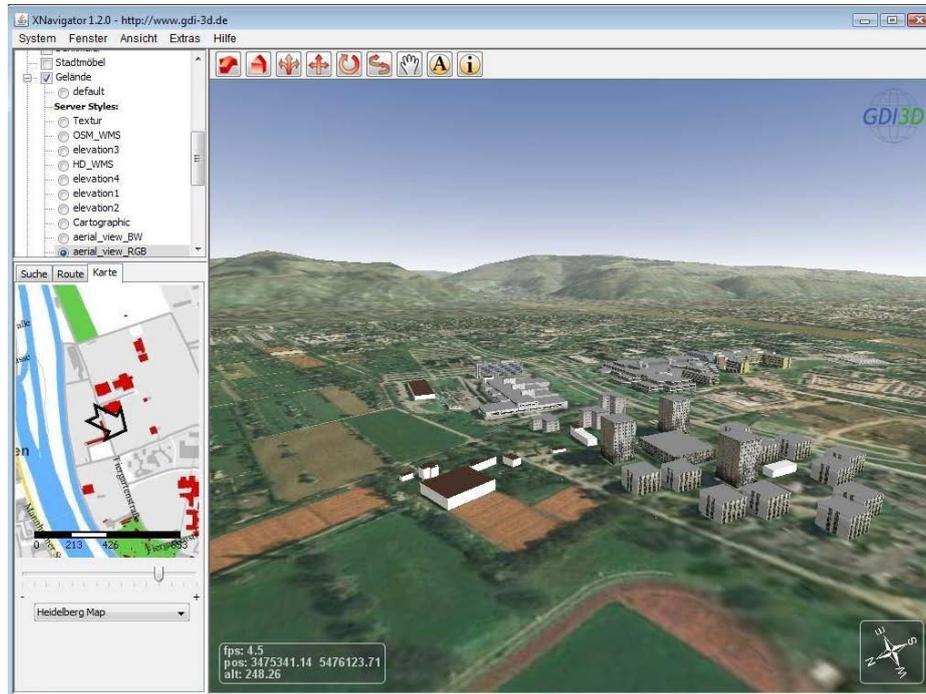


Fig. 7.7. Sistema de enrutamiento con WPS. <http://www.gdi-3d.de>.

También suelen permitir conexiones a servicios WFS para la carga de modelos tridimensionales. Este tipo de conexiones se realizan de manera ligera y permiten la carga de modelos 3D vía GML 3.0. o superiores. La arquitectura sobre la que se sustenta este tipo de conexiones es la siguiente (Fig. 7.8).

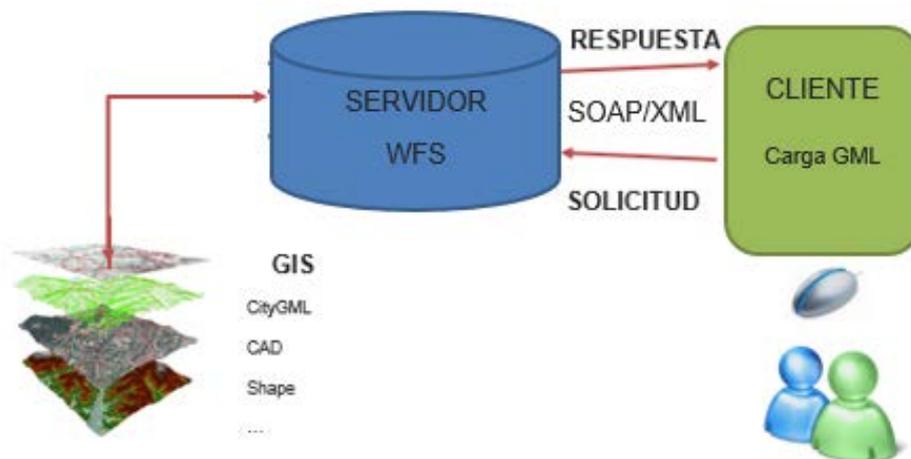


Fig. 7.8. Arquitectura de la conexión WFS mediante un cliente pesado. Elaboración propia

Desarrollos específicos para IG 3D

Los desarrollos específicos serían todos aquellos clientes pesados que se han desarrollado exprofeso para la visualización, navegación y consulta de la IG tridimensional.

Realizando un rastreo exhaustivo en Internet, podemos destacar como ejemplos de estos sistemas serían Google Earth, LandXplorer CityGML Viewer, ArcGIS Earth, TerrainView, FZKViewer-4.7 (Fig. 7.9).

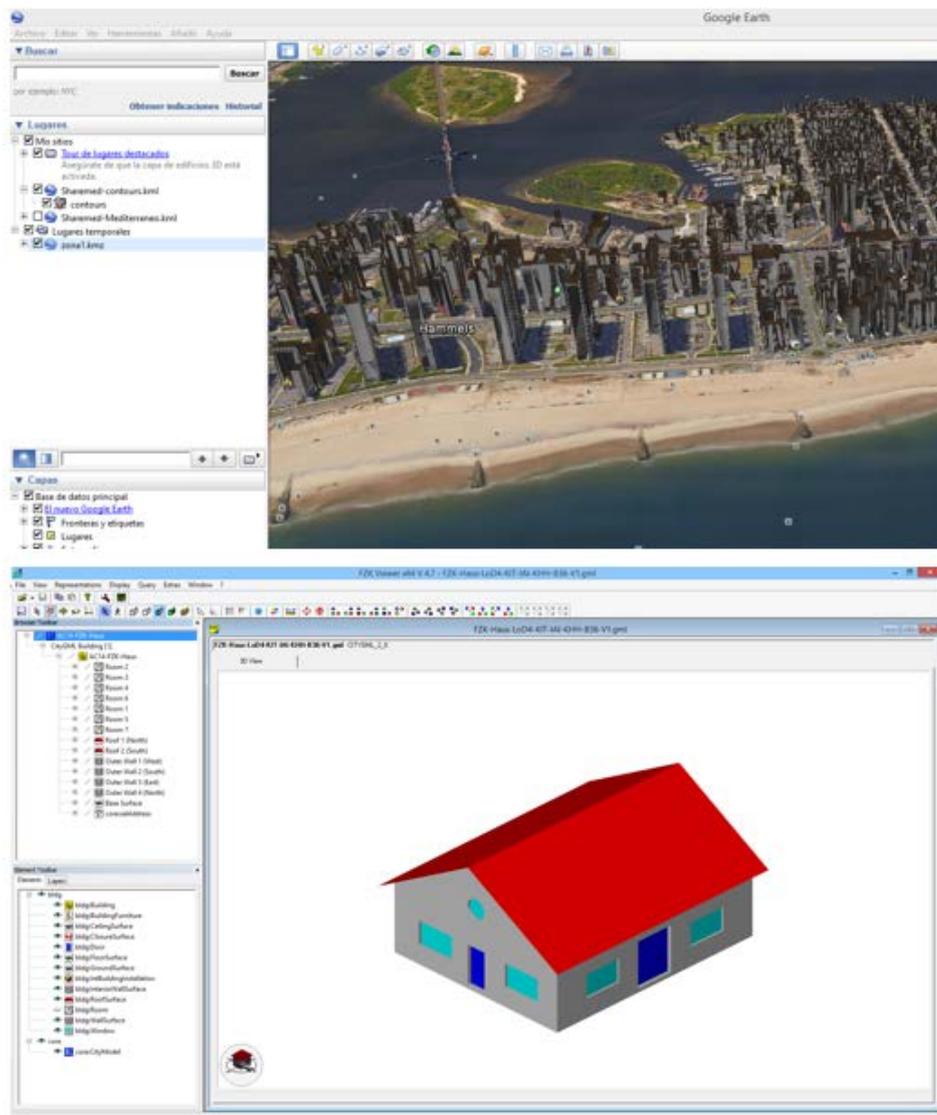


Fig. 7.9. Desarrollos específicos para 3D, Google Earth (arriba) y FZK Viewer (abajo).

Elaboración propia.

Hacia un modelo real de la Información Geográfica

La diferencia fundamental con los sistemas adaptados es que los desarrollos específicos tienen la misión fundamental de ser visualizadores de modelos 3D, por lo que la interfaz es mucho más sencilla e intuitiva. Respecto a las herramientas de navegación, son mucho más ágiles y estéticamente mejor desarrolladas.

Pero uno de los elementos diferenciadores es la posibilidad de este tipo de herramientas de consultar, en formato de árbol, las estructuras semánticas del modelo visualizado, tal y como se muestra en la Fig. 7.10.

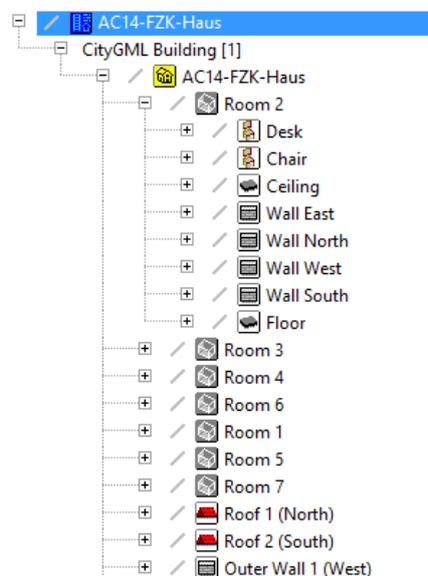


Fig. 7.10. Estructura de árbol de los elementos semánticos de un modelo 3D con FZK Viewer. Elaboración propia.

Esta capacidad surge de la ausencia de la necesidad de transformación a ningún sistema interno. La lectura de los archivos es directa. Sin embargo, esta capacidad posteriormente penaliza a este tipo de herramientas a la hora de poder hacer análisis o realizar geoprocursos, ya que no están preparadas para esto. Tengamos en cuenta que la carga de memoria entre los archivos GML no tiene nada que ver con la carga de los archivos en formato propietario de cada software del grupo de los sistemas adaptados. Por ejemplo, un modelo de edificación con 203000 elementos, en formato CityGML representa 273 MB de

memoria física, mientras que el mismo modelo, en formato Geodatabase de Esri, representa simplemente 9 MB de memoria.

Este tipo de herramientas carecen de geoprocesos de análisis de modelos 3D, ya que no están orientados hacia esa labor y, por lo general, sólo permiten conexiones a servicios WMS para servir como mapa base.

Desarrollos para modelos 3D genéricos

Los desarrollos para modelos 3D genéricos serían todos aquellos clientes pesados que se han desarrollado exprefeso para la visualización, navegación y consulta de modelos tridimensionales de todo tipo y para todo tipo de uso. Este tipo de herramientas son capaces de visualizar y manipular IG tridimensional gracias a distintos complementos de traducción de los formatos estandarizados como kml y CityGML a los formatos propietarios de estas herramientas, por lo general VRML, COLLADA, OBJ, STL, X3D, etc.

Ejemplos de estos sistemas serían Sketchup (Fig. 7.11), 3DStudioMax, Blender, BS Contact, etc.

