

Desarrollo de un Sistema de Información Geográfica Web para el análisis espacial y temporal de las finanzas del Reino de Castilla en el siglo XVI.

Samuel Fernando Mesa Giraldo

[<samuelfernandomesa@linuxmail.org>](mailto:samuelfernandomesa@linuxmail.org)

MÁSTER EN TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN GEOGRÁFICA, FACULTAD DE GEOGRAFÍA E HISTORIA, UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID.



Trabajo Fin de Máster en Tecnologías de la Información Geográfica

20 de Junio de 2012

Director: Luis Garmendia Salvador

[<lgarmend@fdi.ucm.es>](mailto:lgarmend@fdi.ucm.es)

Autorización de Difusión

El abajo firmante, matriculado en el Máster en Tecnologías de la Información Geográfica de la Facultad Geografía e Historia, autoriza a la Universidad Complutense de Madrid (UCM) a difundir y utilizar con fines académicos, no comerciales y mencionando expresamente a su autor el presente Trabajo Fin de Máster: “Desarrollo de un Sistema de Información Geográfica Web para el análisis espacial y temporal de las finanzas del Reino de Castilla en el siglo XVI”, realizado durante el curso académico 2011-2012 bajo la dirección de Luis Garmendia Salvador del Departamento de Informática, y a la Biblioteca de la UCM a depositarlo en el Archivo Institucional E-Prints Complutense con el objeto de incrementar la difusión, uso e impacto del trabajo en Internet y garantizar su preservación y acceso a largo plazo.

Firmado: **Samuel Fernando Mesa Giraldo**

Resumen en castellano

El presente trabajo de fin de máster documenta el desarrollo de una herramienta Web de Sistemas de Información Geográfica (SIG) con software libre, enmarcado en el proyecto de investigación denominado “*Geografía fiscal y poder financiero en Castilla en un siglo de transición (1450-1550): análisis mediante Sistemas de Información Geográfica*” bajo la coordinación de investigación del Doctor David Alonso García del departamento de Historia Moderna de la Universidad Complutense.

Se documenta el proceso de ingeniería de software seguido para el desarrollo del SIG, partiendo desde el análisis de los requisitos de los investigadores y tecnológicos de la herramienta. Se prosigue con la fase de diseño, con la presentación del modelo objeto-relacional de la base de datos geográficos, la arquitectura del sistema, así como el análisis, selección y propuesta de las herramientas de software libre que cumplen con las especificaciones del proyecto, resaltando las funcionalidades de integración temporal y espacial de los datos de fiscalidad de Castilla la Mancha en el siglo XVI. Como última fase, se presenta la implantación y evaluación de la herramienta desarrollada, y algunos resultados del análisis espacial y temporal de los datos del sistema con las herramientas SIG para extraer información útil que apoyan a la toma de decisiones en el área de historia.

Palabras clave

Sistemas de Información Geográfica, SIG, Historia, Programación, Software Libre, Código abierto, Django, GeoDjango, Python, Desarrollo de Software, Análisis espacial, Análisis temporal, Servicios OGC, Web Map Service, WMS, OpenLayers,

Índice de contenido

| | |
|--|----|
| Capítulo 1 - Planteamiento del problema..... | 6 |
| Capítulo 2 - Metodología..... | 8 |
| Capítulo 3 - Realización del proyecto..... | 11 |
| 3.1. Fase de análisis..... | 11 |
| 3.1.1. Requerimientos del sistema..... | 12 |
| 3.1.2. Requerimientos específicos..... | 13 |
| 3.1.3. Análisis de los datos e información existente..... | 14 |
| 3.2. Fase de diseño del sistema | 15 |
| 3.2.1. Diseño de la arquitectura del Sistema de Información Geográfica..... | 16 |
| 3.2.2. Tecnologías SIG y sistemas de información con software libre o de código abierto | 17 |
| 3.2.3. Diseño de la base de datos espacial..... | 19 |
| 3.2.4. Diseño de las interfaces gráficas de usuario..... | 22 |
| Capítulo 4 - Presentación de resultados | 26 |
| 4.1. Resultados de la programación e implantación de la herramienta SIG Web..... | 26 |
| 4.1.1. Configuración de tecnologías SIG de software libre o de código abierto..... | 26 |
| 4.1.2. Migración y carga de los datos geográficos en el servidor de bases de datos..... | 27 |
| 4.1.3. Generación de código fuente..... | 28 |
| 4.1.4. Desarrollo de las interfaces Web de usuario | 34 |
| 4.1.5. Evaluación del sistema por parte del equipo investigador | 38 |
| 4.2. Resultado de los análisis espaciales y temporales de los datos..... | 40 |
| 4.2.1. Análisis espacial de las características de la configuración de partido | 41 |
| 4.2.2. Análisis espacial-temporal de los históricos de partido | 44 |
| 4.2.3. Análisis espacial-temporal de los financieros | 47 |
| Capítulo 5 - Conclusiones..... | 50 |
| 5.1. Conclusiones generales del proyecto de trabajo de fin de máster..... | 50 |
| 5.2. Conclusiones y recomendaciones tecnológicas..... | 51 |

Objetivos

Desarrollar una herramienta de Sistemas de Información Geográfica (SIG) en la plataforma Web que permita la visualización, consulta, análisis espacial y temporal de los datos del proyecto de investigación del departamento de Historia Moderna de la Universidad Complutense “*Geografía fiscal y poder financiero en Castilla en un siglo de transición (1450-1550): análisis mediante Sistemas de Información Geográfica*”.

Entre los objetivos específicos se encuentran:

- Aplicar la metodología de ingeniería de software para documentar el proceso de desarrollo del SIG Web, y en donde se especifique el análisis, diseño, programación e implantación del sistema.
- Implantar el desarrollo del SIG con herramientas de software libre o de código abierto y que cumplan con los estándares de la *Open Geospatial Consortium* (OGC) para la interoperabilidad y comunicación entre tecnologías de sistemas de Sistemas de Información Geográfica.
- Realizar el análisis espacial y temporal a través de las funciones geográficas y estadísticas del SIG, que demuestre la utilidad a los investigadores en historia para extraer información e identificar patrones.

Capítulo 1 - Planteamiento del problema

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) es una tecnología que cada vez cuenta con mayor éxito y popularidad en muchas actividades. En parte, este crecimiento en conocimiento y uso en diversas áreas, se debe al avance y acceso del software y hardware que permite a los usuarios aplicar y apoyar sus decisiones basadas en información espacial. Los sistemas de posicionamiento global (GPS), los servicios Web de geolocalizaciones, consultas de direcciones, mapeo de tráfico vial, consulta de la ruta más eficiente para recorrer una serie de puntos de interés, entre otras posibilidades, son ejemplos de popularización de estas tecnologías en los últimos años.

Las tecnología SIG actual ofrece la oportunidad para almacenar, manejar, visualizar y analizar grandes volúmenes de datos temporales y geográficos, potencial que ofrece un nuevo conocimiento significativo para ciencia en Historia, ya que permite extraer información, explorar e identificar patrones dinámicos integrando la dimensión tiempo y la localización (Bodenhamer et-al, 2010; Kelly, 2002). Partiendo de estas ventajas, el Departamento de Historia Moderna de la Universidad Complutense, se encuentra desarrollando una investigación apoyándose en estas tecnologías con el objetivo de reconstruir y mejorar el conocimiento de la historia fiscal del Reino de Castilla entre el siglo XV y XVI. Temas como la conformación de mecanismos de recaudación, redes financieras y la división de espacios fiscales pueden lograrse a través de la integración de la dimensión geográfica y temporal.

El proyecto de investigación coordinado por el Doctor David Alonso García, y en el cual se enmarca el desarrollo del aplicativo SIG se titula "*Geografía fiscal y poder financiero en Castilla en un siglo de transición (1450-1550): análisis mediante Sistemas de Información Geográfica*". Plantea de forma novedosa usar estas herramientas para reconstruir y analizar las jurisdicciones fiscales del Reino de Castilla en el tránsito de la edad media a la edad moderna.

La información para la definición, formación y evolución de los partidos fiscales se realiza en función del origen de las rentas, la cual proviene de fuentes directas de documentación de las revisiones contables llevadas a cabo por la Contaduría Mayor de Cuentas, todo ello conservado en el Archivo General de Simancas¹. Con la codificación y georeferenciación de estos partidos

¹ Archivo oficial de la Corona de Castilla (1540), ubicado en la localidad de Vallisoletana de Simancas.

fiscales, es posible desarrollar los análisis espaciales y temporales, como la consulta de su extensión, distribución, densidad, análisis cuantitativo de los montos de las rentas percibidas, la distribución y evolución de dichas recaudaciones, así como la relación y poder de los financieros. Los resultados obtenidos con esta investigación permite mejorar el conocimiento de la Historia de España, vista desde el enfoque de historia fiscal, así como la posible configuración territorial actual en el área de análisis.