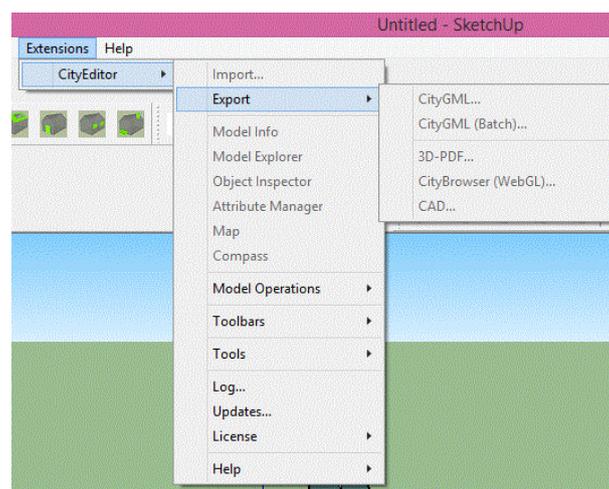


Fig. 7.11. Complemento para gestión de archivos CityGML en Sketchup. Elaboración propia.

Otro interesante proyecto, además del mostrado en la anterior figura, sería el de Scianna y Ammoscato (Scianna, A. y Ammoscato, A., 2010) en el que se

Hacia un modelo real de la Información Geográfica

establece una plataforma de comunicación de Blender con bases de datos espaciales de PostGIS. A través de scripts de Python, se permite interactuar Blender con PostGIS, permitiendo en el primero la visualización de los datos almacenados en el segundo y, en segunda instancia, exportar del primero, geometrías 3D al segundo.

Con este tipo de herramientas tampoco se pueden utilizar geoprocursos de análisis de modelos 3D, y no permiten conexiones a servicios OGC. Sin embargo, es en estos sistemas donde se pueden realizar operaciones geométricas complejas, pudiendo realizarse operaciones booleanas tipo juntar 3D, intersección 3D, extracción 3D, etc.

Este tipo de sistemas permiten también trabajar con la componente espacial, así que permiten realizar modelos variables con el tiempo, mostrando el dinamismo y la transición de un modelo determinado en una línea espacio temporal.

Software	CityGML/kml	Servicios	Geoprocursos	Edición 3D
gvSIG	✓	✓	X	X
QSIG	✓	✓	X	X
ArcGIS	✓	✓	✓	X
MapInfo	✓	✓	✓	X
GlobalMapper	✓	✓	✓	X
Google Earth	✓	X	X	X
LandXplorer CityGML	✓	X	X	X
ArcGIS Earth	✓	✓	X	X
TerrainView	✓	✓	✓	X
FZKViewer-4.7	✓	X	X	X
Sketchup	✓	X	X	✓
3DStudioMax	✓	X	X	✓
Blender	✓	X	X	✓
BS Contact	✓	X	✓	✓

Fig. 7.12. Tabla comparativa entre las distintas tipologías de clientes pesados.

Elaboración propia.

En la anterior figura (Fig. 7.12), se hace una comparativa entre las distintas tipologías de clientes pesados, conforme a las especificaciones que se han detallado.

7.2.2 CLIENTES LIGEROS

Respecto a los clientes ligeros, nos vamos a centrar en los navegadores de Internet, aunque a lo largo de esta investigación también se han localizado herramientas híbridas, es decir, programas de escritorio pero con un comportamiento de cliente ligero. Estos son, prácticamente en su totalidad, applets de java que se instalan en el ordenador para mostrar modelos 3D remotos a través de Internet.

El desarrollo de este tipo de clientes es una línea que está teniendo muchas contribuciones e importantes repercusiones. En los últimos años se ha producido un gran avance en tecnologías y herramientas que permiten generar, visualizar y analizar IG tridimensional a través de Internet, ofreciendo importantes soluciones a la investigación en áreas como la planificación urbanística, gestión de emergencias, catastros, etc. (Romeu, A. et al., 2012).

Es importante destacar cómo el germen inicial fueron los motores de visualización de gráficos 3D orientados, sobre todo, a la industria de los juegos (Alonso, B. 2012). Desde la década de los 90, se inició el desarrollo de librerías gráficas para la gestión de elementos tridimensionales, ofreciendo al usuario una interfaz de navegación sencilla. Inicialmente estas librerías se reducían básicamente a OpenGL (de código abierto) y DirectX (de Microsoft). A estas les siguieron lenguajes como Flash (de Adobe), O3D (de Google) y VRML (de código abierto). Estas primeras combinaciones adolecían de dos importantes problemas. Por un lado la dependencia total del navegador de internet y su versión y, por otro lado, de la necesidad de instalar su correspondiente plugin o complemento para poder trabajar con ellas.

Junto con el desarrollo de estas librerías gráficas, surgen los motores de juego, software compuesto, al menos, de un motor gráfico y una serie de librerías (sonido, físicas, etc.) ideado para la realización de aplicaciones 3D en las que la interacción con el usuario es lo más importante. Estos motores de juego han sido los grandes precursores del alto grado de desarrollo actual en materia de publicación de IG tridimensional en Internet, pudiéndose afirmar que la posibilidad de representar gráficamente modelos 3D en aplicaciones Web, y en lo referente a las IDE en Geoportales, es uno de los más importantes avances que la W3C está adoptando en los últimos años (Bochicchio, M. et al., 2011).

El gran cambio en la publicación de gráficos 3D en Internet ha venido acompañado por una serie de hitos importantes, como el desarrollo de HTML5 y la API WebGL, lo que hace que cualquier navegador pueda trabajar modelos 3D complejos, de una manera sencilla y ágil.

HTML5

HTML5 (HyperText Markup Language, versión 5), desarrollado por el W3C y publicada en octubre de 2014, es una de las versiones más importantes del lenguaje básico de la World Wide Web, HTML. HTML5 permite dos variantes de sintaxis, la clásica (text/html), conocida como HTML5 y una variante XHTML, conocida como XHTML5 (application/xhtml+xml), que han sido desarrolladas en paralelo. Desde el punto de vista de la IG, ha supuesto un revulsivo por la capacidad que tiene de, por un lado, obtener las coordenadas del dispositivo que lo ejecuta, lo que prácticamente facilita al máximo la interacción entre la posición del cliente y un sistema de localización en el servidor y, por otro lado, por su cambio radical en la representación gráfica de modelos 3D, tanto vía WebGL como mediante otros sistemas estandarizados como JAVA.

WebGL

WebGL (Web Graphics Library), diseñado y gestionado por el consorcio de tecnología sin ánimo de lucro Khronos Group, es un estándar que define una API basada en lenguaje JavaScript para renderizar gráficos 3D dentro de cualquier

Hacia un modelo real de la Información Geográfica

navegador. Uno de los aspectos más interesantes es que no necesita ningún complemento de instalación, ya que está integrado en todos los estándares web del navegador.

Además de las soluciones descritas en los párrafos precedentes, una revisión actualizada de lenguajes de gestión de objetos 3D nos ha permitido constatar cómo se desarrollan nuevas versiones de, destacando X3D, OBJ, STL y JSON, que permiten mostrar mediante WebGL modelos 3D generados mediante aplicaciones de escritorio y exportados a estos formatos para su visualización en Internet. Especial atención requiere X3D, elegido como estándar ISO y desarrollado en base a XML, cuenta con un DOM particular, una serie de eventos predefinidos, capacidad de scripting, soporte audio, video y sensores externos, shaders, animaciones o cálculos de físicas. Estas características lo han convertido en uno de los formatos más utilizado en la construcción de modelos virtuales (Fig. 7.13).

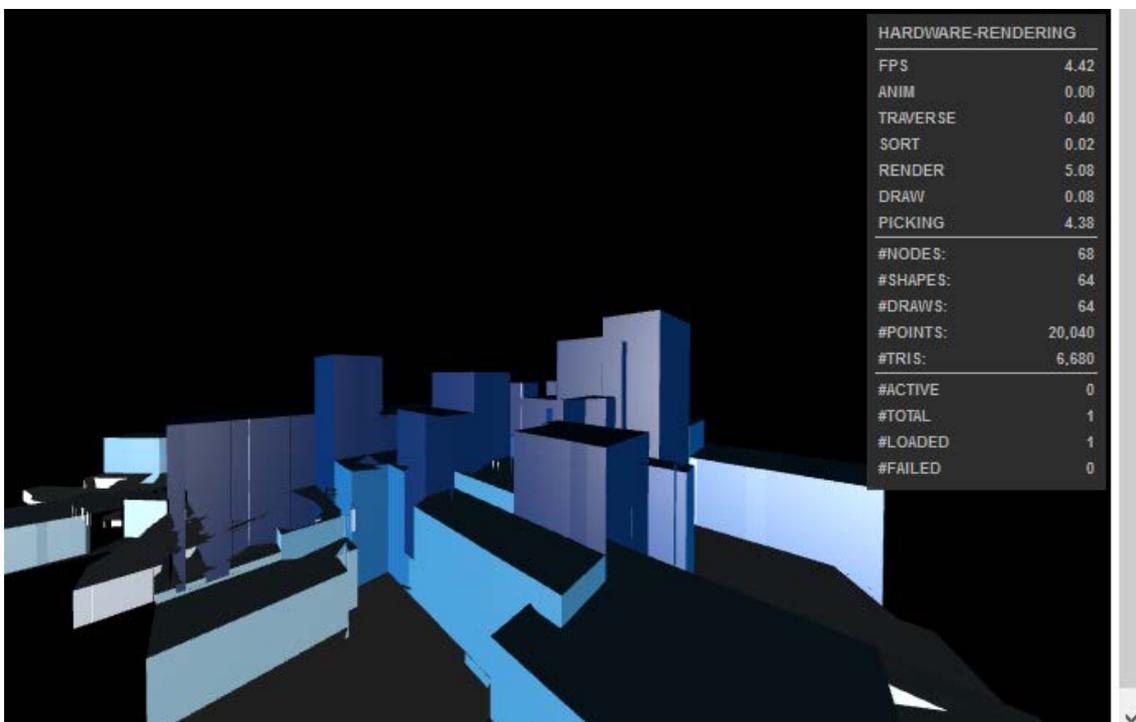


Fig. 7.13. Visualización 3D de archivo X3D en cliente ligero. Elaboración propia.

Como puede comprobarse, a la hora de hablar de clientes ligeros, realmente de lo que hablamos es de los navegadores de Internet, ya que como ya se ha comentado, los desarrollos actuales permiten que no sea necesario nada más para poder visualizar, manipular y gestionar modelos 3D en Internet.

7.3 PUBLICACIÓN DE IG 3D EN INTERNET

Una vez se han definido y establecido las diferencias entre los distintos tipos de clientes, en este apartado nos vamos a referir exclusivamente a las investigaciones y distintas soluciones que se están desarrollando en materia de publicación de IG tridimensional por Internet. Vamos a omitir la tipología concreta de publicación mediante enlaces a applets de Java, ya que se podría considerar como una mera descarga de un programa basado en la máquina virtual de JAVA.

Un applet es realmente un programa que puede incrustarse en un documento HTML. Al cargar una web en un navegador, la máquina virtual de JAVA lo reconoce y lo ejecuta. De esta forma, se pueden desarrollar programas que cualquier usuario puede ejecutar con su navegador. Sin embargo esto conlleva una fuerte dependencia de la máquina virtual de JAVA, necesaria en el ordenador donde se quiera ejecutar el applet y, por ende, de la versión y tipología de procesador (de 32 ó 64 bits).

Esta fuerte dependencia (algo similar a lo que le ocurre al cliente pesado gvSIG, que provoca que muchos autores no lo lleguen a considerar como un auténtico cliente de código abierto) junto con las posibilidades que ofrece actualmente la tecnología de Internet (tanto en cuestión de navegadores como de estándares) hace que no sea la estructura óptima e interoperable para este tipo de acciones. En este caso, nos vamos a centrar en la publicación directa a través de los navegadores de Internet, clientes ligeros.

Una de las primeras soluciones enfocadas a la publicación de IG tridimensional por Internet surge del OGC. Hacia el año 2005, el OGC publica "Web 3D Service" (OGC, 2005). En ese documento se discutía sobre un posible candidato a

Hacia un modelo real de la Información Geográfica

estándar para la visualización de IG 3D mediante un servicio. El nombre de dicho servicio sería W3DS. Dicho candidato no llegó a convertirse en estándar pero sobre el mismo se desarrollaron interesantes proyectos como Heidelberg-3D (www.heidelberg-3d.de). La idea era combinar WMS con una extensión de SLD (SLD 3D) que permitía mostrar objetos 3D con su simbolización determinada (Fig. 7.14).

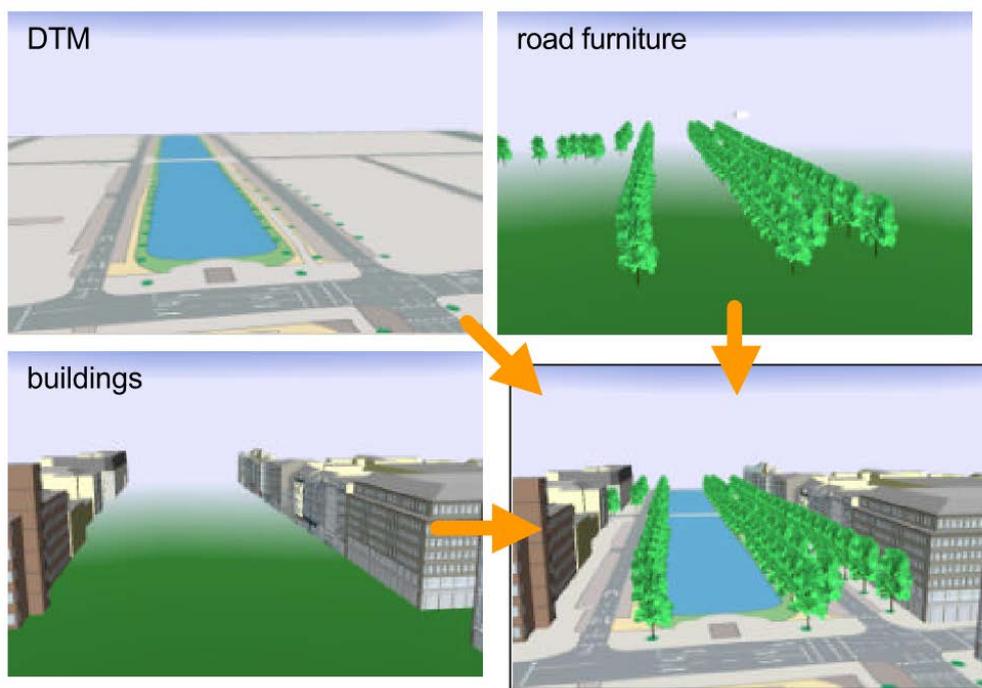


Fig. 7.14. Visualización compuesta de varias capas 3D mediante W3DS. OGC.

La estructura de este servicio era bastante sencilla (Cabada, M. et al., 2004) (Fig. 7.15) pero, a nivel de usuario, el resultado no era todo lo ágil que se podría esperar.

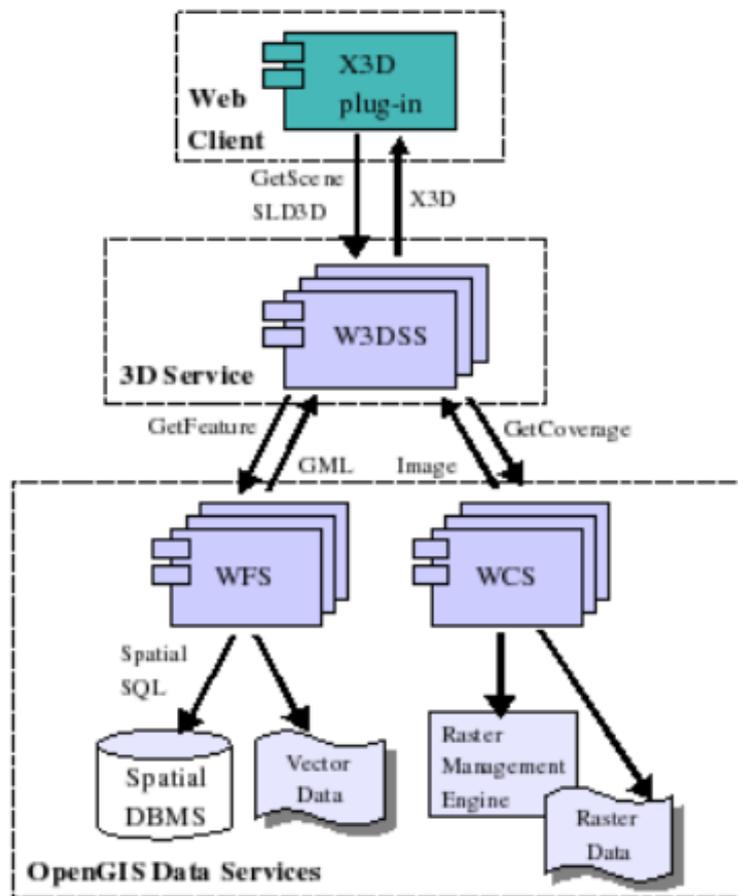


Fig. 7.15. Modelo de implementación de un servicio W3DS (Cabada, M. et al., 2004).

Con el paso del tiempo y los importantísimos avances en la visualización de gráficos 3D en navegadores de Internet, dicho candidato se quedó en eso, un candidato y los esfuerzos tanto del OGC como de otros consorcios relacionados con Internet se enfocaron en el desarrollo de lenguajes y librerías para el intercambio, visualización y gestión de modelos 3D. Así, el OGC desarrolló nuevas versiones de WFS y GML (CityGML), junto con la aparición de WebGL y HTML5 y distintos lenguajes de modelado 3D, como OBJ, STL, COLLADA, JSON, etc.

En la siguiente figura (Fig. 7.16), se recopilan y definen los lenguajes utilizados en servir modelos 3D con relevancia en el área de la IG tridimensional.

Hacia un modelo real de la Información Geográfica

NOMBRE	BASE	ESTANDAR	IG 3D	USO
VRML	text/plain	✓	X	X
O3D	text/plain	X	X	X
Flash	binary	X	X	X
COLLADA	XML	✓	Vía KML	✓
OBJ	text/plain	X	X	✓
STL	binary	X	X	✓
KML	XML	✓	✓	✓
X3D	XML	✓	✓	✓
CityGML	XML	✓	✓	✓
JSON	text/plain	✓	GeoJSON / TopoJSON	✓

Fig. 7.16. Lenguajes de modelos 3D utilizados en Internet. Elaboración propia.

Prácticamente todas las iniciativas de representación de IG 3D pasan por la representación mediante sistemas de Globos. Existen distintas soluciones, tanto comerciales, como de código abierto, pero prácticamente la totalidad pasan por el uso de WebGL como motor de representación. Existen globos virtuales de código abierto, como Cesium, NASA World Wind, WebGLEarth y otros globos de código propietario como Nokia Maps 3D, Google Maps WebGL, Existen incluso desarrollos específicos para plataformas no Windows, como MapBox Earth para iOS o Earth 3D para Android. De todas estas iniciativas, una de las más interesantes por su repercusión y potencialidad es, sin duda, Cesium.

Cesium es una biblioteca de JavaScript de código abierto para el desarrollo de globos y mapas 3D de cobertura mundial, sin necesidad de complementos ni ningún tipo de instalación (Fig. 7.17).



Fig. 7.17. Montaje Apache + Cesium + Batimetría del mar de Alborán. Elaboración propia.

Cesium es una biblioteca gratuita tanto para uso comercial como no comercial (se cede bajo la licencia Apache 2.0). Algunos aspectos interesantes de Cesium es que permite conexiones con otras importantes librerías como OpenLayers 3. Además de lo anterior se están haciendo diferentes proyectos para conseguir conectar Cesium con Geoserver, Cesium-GeoserverTerrainProvider, lo que permite que se visualicen en Cesium los MDT gestionados con Geoserver, proporcionando datos de elevación en formatos bil, png, gif y jpeg.

También existen importantes esfuerzos en la creación de servidores de terreno para Cesium, como el Cesium Terrain Server, que permitiría generar MDT compatibles para esta librería. . Es importante también destacar que Cesium permite la carga de archivos kml y JSON, y que también permite importar a su formato nativo modelos COLLADA y, además permite incorporar imágenes tileadas (distribución piramidal de imágenes rectangulares) y vectores. Por todos estos motivos, se ha convertido en la librería más utilizada a la hora de publicar IG tridimensional en Internet.

Para Cesium existen dos formatos distintos de MDT, por un lado el quantized-mesh-1.0 terrain format y por otro lado permite también el heightmap-1.0 terrain

Hacia un modelo real de la Información Geográfica

format. Ambos son, prácticamente, pirámides de mapas de altura de multi-resolución de acuerdo con el diseño de Tile Map Service (TMS).

Con estos formatos y la posibilidad de interacción con los formatos de archivos mencionados, se podría desarrollar cualquier página web de publicación de IG tridimensional. Tal es el éxito de Cesium que se ha diseñado un formato, denominado CZML, con la idea de proponerlo como estándar ante el OGC.

Otra importante aportación es la correspondiente a la NASA, con su World Wind. World Wind es una API gratuita de código abierto para la creación de globos virtuales. World Wind permite crear visualizaciones interactivas de mapas en 3D. World Wind se pes multiplataforma, trabajando tanto en Windows, Mac y Linux, así como a las aplicaciones móviles. Permite conexiones WMS y la carga de archivos shape, gpx, geojson y, a destacar, CityGML (Fig. 7.18).