Desde el punto de vista tecnológico, la herramienta SIG debe contar con una plataforma Web para la carga, visualización, manejo y análisis de datos temporales y geográficos, dado a que el proyecto involucra la participación de investigadores en el ámbito nacional e internacional, apoyando con temáticas relacionadas de investigación en historia como los de carácter fiscal, eclesiástico y mercantil. Como propuesta a los requerimientos del sistema, se plantea el uso y desarrollo de aplicaciones en la plataforma Web con software libre o de código abierto, ya que cuenta con todas las alternativas SIG en base de datos espaciales, visor de mapas, servidores de mapas, marcos de desarrollo y lenguajes de programación orientados a Internet.

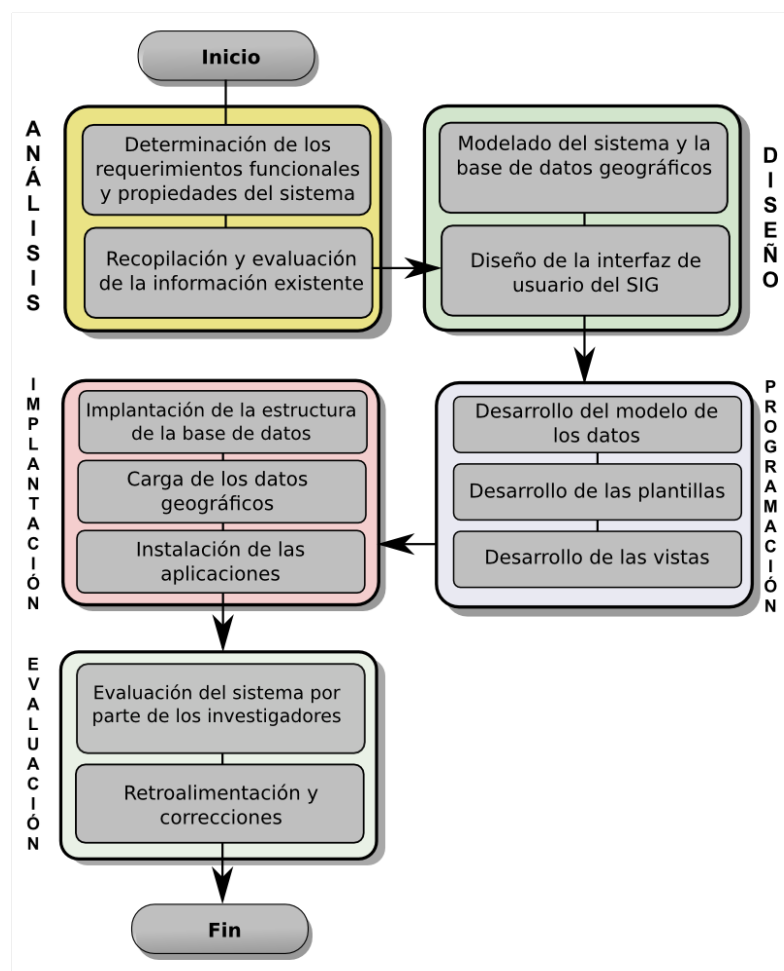
Actualmente el software libre o de código abierto cuenta con la gran aceptación a nivel académico y comercial, porque ofrece una solución de libre acceso (sin restricción de uso u intercambio) y en muchos casos con mejor soporte a los estándares de comunicación informática. Si bien el software libre puede considerarse una alternativa a las soluciones privativas, su aceptación y uso crece gracias a la dinámica de las comunidades de desarrolladores y usuarios y el apoyo de Universidades y grandes empresas.

Como principal herramienta de software libre usada para el desarrollo de la aplicación SIG es el Marco de Desarrollo Web denominado Django, se basa completamente en el lenguaje de programación Python, e integra la mayor parte de las funcionalidades necesarias para implantar la plataforma Web como la carga, visualización, publicación y análisis de los datos. Python se constituye el integrador entre las herramientas que se usan para comunicar la base de datos con los demás componentes de software para el procesamiento, publicación y análisis de los datos, incluyendo aquellas que son propiamente geográficas. Las principales características de Python incluye la modularidad y una sintaxis de lenguaje de alto nivel, lo que traduce flexibilidad y comprensión del código. Se usa principalmente como lenguaje de scripts y lo integra varias herramientas, distribuciones de Linux y software SIG, incluyendo el software privativo como ArcGIS de ESRI. Sin embargo, este lenguaje de programación también se usa para el desarrollo de aplicaciones Web, tal como se lleva a cabo en el presente trabajo.