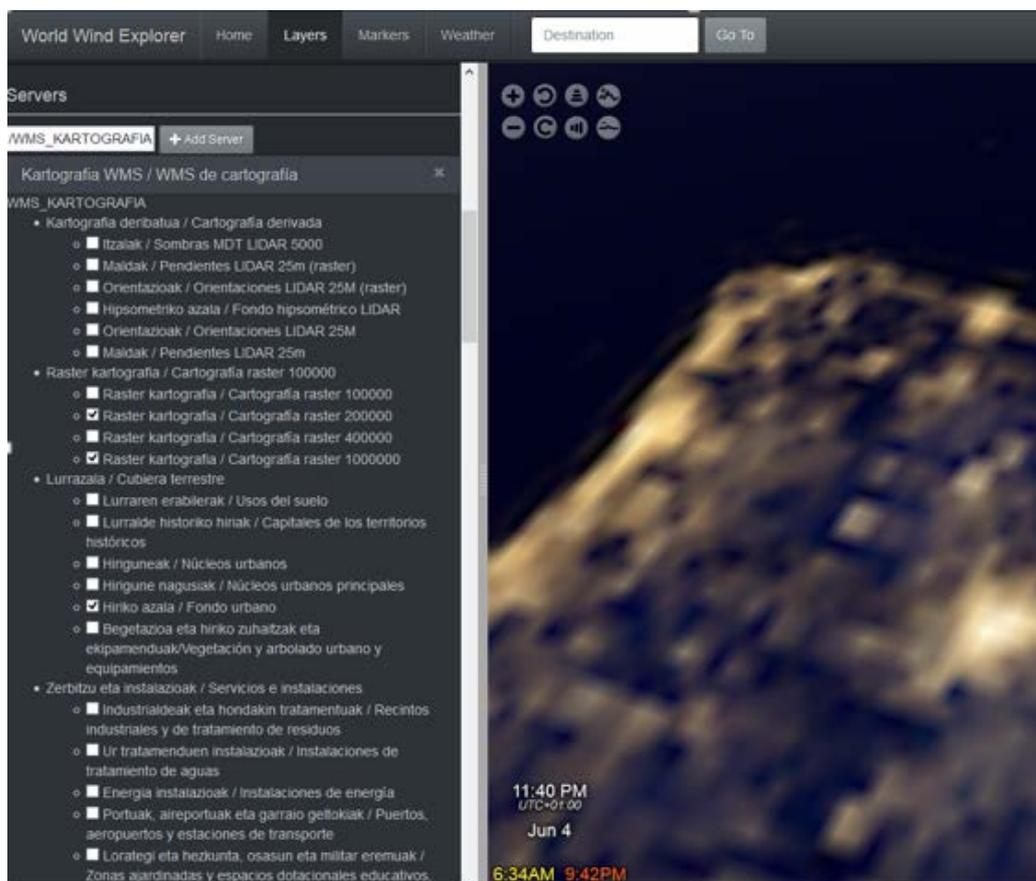


Fig. 7.18. NASA W.W. con conexiones WMS a GeoEuskadi. Elaboración propia.

Hacia un modelo real de la Información Geográfica

Independientemente de la solución escogida para publicar IG tridimensional por Internet, lo que hemos podido constatar como una constante es el la marginación del uso directo de CityGML con la consiguiente transformación a otro formato de mejor rendimiento, por lo general JSON y texturizado mediante el formato de archivo dds (Fig. 7.19). El formato de archivo dds (DirectDraw Surface), es un formato de Microsoft para almacenar datos comprimidos con el algoritmo S3 Texture Compression (S3TC), muy utilizado en los sistemas de publicación 3D en Internet. La compresión de textura S3, también conocida como DXTn o DXTC, es un conjunto de algoritmos para su uso en aceleradores de gráficos 3D. Fue incluida en Microsoft DirectX 6.0 y OpenGL 1.3 y se convirtió en una adopción generalizada por los fabricantes de hardware y software. Su uso generalizado lo han convertido en requisito de facto para que los motores de OpenGL lo soporten, pero con la actual política de software abierto relacionada con las IDE, está provocando problemas de uso con este tipo de algoritmos, por lo que se están buscando alternativas libres de patentes como S2TC.

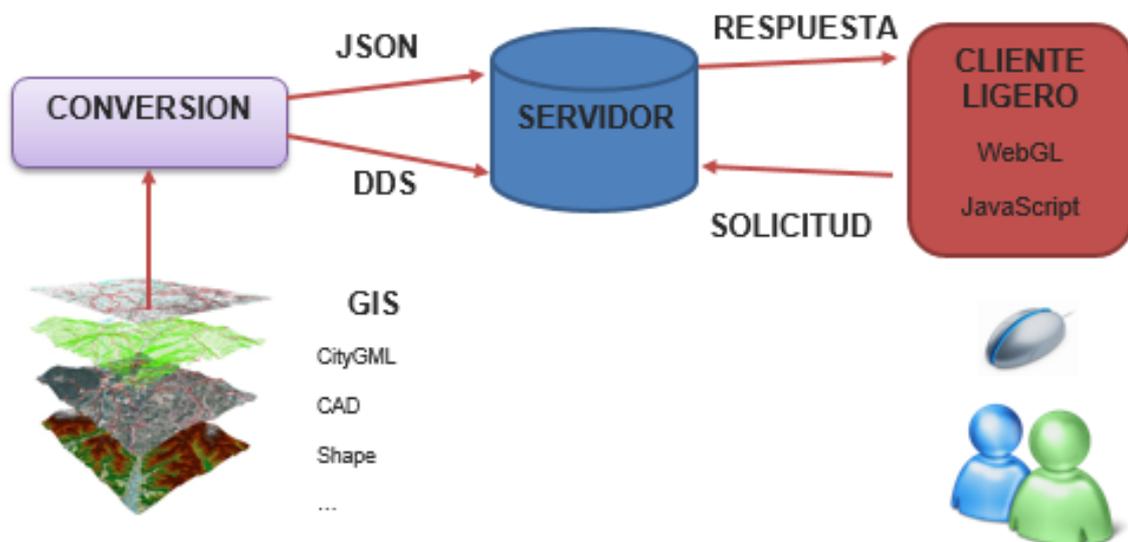


Fig. 7.19. Esquema funcional de publicación de IG 3D en Internet. Elaboración propia.

De la figura anterior se desprende que el usuario, mediante las distintas acciones de entrada/salida, principalmente con el ratón, realiza solicitudes de navegación

Hacia un modelo real de la Información Geográfica

y/o consulta a través de su cliente ligero. El servidor remoto recibe estas solicitudes, las procesa y las envía de nuevo al cliente ligero, cuyo motor de WebGL y la interpretación de JavaScript permite obtener el resultado requerido.

La conversión de los formatos SIG estandarizados y habituales a JSON se hace prácticamente necesaria ya que, JSON es más eficiente y más rápido que CityGML. Su estructura es más compacta y es más fácil de parsear (leer). El formato dds, por su parte, es el formato nativo de texturas de la tarjeta gráfica (GPU) de gran parte de los ordenadores y permite, a su vez, la carga de texturas de manera progresiva mediante mipmaps (grupos de imágenes de mapas de bits que acompañan a una textura principal para aumentar la velocidad de renderizado).

Desde un punto de vista exclusivo del cliente, las interacciones detalladas con el servidor deberían seguir un esquema muy similar al siguiente (Fig. 7.20).

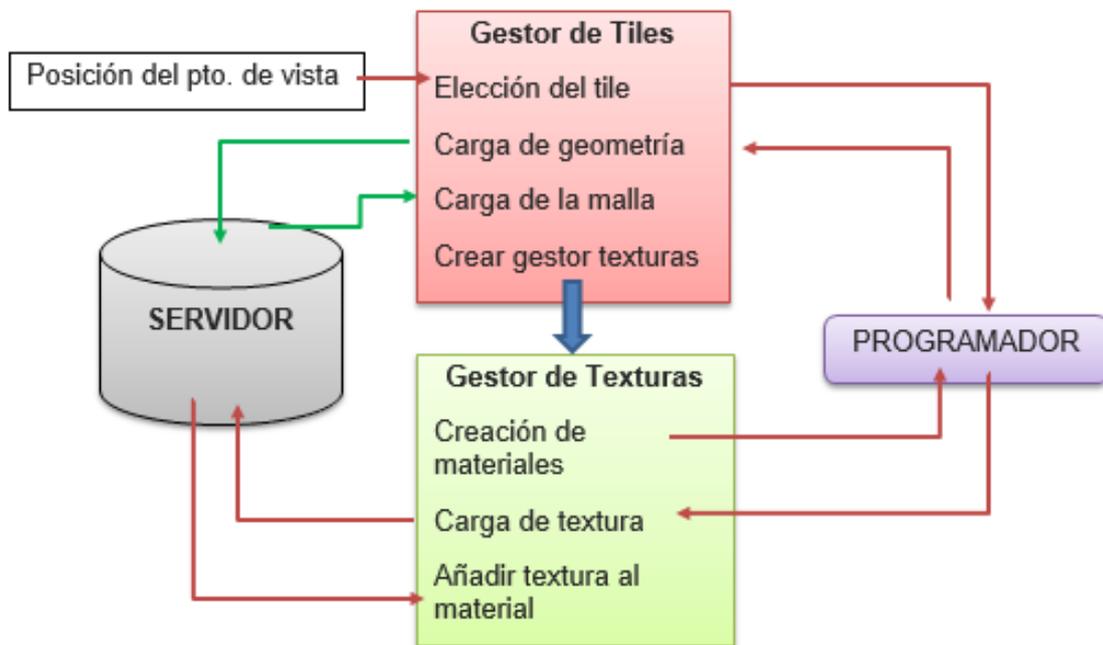


Fig. 7.20. Arquitectura detallada de cliente 3D para publicación de IG 3D en Internet.
Elaboración propia.

7.4 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO

Como se ha podido comprobar a lo largo del presente capítulo, de las dos grandes posibilidades de publicación de IG tridimensional, mediante clientes pesados o mediante clientes ligeros, existen soluciones para poder llevar a cabo este proceso, bien directamente a través de la carga de ficheros mediante archivos, bien mediante conexiones del tipo WFS.

Además se ha podido comprobar la gran cantidad de investigaciones que se han desarrollado en los últimos años sobre la publicación de IG 3D, poniendo el foco de atención en la publicación por Internet. A pesar de esto, es necesario poner de manifiesto la necesidad de herramientas capaces de aglutinar tanto las posibilidades de conexión a modelos 3D vía fichero (CityGML, kml, etc.) o vía conexión WFS, manteniendo las capacidades de análisis y procesado avanzados de modelos 3D, en un entorno de navegación ligero, intuitivo y fácilmente interaccionable. Es decir, se trataría de herramientas con la comodidad de uso en lo relativo a interface, que se puede ver en los clientes ligeros, añadiendo la potencia de análisis y gestión de los clientes ligeros, tanto a nivel de procesado como a nivel de creación de elementos 3D.

Por todo lo anterior, se podría responder de manera afirmativa, desde el punto de vista de la publicación de IG tridimensional, a tres de las hipótesis de trabajo planteadas hasta el momento:

1. Las IDE 3D son realmente necesarias para dar solución a una serie de problemas que se plantean a corto plazo en relación con distintas áreas técnico-científicas y la publicación de modelos 3D para posteriores análisis y toma de decisiones.
2. Aunque la evolución de una manera estandarizada y rápida no es sencilla, las IDE 3D son proyectos abordables gracias a los distintos desarrollos e investigaciones que se han abordado en los últimos años respecto a la tercera dimensión y la IG, sobre todo en el área de la publicación.
3. Uno de los aspectos más importantes a afrontar por las IDE, relacionado con la tridimensionalidad, es la comunicación de la IG tridimensional a

través de Internet, que como se ha podido comprobar está en total efervescencia de ideas, conceptos, estándares, etc.

Sin embargo, a pesar de estas afirmaciones, resulta necesaria una convergencia entre los sistemas desarrollados como clientes pesados y los clientes ligeros.

8 CONCLUSIONES

A lo largo de la presente tesis se ha llevado a cabo una revisión de los componentes de una IDE en lo que a las necesidades para representación de IG tridimensional se refiere. La investigación ha sido abordada desde un punto de vista cualitativo, presentando los problemas o carencias que se han podido observar y aportando las necesidades, soluciones y líneas de investigación que se están desarrollando en la actualidad para paliarlas.

Este proceso de análisis y aporte de soluciones se ha desarrollado completando todo el ciclo de elementos que conforman una IDE, abarcando el punto de vista de la gestión interna de la IG, la normativa de metadatos y servicios de catálogo, pasando por los protocolos de intercambio y comunicación de la IG tridimensional y, finalmente, terminando con las herramientas de gestión del cliente final de este tipo de infraestructuras.

El resultado final, a grandes rasgos, ha permitido observar cómo en el momento actual las IDE poseen el potencial y los medios suficientes para poder gestionar y publicar información tridimensional, si bien existen algunas lagunas en determinados servicios o componentes de las mismas.

En lo referente a la parte correspondiente a la gestión interna de una IDE, se llegaba a la conclusión de que existen las suficientes herramientas, modelos, formatos, etc. para poder ser desarrolladas. Se anotaba la situación de continuo avance tanto en el desarrollo de herramientas de gestión, con potentes programas y BB.DD., así como las variadas líneas de investigación en lo referente a algorítmica para la creación de información semántica a partir de grandes nubes de puntos.

En lo referente a las normas de metadatos aplicables a las IDE, se observaban lagunas en lo que a la IG tridimensional se refiere. Dichas lagunas se comunicaban, como no podía ser de otra forma, a los servicios de catálogo, encargados de permitir las búsquedas y filtrados de IG tridimensional. Pero también se aportaban algunas soluciones ante estas carencias y se argumentaba que dichas carencias eran fácilmente solventables en futuras revisiones de las distintas normas.

Por lo que respecta a los protocolos de intercambio y comunicación, a lo largo de la presente investigación se ha constatado la existencia de suficientes servicios diseñados y desarrollados para servir modelos 3D. Sin embargo, se han detectado algunas lagunas importantes, sobre todo en lo referente al lenguaje de intercambio en los servicios WFS, mostrando las debilidades y los puntos fuertes de los lenguajes de intercambio y resaltando la existencia de formatos más eficientes en materia de intercambio de modelos 3D. Al mismo tiempo, se presentaban nuevos estándares enfocados a dar servicio a funcionalidades tan importantes como la localización indoor.

Finalmente, en lo que respecta a la parte del cliente final de una IDE, se ha puesto de manifiesto la existencia de distintas soluciones para poder llevar a cabo los procesos de visualización, consulta, navegación, etc. Sobre los modelos 3D. Además se ha podido comprobar la gran cantidad de investigaciones que se han desarrollado en los últimos años sobre la publicación de IG 3D, poniendo el foco de atención en la publicación por Internet. Pero como ocurría en otros componentes de una IDE, se indicaba la necesidad de desarrollar herramientas con la comodidad de uso en lo relativo a interface, que se puede ver en los clientes ligeros, añadiendo la potencia de análisis y gestión de los clientes ligeros, tanto a nivel de procesado como a nivel de creación de elementos 3D.

8.1 PROPUESTA FUNCIONAL DE UNA IDE 3D

Para finalizar, con la intención de completar el ciclo investigador, se propone el siguiente esquema funcional, señalando las deficiencias o carencias encontradas y proponiendo cambios o medidas a tomar para hacer posible el desarrollo de las IDE 3D. Dicho diseño se muestra en las tres siguientes figuras (Fig. 8.1), (Fig. 8.2) y (Fig. 8.3). El modelo completo se presenta en la página 183.

Se constata la situación de continuo avance tanto en el desarrollo de herramientas de gestión, con potentes programas y BB.DD., como en las variadas líneas de investigación que abordan lo referente a algorítmica para la

Hacia un modelo real de la Información Geográfica

creación de información semántica a partir de grandes nubes de puntos. Una vez creados los modelos, además tenemos la posibilidad de afrontar el desarrollo tanto desde un punto de vista de sistema libre, como utilizando sistemas propietarios, si bien la filosofía intrínseca de una IDE es la del desarrollo lo más abierto posible.

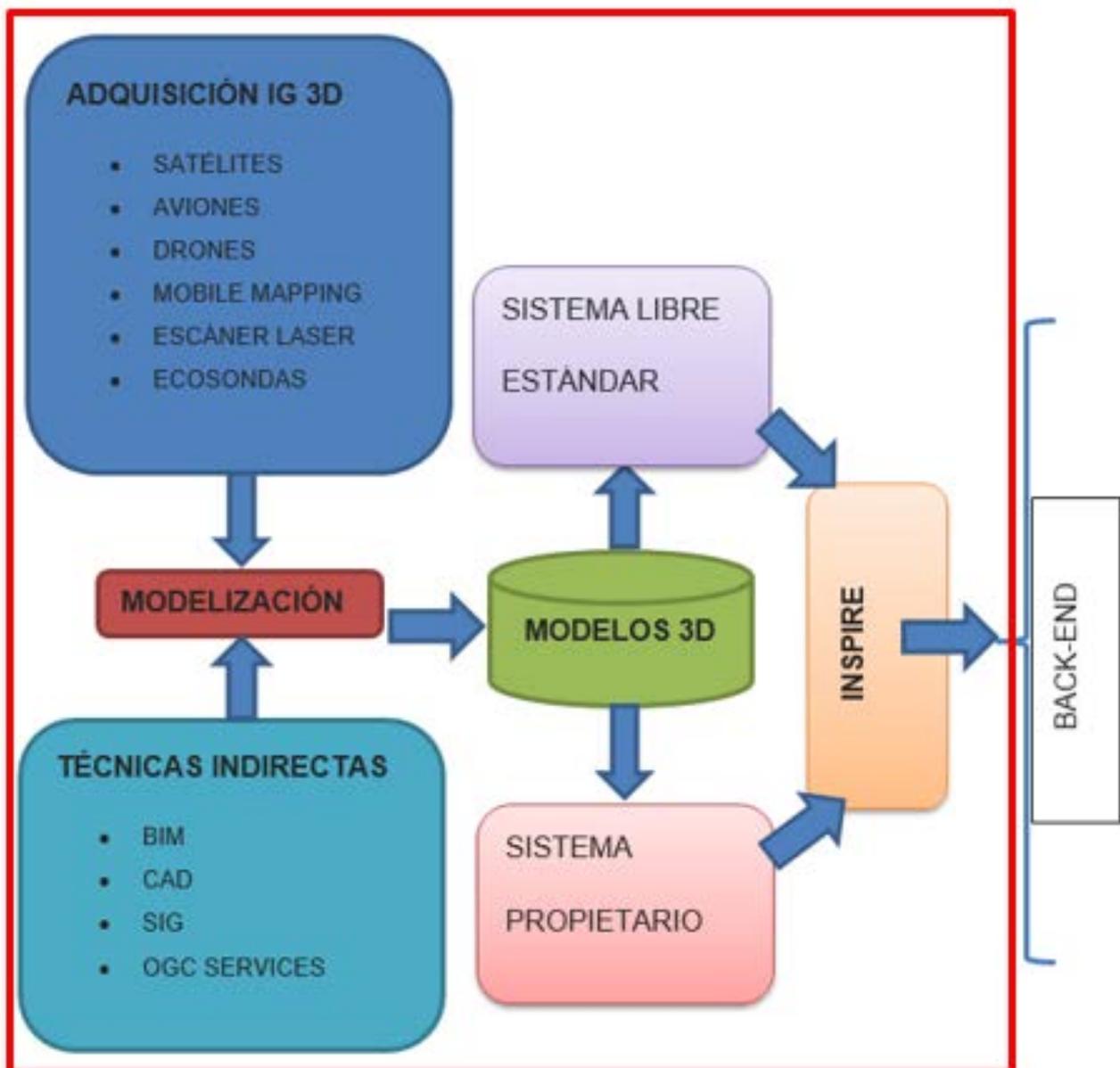


Fig. 8.1. Elementos de adquisición de IG 3D para entrada en la IDE. Elaboración propia.

Hacia un modelo real de la Información Geográfica

Tras esta distinción, el siguiente paso sería el desarrollo del *back-end*, habiendo cumplido previamente las distintas normativas (INSPIRE) en la parte referente al modelo de datos.

En lo relativo tanto a la parte del *back-end* como del *middleware* (conjunto de componentes desarrollados que sirven para integrar aplicaciones) (Fig. 8.2), en este apartado sería necesario contemplar la normativa en materia de metadatos aplicables a las IDE.

Respecto al sistema de almacenaje de los modelos 3D, tenemos distintas posibilidades, pasando desde un sencillo sistema de archivos, una BB.DD. relacional o, incluso incorporando las últimas tendencias en materia de BB.DD. no relacionales que están aportando importantes avances en la comunicación de grandes cantidades de datos (Big Data) de todo tipo, incluidos los geográficos. El paso del *back-end* al *middleware* se podría hacer en función de la alternativa de almacenaje, mediante archivos (CityGML, JSON, etc.) o sentencias SQL, para las BB.DD. relacionales.

Por lo que respecta a los protocolos de intercambio y comunicación, la parte del *middleware*, a lo largo de la presente investigación se ha constatado la existencia de suficientes servicios diseñados y desarrollados para servir modelos 3D. Todo esto, junto con las distintas tipologías de lenguajes y formatos de intercambio de modelos 3D, nos daría paso a la parte de *front-end*, bien mediante servicios HTTP, FTP o web services.