Capítulo 2 - Metodología

La metodología para el desarrollo del Sistema de Información Geográfica incluye las siguientes etapas generales de proyectos de ingeniería de software (ver Figura 1), usando como modelo el tradicional desarrollo en cascada, también denominado modelo lineal secuencial. Este ofrece los métodos y técnicas para la producción y mantenimiento de aplicaciones informáticas de calidad, resumidas a en las siguientes fases (Pressman, 2002, Sommerville, 2005):

Figura 1. Metodología de desarrollo



1. **Análisis de los requisitos:** Extraer los requerimientos o necesidades del software SIG, en lo que refiere a las funcionalidades, propiedades, comportamiento, rendimiento

e interconexión. Se realiza en conjunto con los investigadores del sistema a través de reuniones programadas, para recoger y exponer las necesidades del proyecto. En esta etapa también se define los recursos humanos, materiales y económicos a participar. Básicamente el proyecto tiene en cuenta las siguientes actividades:

- *Determinación de los requerimientos funcionales y propiedades del sistema.* Se recogen las funciones básicas que debe cumplir el sistema, así como las propiedades no funcionales, como la disponibilidad, el rendimiento y la seguridad.
- *Recopilación y evaluación de la información existente.* Los investigadores cuentan con capas geográficas e información almacenada en diferentes formatos de bases de datos, hojas de cálculo y en otras estructuras tabulares. En esta etapa se realiza el análisis de esta información, para establecer el procesamiento, importación e integración de las mismas en la base de datos del sistema.

La etapa de análisis tiene como finalidad establecer un conjunto de objetivos que el sistema debe cumplir, y de esta manera organizar y comunicar los procesos en esquemas y modelos que guiarán el desarrollo del sistema.

2. **Diseño de sistema:** Se representan los modelos lógicos y físicos para la organización y representación de los datos y componentes del sistema de información, teniendo en cuenta los recursos disponibles para el desarrollo del proyecto. Esta etapa incluye el diseño de la base de datos espacial, los formularios e interfaces de entradas y salidas, arquitectura del sistema, así como las abstracciones fundamentales del software, especificación de módulos, sus interrelaciones y detalle procedimental. En esta etapa es posible evaluar la calidad del sistema antes de empezar su codificación.

- *Modelado del sistema y de la base de datos geográficos.* Se ilustra gráficamente los componentes y sus relaciones, con el objeto de exponer a los investigadores de forma general la organización del sistema. Básicamente se obtienen los siguientes productos: el diagrama de la arquitectura del sistema y el modelo entidad relación de la base de datos.
- *Diseño de la interfaz de usuario.* Se acuerda con los investigadores las interfaces gráficas de usuario que se usarán en el SIG, teniendo en cuenta la importancia de la representación espacial de los datos cuando se ingresan, consultan y analizan a través de visores geográficos.

- 3. Generación de código:** Se reduce el diseño a código fuente, o en una forma que sea tangible para la máquina. Esta etapa requiere seleccionar las herramientas y tecnologías que cumplan los objetivos del sistema en general, primero que son alternativas de software libre o de código abierto, y segundo que la integración se realice a través del lenguaje de programación Python, lo que permitirá desarrollar los procedimientos para manipular los datos y obtener los resultados esperados.

Las principales actividades que se realizan en esta fase es, por un lado el desarrollo de la interfaces de usuario, así como las funcionalidades de almacenamiento, recuperación y presentación de la información desde la base de datos geográficos.

Como el desarrollo del sistema se apoya en el uso del marco de desarrollo “*framework*” denominado Django, se usa el patrón de diseño o paradigma de arquitectura de desarrollo denominado MVC (Modelo → Vista → Controlador), que separa la definición y acceso a los datos (el modelo), de la interfaz de usuario (la vista) y la lógica del negocio (el controlador), ofreciendo como principal ventaja la independencia de cada uno de los componentes, sin afectar la implantación general. Para ser más exactos en Django, se le denomina como marco de trabajo MVT, por sus siglas en inglés (*Model* → *View* → *Template*) (Holovaty y Kaplan-Moss, 2009).

- 4. Implantación:** En esta etapa se instalan y configuran todas las aplicaciones necesarias para poner en funcionamiento las bases de datos, así como las funcionalidades desarrolladas en los servidores de aplicaciones. Se configuran e instalan el servidor Web, el servidor de bases de datos, el servidor de mapas.