Hacia un modelo real de la Información Geográfica

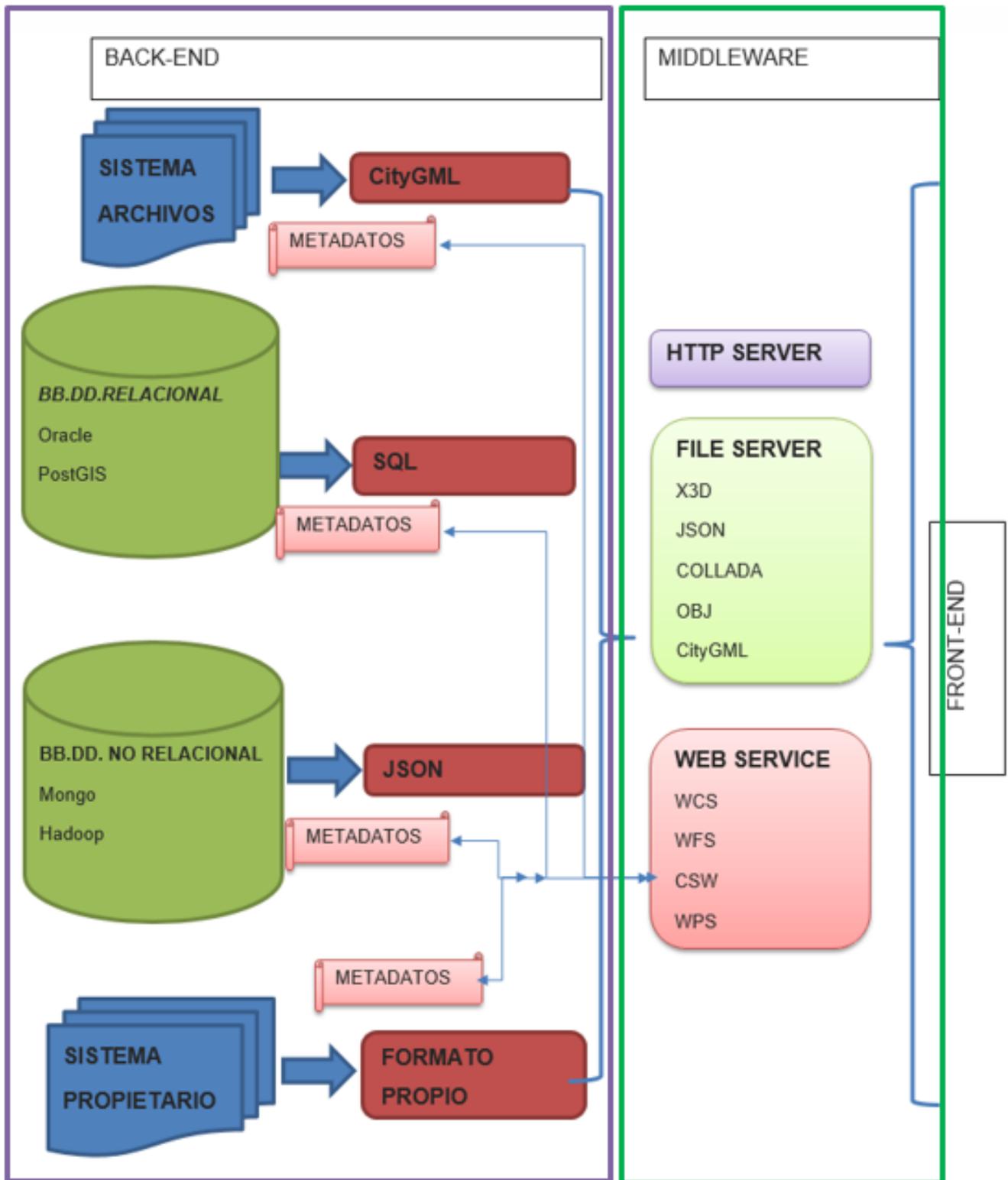


Fig. 8.2. Esquema de Back-End y Middleware de una hipotética IDE 3D. Elaboración propia.

Hacia un modelo real de la Información Geográfica

Finalmente, en lo que respecta a la parte del cliente final, la parte correspondiente al *front-end*, se propone una variante, dependiendo de si el uso lo va a hacer el usuario desde un navegador de internet (cliente ligero) o desde un software de escritorio (cliente pesado). Si la idea es el uso desde la primera opción se propone el desarrollo de aplicaciones web o la adaptación de globos con conexiones a los servidores que alojan la información tridimensional. Si, por el contrario, el usuario necesita más capacidad de análisis y geoprocreso, se recomienda el uso de herramientas de escritorio que permitan la carga de modelos 3D y conexiones a servicios WFS.

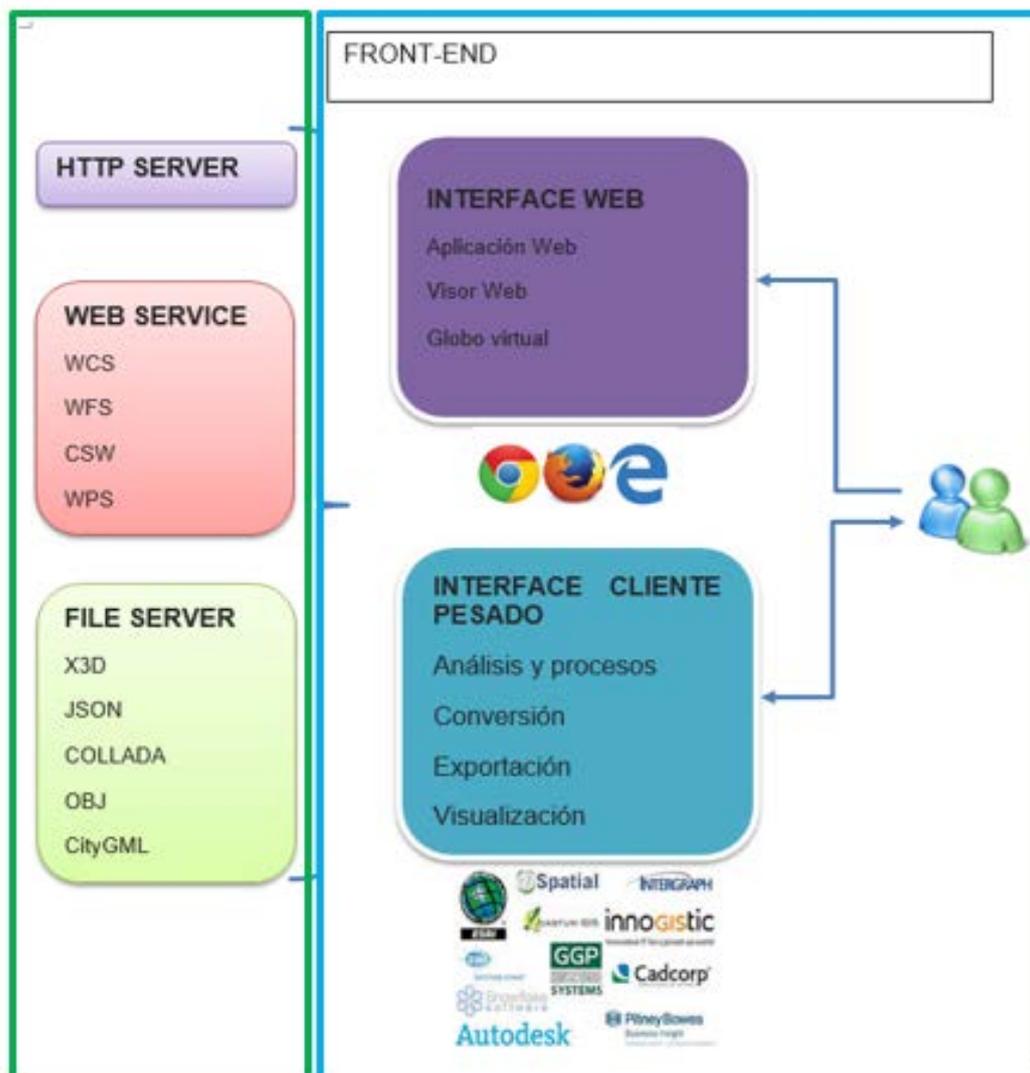
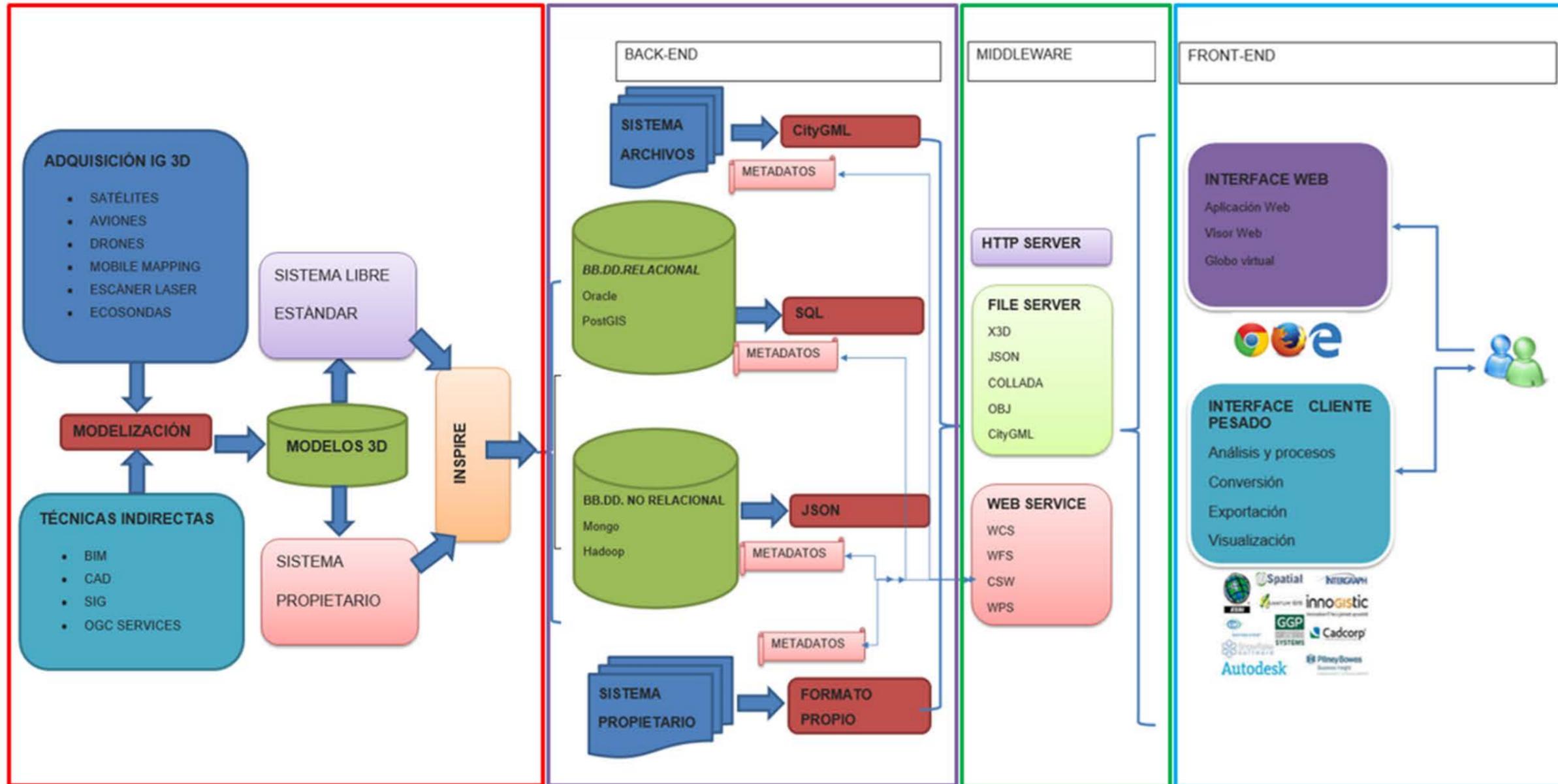


Fig. 8.3. Esquema de Front-End de una hipotética IDE 3D. Elaboración propia.

PROPUESTA FUNCIONAL DE UNA IDE 3D



8.2 OBJETIVOS E INTERROGANTES RESUELTOS

El principal objetivo ha sido, desde un principio, desarrollar una completa investigación sobre las IDE en materia de IG tridimensional, abordando el análisis desde todos los elementos que las integran. Este enfoque globalizador ha permitido dotar de una mayor riqueza interpretativa al análisis de lo que está sucediendo en el desarrollo de las IDE 3D, a su evolución.

Otro de los objetivos conseguidos ha sido componer un estado del arte que muestra la situación actual de las IDE con respecto a la tercera dimensión, analizando las iniciativas, tanto públicas como privadas, desarrolladas hasta la fecha, en torno a las IDE tridimensionales (lenguajes, modelos de datos, servicios, programas informáticos, bases de Datos Espaciales...).

Se ha conseguido también definir los elementos necesarios para poder implementar una IDE tridimensional, teniendo en cuenta todos los parámetros de desarrollo, tanto técnicos como legales, necesarios para cumplir con los actuales marcos tecnológicos, normativos, jerárquicos y legales.