Esta fase tiene en cuenta los resultados de las fases predecesoras de análisis, diseño o modelado de la base de datos que define la estructura y especificaciones del almacenamiento en el sistema de administración de las bases de datos y la carga de la información.

- 5. Evaluación:** Se comprueba que el SIG funcione correctamente de acuerdo a la etapa de análisis y diseño planteados. Las pruebas se centran en los procesos lógicos internos del software, con el objetivo que todas las operaciones de ingreso, visualización, consulta y análisis se están realizando correctamente, y que los errores se reporten por parte de los investigadores o usuarios del sistema, para que sean corregidos antes de la implantación de la primera versión del sistema estable.

Capítulo 3 - Realización del proyecto

Siguiendo la metodología definida en el Capítulo 2, se fueron obteniendo los resultados en las diferentes etapas de ingeniería de software, en trabajo conjunto, principalmente con el coordinador de la investigación del departamento de Historia Moderna, quien suministró los requerimientos y necesidades funcionales del sistema, los datos recopilados para alimentar el SIG, la evaluación, aprobación de los resultados obtenidos así como de las preguntas de análisis temporal y espacial de importancia para extraer información del sistema. A continuación se muestra los resultados en el desarrollo de cada etapa de la metodología propuesta en el capítulo 2 sobre ingeniería de software para lograr la realización del proyecto.

3.1. Fase de análisis

En esta etapa se determinaron las necesidades principales en cuanto al funcionamiento y características tecnológicas del sistema, así como el análisis de la información recopilada por los investigadores para alimentar la base de datos geográficos.

Para llevar a cabo la determinación de los requerimientos y actividades en esta etapa de análisis se llevaron a cabo reuniones frecuentes con el coordinador de investigación y con el equipo de investigación.

Las primeras actividades se enfocan a la exposición y el sistema, así como de los investigadores responsables:

- **Doctor David Alonso:** Coordinador principal del proyecto de investigación de la Universidad Complutense. El sub-proyecto de investigación, y objeto del presente trabajo de fin de máster, abarcará el análisis fiscal del Reino de Castilla en el siglo XVI.
- **Sean Perrone:** Investigador de la Universidad de Saint Anselm (EEUU). El objetivo principal del sub-proyecto es el análisis de las rentas eclesiásticas de España, durante los siglos XV y mediados del siglo XVI.
- **Javier Quintero:** investigador de la Universidad de Almería. El sub-proyecto abarcará principalmente las redes de comercio en Murcia en el siglo XV.

- **Jorge Ortuño Molina:** investigador de la Universidad de Murcia. . Su objetivo de análisis son las fronteras económicas entre Castilla y Aragón.

3.1.1. Requerimientos del sistema.

El desarrollo del sistema de información geográfica iniciará con el sub-proyecto de *fiscalidad del reino de Castilla durante el siglo XV*, y objetivo del presente trabajo de fin de máster. Se tendrá en cuenta que el desarrollo del SIG debe ser escalable y extensible con los demás sub-proyectos en forma de módulos que complementen al sistema en las diferentes temáticas de investigación.

En lo que refiere a la determinación de los requerimientos funcionales y propiedades generales del SIG, se compilaron como principales:

- El sistema de información, así como la base de datos deben soportar el almacenamiento de datos geográficos. También debe disponer de las principales funciones topológicas y geométricas para el análisis espacial vectorial.
- Debe ofrecer interfaces gráficas de usuario que permita el despliegue e interacción con los datos espaciales, alfanuméricos e integre el componente temporal, así como el soporte de otras fuentes de información geográfica (servicios web geográficos, imágenes espaciales, etc.).
- La necesidad de un sistema central de base de datos geográficos, que permita el acceso de los investigadores a través de Internet, debido a que estos se encuentran en diferentes localizaciones geográficas.
- Debe ofrecer una solución de desarrollo modular, que separe la lógica de aplicación de cada sub-proyecto de investigación (con sus propias reglas de negocio sobre los datos y entradas de los investigadores) pero al tiempo integre los componentes o datos que sean comunes entre las aplicaciones.
- Es necesario que el sistema soporte la seguridad de acceso a los diferentes módulos, interfaces Web y tablas de la base de datos a través de la definición de reglas de acceso, roles y autenticación de usuarios.
- La solución presentada debe generar informes estadísticos y análisis espacial básicos de la información recuperada.

- El sistema de información geográfica debe proporcionar servicios Web geográficos, que permita conectar o consumirlos a través de clientes SIG de escritorio, y a partir de los cuales se realizarán los análisis espaciales, temporales o estadísticos más avanzados.

3.1.2. Requerimientos específicos.

Los requerimientos específicos para el sub-proyecto de fiscalidad del reino de Castilla en el siglo XVI, se determinaron como los siguientes:

- El módulo de fiscalidad define una configuración de partido, conformado por la integración de la renta, partido fiscal y una zona geográfica (agregación de localidades). Para entender los conceptos anteriormente expuestos, se define de forma resumida de Alonso, 2011:
 - ◆ **Partido fiscal:** según la definición del Diccionario de Autoridades como el “*distrito o territorio que está comprendido de alguna jurisdicción o administración de una ciudad principal que se llama cabeza*”.
 - ◆ **Renta real:** carga tributaria por intercambio comercial o disfrute de bienes. La renta real era recaudada por ministros y agentes de la monarquía. El *arrendamiento*, consistía en el pregón y subasta de la renta a un particular, ya individual o colectivo realizado por la Real Hacienda a cambio de un pago anual en metálico.
 - ◆ **Localidad:** división territorial, referida al límite administrativo actual de municipio .
- Cada configuración de partido tiene un histórico, dimensión temporal en el SIG referido a periodos anuales. En el histórico también se define información de los montos y financieros que participan en la administración de las rentas.
- En cuanto al componente espacial, debido a la complejidad en disponer de los límites históricos de las localidades, se asume que su demarcación geográfica (asociada al nombre y análisis geográfico de contexto) será el correspondiente al límite municipal actual. En cuyos casos donde la localidad no sea georeferenciada por la definición de municipio actual, debido a cambios de categoría en el nivel administrativo o cambio en el nombre, se asume que su ubicación será puntual al nombre de nomenclátor.
- El informe del SIG en la plataforma Web, debe contemplar información referida a las

características espaciales de las configuraciones de partido, representación espacial, resúmenes históricos y estadísticos de la fiscalidad y personalidades que participaban en la administración de dichas fiscalidades.

- El sistema no registrará las dinámicas históricas correspondientes a los cambios territoriales de las zonas que definen el conjunto de localidades, debido a la complejidad para la recolección y análisis de dicha información.

3.1.3. Análisis de los datos e información existente.

Cada sub-proyecto cuenta con una colección de datos almacenados en diferentes sistemas de administración de bases de datos o sistemas de archivos, y cuyos resultados son obtenidos con diferentes herramientas estadísticas o de sistemas de información geográfica. Como el objetivo del sistema es disponer de una base de datos centralizada, es necesario la depuración y conversión de esta variedad de formatos a una estructura común para la base de datos.

Para el caso concreto del módulo de fiscalidad del Reino de Castilla en el siglo XVI, se recopilaron los siguientes datos e información:

- **Base de datos en Microsoft ACCESS:** base de datos conformada y recopilada por el investigador principal a partir de la documentación procedente de las revisiones contables del Archivo General de Simancas, y recoge toda la información alfanumérica del sistema relacionada con la fiscalidad del Reino de Castilla en el siglo XVI. Los datos almacenados contienen tablas con información de rentas, partidos, la configuración de partidos, los históricos fiscales, información de financieros, así como las fuentes de la información recopilada.
- **Datos vectoriales de los límites territoriales:** corresponde con la definición de las localidades a partir de los límites municipales actuales, así como la asociación de las divisiones territoriales generales de Provincia y Comunidades Autónomas. El formato de los datos vectoriales se encuentra en el sistema de archivo *Shapefile* y su fuente de datos corresponde al Instituto Geográfico Nacional (IGN) y el cual se adquirió a través del Centro de Descargas de Información Geográfica de la página Web de la Institución².
- **Servicio Web Nomenclátor de Nombres Geográficos del Instituto Geográfico Nacional (NOMGEO):** Servicio Web proveído por la Infraestructura de Datos

² Centro de Descargas del IGN: <http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp>

Espaciales de España (IDEE)³ que suministra información de las denominaciones oficiales referenciadas geográficamente. Básicamente se integra este servicio al sistema para disponer de una base completa y oficial y realizar las búsquedas de nombres de localidades. Este servicio también provee la georeferenciación de las localidades que no coincidan con los límites municipales actuales y que sirve como referencia al investigador.