Respecto a los **interrogantes** que se plantearon para esta investigación, a lo largo de la misma se han ido detallando las líneas de futuro hacia las que tenderán las IDE, se ha comprobado que el problema de la tercera dimensión forma parte de estas líneas de investigación y se ha constatado que el avance actual de las IDE no es del todo completo como para albergar, gestionar y publicar de una manera eficiente, información tridimensional.

Finalmente se ha indicado quiénes son los mayores impulsores de IDE 3D y cuáles son las líneas de investigación que actualmente se encuentran más maduras en este ámbito.

8.3 VERIFICACIÓN DE HIPÓTEIS

En los distintos capítulos, se ha ido comprobando el cumplimiento de las hipótesis planteadas al inicio de la investigación. Así pues, se puede afirmar el cumplimiento de las siguientes hipótesis:

1. **La tercera dimensión es realmente uno de los problemas a afrontar dentro de las IDE.** Conforme a las investigaciones desarrolladas ha quedado constatada y verificada esta hipótesis, tal y como se desprende de las entrevistas realizadas a importantes personas de renombre nacional e internacional en el área de las IDE, como queda argumentado en los capítulos 1 y 3. Por otro lado, también se puede inferir directamente la verificación de esta hipótesis del análisis del sistema de seguimiento y actualización de la investigación que se ha desarrollado para esta tesis, comentado en el capítulo 2, en el que se consigue rastrear más de 1400 enlaces bibliográficos en cinco años, relacionados directamente con palabras clave en materia de IDE 3D. Como puede apreciarse, la comunidad científica está desarrollando numerosas investigaciones en esta materia.
2. **Las IDE 3D son realmente necesarias para dar solución a una serie de problemas que se plantean a corto/medio plazo en relación con distintas áreas técnico-científicas.** La verificación de esta hipótesis llega del análisis de la bibliografía utilizada para esta investigación, en la que como ya se ha puesto de relieve en varios capítulos de la misma, el medio más homogéneo, interoperable y estandarizado para la gestión y publicación de IG, incluyendo la tridimensional, son las IDE. Además se ha constatado que si a la potencialidad de una IDE le añadimos las posibilidades que los modelos tridimensionales ofrecen en materia de análisis en multitud de áreas técnico-científicas, el resultado final es una herramienta con mayor capacidad de obtención de respuestas y alternativas a la hora de la toma de decisiones relacionadas con el entorno y aplicable a una gran cantidad de áreas de estudio. Esta necesidad es también fácilmente extraíble del análisis de varias líneas de investigación que se han aportado en esta tesis, en las que se plasma el interés de comunicar plataformas técnico científicas, como los BIM,

la realidad virtual, la realidad aumentada, por ejemplo, con las IDE tridimensionales.

3. **Aunque la evolución de una manera estandarizada y rápida no es sencilla, las IDE 3D son proyectos abordables gracias a los distintos desarrollos e investigaciones que se han abordado en los últimos años respecto a la tercera dimensión y la IG.** A lo largo de los capítulos 4, 5 y 6 se han mostrado los distintos avances en materia de desarrollo de las IDE 3D, en lo que a sus distintas partes funcionales se refiere. Del mismo modo se han mostrado lagunas o deficiencias y se han puesto en valor líneas de investigación dirigidas a hacer de las IDE 3D plataformas estandarizadas efectivas y eficientes de cara a la gestión y publicación de IG tridimensional. Por todo lo anterior, se puede decir que hay mucho trabajo desarrollado y que la hipótesis quedaría verificada, si bien tal y como en la misma se argumenta, quedan numerosas líneas por desarrollar y hacer llegar a los distintos protagonistas de una IDE, desde los desarrolladores hasta el usuario final.
4. **Uno de los aspectos más importantes a afrontar por las IDE, relacionado con la tridimensionalidad, es la comunicación de la IG tridimensional a través de Internet.** Esta hipótesis queda verificada a lo largo del capítulo 7, en el cual, conforme a la tendencia natural de las plataformas de uso de IG, en general, la progresión es ir avanzando en la publicación en Internet. Esto es totalmente aplicable a las IDE 3D, lo que se traduce en muchas de las líneas de investigación y aportes que se han presentado a lo largo de este capítulo. Conforme se van haciendo progresos en materia de publicación de modelos 3D en Internet, sobre todo enfocados a juegos y plataformas de ocio, las IDE se nutren de estos aportes para realizar progresos en paralelo, como no podía ser de otra forma.

8.4 LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN FUTURAS

Durante los distintos capítulos que conforman esta tesis se han ido mostrando diferentes líneas de investigación sobre distintos aspectos relacionados con las IDE 3D. Como se ha podido comprobar, son numerosas las líneas de

investigación que se están desarrollando en relación con la IG tridimensional, sin embargo, de cara al desarrollo de una IDE, las líneas más interesantes a futuro serían:

8.4.1 Desarrollo de BB.DD. con capacidad de almacenaje de modelos 3D

La principal línea de investigación en lo que a la gestión de la información interna se refiere, es, sin duda, el desarrollo de BB.DD. con capacidad de almacenaje de modelos 3D. En este sentido tanto Oracle, como PostGIS y otras iniciativas menores están desarrollando importantes esfuerzos en mejorar y ampliar las posibilidades de gestión de modelos 3D.

8.4.2 Algoritmos para obtención de modelos 3D semánticos

Otra línea muy prometedora es la del desarrollo de algoritmos para pasar de forma más o menos automatizada, de modelos 3D brutos a modelos 3D semánticos, tanto en lo que se refiere a nubes de puntos como a píxeles.

8.4.3 Ampliación de normativa de metadatos en materia de IG 3D

En lo que a los metadatos se refiere, las investigaciones a futuro se centrarán, sin duda, en la presentación de nuevas alternativas de ampliación de las actuales normas en materia de modelos 3D. A lo largo de esta investigación se ha mostrado la debilidad de éstas con respecto a la IG 3D, por lo que se hace del todo necesario desarrollar nuevas líneas de investigación de cara a resolver estos problemas.

8.4.4 Mejora de los lenguajes de intercambio

Probablemente la línea de investigación más importante en esta materia esté relacionada con la mejora del lenguaje de intercambio, bien definiendo nuevos protocolos, bien mejorando los protocolos actuales (kml, GML). La posibilidad de dotar a los formatos de la propiedad del multidetalle o la mejora del modelo de CityGML para su mejora en versatilidad, son algunos ejemplos de posibles líneas de investigación.

8.4.5 Publicación de IG 3D

En lo que a las líneas de investigación a futuro relacionadas con las IDE 3D en materia de publicación, probablemente sea aquí dónde haya más recorrido. Existen numerosas iniciativas de cara a la publicación de modelos 3D en Internet, tanto en la parte de cliente, como en la parte de servidor.

Además hay que destacar también las investigaciones que están realizando las compañías de desarrollo de software para crear plataformas de trabajo ágiles y potentes, tanto en lo respectivo a la navegación como en la parte de geoprocesos.

9 BIBLIOGRAFÍA

Abdul-Rahman, A. (1992). Triangular irregular network in digital terrain relief modelling (M. sc. thesis). *ITC, Enschede, the Netherlands, 80pp,*

Abdul-Rahman, A., & Pilouk, M. (2008). Spatial data modelling for 3D GIS.

Ahearn, L. (2005). *El arte de los juegos 3d/the art of 3d games (diseno Y creatividad)* Anaya Publishers.

Alonso Rodríguez, B. (2012). *Integración del catastro 3D en una plataforma de simulación 3D*

Arens, C., Stoter, J., & Van Oosterom, P. (2005). Modelling 3D spatial objects in a geo-DBMS using a 3D primitive. *Computers & Geosciences, 31(2), 165-177.*

Arroyo Ohori, K., Ledoux, H., & Stoter, J. Visualising higher-dimensional space-time and space-scale objects as projections to R^3 . *PeerJ Preprints, 5, e2844v1.*

Baik, A. (2017). From point cloud to jeddah heritage BIM nasif historical House—case study. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage,*

Basanow, J., Neis, P., Neubauer, S., Schilling, A., & Zipf, A. (2008). Towards 3D spatial data infrastructures (3D-SDI) based on open standards—experiences, results and future issues. *Advances in 3D geoinformation systems* (pp. 65-86) Springer.

Bernabé-Poveda, M. Á., & López-Vázquez, C. M. (2012). *Fundamentos de las infraestructuras de datos espaciales (IDE)* BibliotecaOnline SL.

Biljecki, F., Ledoux, H., & Stoter, J. (2016). Generation of multi-lod 3d city models in citygml with the procedural modelling engine random3dcity. *ISPRS-International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, , 51-59.*

Biljecki, F., Ledoux, H., & Stoter, J. (2017). Generating 3D city models without elevation data. *Computers, Environment and Urban Systems, 64, 1-18.*

Hacia un modelo real de la Información Geográfica

- Bohicchio, M., Longo, A., & Vaira, L. (2011). *Extending Web Applications with 3D Features*. 13th IEEE International Symposium on Web Systems Evolution (WSE), (pp. 93-96).
- Burkholder, E. F. (2008). *The 3-D global spatial data model: Foundation of the spatial data infrastructure* CRC Press.
- Cabada, M., Gabriel, F., Pet, J., Ríos, V., Ramón, J., Rodríguez, A., & Enrique, J. (2004). Servicio web 3D parametrizable mediante un lenguaje de definición de escenas virtuales.
- Calle, M. d. I., Gómez-Deck, D., & Olaya Ferrero, V. (2010). Desarrollo personalizado de aplicaciones SIG 3D.
- Cellary, W., & Walczak, K. (2012). *Interactive 3D multimedia content* Springer.
- Cosido Cobos, Ó. J., Ruiz López, Ó., José Sánchez, J. d., Piquero Eguia, D., Iglesias Prieto, A., & Sainz Vidal, E. (2014). Prototipo de ciudad 3D: Integración documental del patrimonio enterrado y en superficie dentro de santander.
- Curtis, E. (2008). Serving CityGML via web feature services in the OGC web services-phase 4 testbed. *Advances in 3D geoinformation systems* (pp. 331-340) Springer.
- de Laat, R., & Van Berlo, L. (2011). Integration of BIM and GIS: The development of the CityGML GeoBIM extension. *Advances in 3D geo-information sciences* (pp. 211-225) Springer.
- Deren, L., & Qingquan, L. (1997). Study on a hybrid data structure in 3D GIS [J]. *Acta Geodaetica Et Cartographica Sinica*, 2
- Dietze, L., Nonn, U., & Zipf, A. (2007). Metadata for 3D city models analysis of the applicability of the ISO 19115 standard and possibilities for further amendments. *Proceedings of the 10th AGILE International Conference on Geographic Information Science*, 1-9.
- Döner, F., & Bıyık, C. (2011). Modelling and mapping third dimension in a spatial database. *International Journal of Digital Earth*, 4(6), 505-520.
-

Hacia un modelo real de la Información Geográfica

Ellul, C., Boyes, G., Thomson, C., & Backes, D. (2017). Towards integrating BIM and GIS—An end-to-end example from point cloud to analysis. *Advances in 3D geoinformation* (pp. 495-512) Springer.

El-Mekawy, M. (2010). *Integrating BIM and GIS for 3D City Modelling: The Case of IFC and CityGML*,

ESPÍ, M., & VICENTE, J. (2012). Escenarios virtuales interactivos 3D.