- **Servicios Geográficos Web:** Provee una fuente de datos para el despliegue de cartografía remota en los visores Web de mapas de la aplicación. Principalmente se consumen los servicios Web de mapas (WMS) proveídos por la Infraestructura de Datos Espaciales de España (IDEE)⁴.
- **Base cartográfica del Atlas del Escorial:** Contiene un mapa general realizado a mediados del siglo XVI, y consiste de veinte hojas detalladas en formato raster JPEG de la Península Ibérica. Esta base cartográfica cuenta con el apoyo y análisis para la integración al SIG del investigador Antonio Crespo.

Se tiene en cuenta que la base de datos debe cumplir con los requisitos para el desarrollo e implantación SIG, entre las principales, sea software libre, soporte el acceso concurrente, orientado a Internet, y que soporte el almacenamiento y recuperación de los datos geográficos, se decide migrar la base de datos de Microsoft ACCESS a un motor de base de datos más robusto, tal como se propone en la sección de tecnologías SIG en la sección 3.2.2.

3.2. Fase de diseño del sistema

Con los resultados de la fase de análisis se prosigue a modelar y diseñar la arquitectura del sistema y la base de datos espacial que cumple con los requisitos y necesidades del sistema del proyecto de investigación.

Durante esta fase se realiza la exposición al equipo de investigación las propuestas del diseño, tecnologías y herramientas informáticas a implantar, así como recoger los ajustes y correcciones. Como resultado final y aprobación de las propuestas del diseño, tecnologías y herramientas, se prosigue a las fases de programación, implantación y evaluación del sistema.

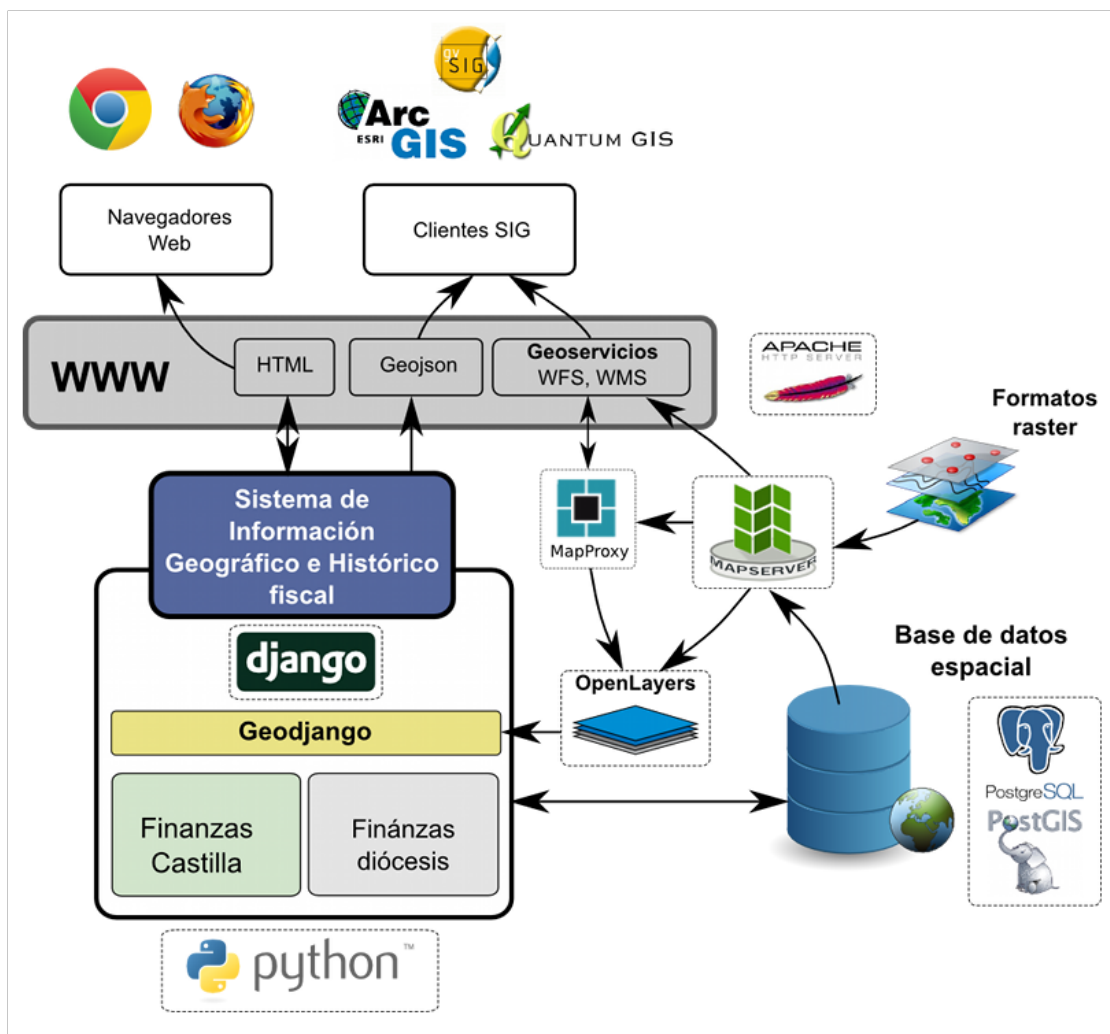
3 Especificaciones del servicio NOMGEO: <http://www.idee.es/NomenclatorIDEE/NOMGEO.html>