Fan, H., & Meng, L. (2009). Automatic derivation of different levels of detail for 3D buildings modelled by CityGML. *24th International Cartography Conference, Santiago, Chile*, 15-21.

García-Jacas, C., Marrero-Ponce, Y., Barigye, S., Hernández-Ortega, T., Cabrera-Leyva, L., & Fernández-Castillo, A. (2016). N-tuple topological/geometric cutoffs for 3D N-linear algebraic molecular codifications: Variability, linear independence and QSAR analysis. *SAR and QSAR in Environmental Research*, 27(12), 949-975.

Gröger, G., Kolbe, T. H., Czerwinski, A., & Nagel, C. (2008). OpenGIS city geography markup language (CityGML) encoding standard. *Open Geospatial Consortium Inc. Reference Number of this OGC® Project Document: OGC*,

Groot, R., & McLaughlin, J. (2003). *Geospatial data infrastructure :Concepts, cases and good practice* (Repr ed.). Oxford: Oxford University Press.

James, D., Trees, B., & CSG, C. S. G. (2003). Spatial data structures.

Jérémy Gaillard, Alexandre Vienne, Rémi Baume, Frédéric Pedrinis, Adrien Peytavie, Gilles Gesquière (2015). *Urban Data Visualisation in a web browser*.
http://web3d2015.web3d.org/Presentations/Friday/Paper_session_3/2_Urban_Data_Visualization_in_Web.pdf

Hacia un modelo real de la Información Geográfica

JIMÉNEZ MACÍAS, E., PÉREZ DE LA PARTE, Mercedes, MARTÍNEZ CÁMARA, E., SANZ ADÁN, F., SANTAMARÍA PEÑA, J., & BLANCO FERNÁNDEZ, J. Escenarios virtuales WEB3D: Simulación con VRML, JAVA3D y X3D.

Karki, S., Thompson, R., & McDougall, K. (2010). Data validation in 3D cadastre. *Developments in 3D geo-information sciences* (pp. 92-122) Springer.

Kaufman, A., & Bakalash, R. (1988). Memory and processing architecture for 3D voxel-based imagery. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 8(6), 10-23.

Kersten, T., Mechelke, K., & Maziull, L. (2015). 3D model of al zubarah fortress in qatar-terrestrial laser scanning vs. dense image matching. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 40(5), 1.

Ki-Joune Li (2015). *Linking IndoorGML with CityGML*. <http://indoorgml.net/documents/CityGML-Workshop-June21-2013.pptx>

Krispel, U., Evers, H. L., Tamke, M., Viehauser, R., & Fellner, D. (2015). Automatic texture and orthophoto generation from registered panoramic views. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 40(5), 131.

Lafont Morgado, P. (1999). Prototipado rápido e ingeniería inversa. *Revista De Plásticos Modernos*, 77(514), 384-390.

Li, K. J., & Lee, J. Y. (2013). Basic concepts of indoor spatial information candidate standard IndoorGML and its applications. *Journal of Korea Spatial Information Society*, 21(3), 1-10.

Li, R. (1994). Data structures and application issues in 3-D geographic information systems. *Geomatica*, 48(3), 209-224.

Liu, R., & Issa, R. (2012). 3D visualization of sub-surface pipelines in connection with the building utilities: Integrating GIS and BIM for facility management. *Computing in civil engineering (2012)* (pp. 341-348) ASCE Publications.

Luebke, D. P. (2003). *Level of detail for 3D graphics* Morgan Kaufmann.

Manso, M., Wachowicz, M., Bernabé, M., Sanchez, A., & Rodriguez, A. (2008). Modelo de interoperabilidad basado en metadatos (MIBM). *Proceedings JIDEE 2008*, , 14-15.

Marsh, D. (2006). *Applied geometry for computer graphics and CAD* Springer.

Martínez, A. J. A. (2004). Potencialidades del GIS 3D y los modelos urbanos interactivos. *SIGRADI–Unisinos, São Leopoldo*,

Monedero, J. (2001). Recorrido interactivo por escenarios virtuales de grandes dimensiones. *Libro Ponencias V Congreso Iberoamericano De Grafica Digital Concepción, Chile*,

Montilla, G., Bosnjak, A., & Villegas, H. (2002). Visualización de mundos virtuales en la medicina. *Bioingeniería En Iberoamérica: Avances y Desarrollos. Cap.XX. Editores: Carmen Muller-Karger, Miguel Cerrolaza*,

Monteiro Cabada, F. G., Varela Pet, J., Viqueira Ríos, J. R., & Arias Rodríguez, J. E. Servicio web 3D parametrizable mediante un lenguaje de definición de escenas virtuales.

Neutens, T., & De Maeyer, P. (2010). *Developments in 3D geo-information sciences* Springer.

Núñez Andrés, M. A., & Iniesto, M. J. (2014). Introducción a las infraestructuras de datos espaciales.

Olsson, E. (2009). *Exporting 3D Geoinformation from Baggis Database to CityGML*,

Orfali, R. H., Edwards, D., & López, J. L. (2002). *Cliente/servidor y objetos: Guía de supervivencia*

Pascual, A. F. R., Power, P. A., Romero, E. L., & Maganto, A. S. (2004). La norma iso19115 de metadatos: Características y aplicabilidad. *TopCart 2004 [Archivo De Ordenador]*, 67-68.

Peng, Z., Wang, R., & Liu, H. (2014). An analytical study on relationship-oriented building information model. *Bridges*, 10, 9780784412435.015.

Peng, Z., & Nebert, D. D. (1997). An internet-based GIS data access system. *Urisa-Washington Dc-*, 9, 20-30.

Peucker, T. K., & Chrisman, N. (1975). Cartographic data structures. *The American Cartographer*, 2(1), 55-69.

Pilouk, M., & Tempfli, K. (1994). An object-oriented approach to the unified data structure of DTM and GIS. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 30, 672-679.

Ploeger, H., Lemmen, C., Stoter, J., Quak, W., Zevenbergen, J., Van Oosterom, P., & Van Der Molen, P. (2004). Un modelo estándar para el ámbito catastral. *CT: Catastro*, (52), 33-54.

Priego, M. G., & Fernández, R. B. Escenario 3D proyecto SIGN II: Una solución para la representación 3D de los datos territoriales bidimensionales.

Prieto, I., Egusquiza, A., Delgado, F. J., & Martínez, R. (2012). CityGML como modelo de datos para la representación, intercambio y visualización de información sobre el patrimonio arquitectónico. *Virtual Archaeology Review*, 3(5), 48-52.

Randell, D. A., Cohn, A. G., & Cui, Z. (1992). Naive topology: Modelling the force pump. *Advances in Qualitative Physics*, , 177-192.

Rebecca, O., Gold, C., & Kidner, D. (2008). 3D city modelling from LIDAR data. *Advances in 3D geoinformation systems* (pp. 161-175) Springer.

Rodrigues, J. I., Figueiredo, M. J., & Costa, C. P. (2013). Web3D GIS for city models with CityGML and X3D. *Information Visualisation (IV), 2013 17th International Conference*, 384-388.

Rodríguez, A. L. C. Renderizado en tiempo real de modelos de terrenos 3D (primera versión estado del arte).

Romeu, A., Gastón, D., & del Rey, A. (2012). *Clientes IDE 3D: Visualización De Edificios 3D y SIG Móvil*,

Samet, H. (1990). *The design and analysis of spatial data structures* Addison-Wesley Reading, MA.

Sampieri, R. H., Collado, C. F., & Lucio, P. B. (1996). *Metodología de la investigación. Edición McGraw-Hill,*

Schilling, A., & Kolbe, T. H. (2010). *Draft for Candidate OpenGIS® Web 3D Service Interface Standard,*

SchöN, B., Mosa, A. S. M., Laefer, D. F., & Bertolotto, M. (2013). Octree-based indexing for 3D pointclouds within an oracle spatial DBMS. *Computers & Geosciences, 51*, 430-438.

Scianna, A., & Ammoscato, A. (2010). 3D GIS data model using open source software. *ISPRS Archive, 38*(Part 4), 8-2.

Scianna, A., & Ammoscato, A. (2010). 3D GIS data model using open source software. *Core Spatial Databases-Updating, Maintenance and Services-from Theory to Practice. Haifa, Israel, 15-17 March 2010. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 38*(Part 4), 8-2.

Sester, M., Bernard, L., & Paelke, V. (2009). *Advances in GIScience* Springer.

Slafer, G. A. (2009). ¿ Cómo escribir un artículo científico? *Revista De Investigación En Educación, 6*, 124-132.

Slingsby, A., & Raper, J. (2008). Navigable space in 3D city models for pedestrians. *Advances in 3D geoinformation systems* (pp. 49-64) Springer.

Stoter, J., Reuvers, M., Vosselman, G., Goos, J., van Berlo, L., Zlatanova, S., . . . Klooster, R. (2010). Towards a 3D geo-information standard in the netherlands. *Proceedings 5th International 3D GeoInfo Conference, 3-4.*

Hacia un modelo real de la Información Geográfica

Valencia Martínez de Antoñana, J., & Universidad de Salamanca. (2011). *Pasado, presente y futuro de las infraestructuras de datos espaciales*. S.I.:

Valencia, J., Muñoz-Nieto, A., & Rodríguez-González, P. (2015). Virtual modeling for cities of the future. state-of-the art and virtual modeling for cities of the future. state-of-the art an. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XL-5/W4*, 179-185. doi:10.5194/isprsarchives-XL-5-W4-179-2015

van Oosterom, P., Lemmen, C., Ingvarsson, T., van der Molen, P., Ploeger, H., Quak, W., . . . Zevenbergen, J. (2006). The core cadastral domain model. *Computers, Environment and Urban Systems*, 30(5), 627-660.

Van Oosterom, P., Stoter, J., & Lemmen, C. (2005). Modelling of 3D cadastral systems. *K Kyu-Tae (Ed.), Proceedings of the 28th Cadastral Semina, Busan: Korea Cadastral Survey Corp*, , 594-606.

van Oosterom, Petrus Johannes Maria, Zlatanova, S., & Penninga, F. (2008). *Advances in 3D geoinformation systems* Springer.

Varela García, F. A., Hernández Ibáñez, L. A., Taibo Pena, J., & Seoane, A. (2007). Ampliación de las capacidades de visualización de un SIG libre mediante la comunicación con un navegador 3D.

Walenciak, G., Stollberg, B., Neubauer, S., & Zipf, A. (2009). Extending spatial data infrastructures 3D by geoprocessing functionality-3D simulations in disaster management and environmental research. *Advanced Geographic Information Systems & Web Services, 2009. GEOWS'09. International Conference on*, 40-44.

Wright, R. S., & Lipchak, B. (2004). *OpenGL super bible* Sams.

Hacia un modelo real de la Información Geográfica

Zhai, R. (2015). Complex building detection through integrating LIDAR and aerial photos. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 40(5), 69.

Zipf, A. (2008). Integrating 3d, processing and location services into future sdis. *Tenth International Conference for Spatial Data Infrastructure. Port of Spain, Trinidad*,

Zlatanova, S., Rahman, A. A., & Shi, W. (2002). Topology for 3D spatial objects. *International Symposium and Exhibition on Geoinformation*, 22-24.

Zlatanova, S., Rahman, A. A., & Shi, W. (2004). Topological models and frameworks for 3D spatial objects. *Computers & Geosciences*, 30(4), 419-428.