4 Especificaciones de los geoservicios de la IDEE: <http://www.idee.es>

3.2.1. Diseño de la arquitectura del Sistema de Información Geográfica.

El diseño de la arquitectura del SIG (Figura 2) corresponde a un modelo *cliente-servidor de tres niveles*. Esta arquitectura se caracteriza por un modelo de aplicación distribuida que separa las funciones en capas de procesamiento y se encuentran comunicadas y coordinadas mediante una red que permite el intercambio de mensajes entre los mismos (Luján, 2002):

Figura 2. Diseño de la arquitectura y tecnologías del Sistema de Información Geográfica



- **El cliente**, es decir el equipo que solicita o demanda los recursos, equipado con las interfaces de usuario para su presentación, y asume que con cada petición obtendrá una respuesta. Los clientes del sistema pueden ser de dos tipos: los *clientes ligeros* que acceden a la interfaces básicas SIG a través de navegadores Web, y los *clientes pesados* que conectan a los servicios geográficos y puedan recuperar las geometrías

o mapas georeferenciados con el objeto de procesarlos o analizarlos, ejemplos de software con estas características son Quantum GIS, ArcGIS, gvSIG, entre otros.

- **El servidor de aplicaciones**, también denominado software intermedio (*Middleware*), cuya tarea es proporcionar y gestionar los recursos solicitados y atender las peticiones de los investigadores y usuarios, pero requiere otro servidor para hacerlo. Este conjunto de aplicaciones se comunican con la base de datos, aislando de este modo las conexiones directas con los clientes. Para el caso del SIG, se tiene en esta capa los servidores de mapas, el servidor generador de memoria caché de teselas y el marco de desarrollo Web.
- **El servidor de datos**, responsable de la gestión y almacenamiento permanente de los datos, útil para proporcionar al servidor de aplicaciones los datos alfanuméricos y geográficos que solicite el cliente.

3.2.2. Tecnologías SIG y sistemas de información con software libre o de código abierto

En lo que refiere a las aplicaciones y tecnologías propuestas para la implantación de la arquitectura cliente-servidor de tres niveles (Figura 2), se basan completamente en software libre o de código abierto. Por una parte el sistema operativo para la instalación de los servidores de aplicaciones y bases de datos se usará una distribución basada en GNU/Linux, y lo que corresponde a las aplicaciones, se proponen las siguientes:

- **Servidor de base de datos geográficos:** se propone el sistema de gestión de bases de datos objeto-relacional (SGBDOR) PostgreSQL⁵ y la extensión espacial PostGIS⁶. Este SGBDOR con más de quince años de desarrollo activo, es hoy en día el sistema libre más avanzado, fiable y con diferencias, soporta la mayoría de las transacciones SQL, control concurrente e integridad de datos. La extensión espacial es un proyecto separado que ofrece el soporte de objetos geográficos y funciones geométricas y topológicas para el tratamiento de los datos espaciales basado en el estándar del *Open Geospatial Consortium*⁷ (OGC). La principal función del SGBDOR, es por un lado almacenar de forma estructurada y segura toda los datos alfanuméricos y geográficos vectoriales del SIG, y por otro recuperar eficientemente los datos usando el lenguaje

5 Para mayor información consulte la página web del proyecto: <http://www.postgresql.org>

6 Para mayor información consulte la página web del proyecto: <http://www.postgis.org>

7 La OGC, agrupa organizaciones públicas y privadas con el objetivo de definir estándares geoespaciales abiertos e interoperables en las tecnologías SIG e Internet.

de consulta SQL y las funciones espaciales y de acceso a las geometrías.

- **Marco de desarrollo Web:** se propone como servidor de aplicaciones intermedio para la gestión y procesamiento de peticiones de los clientes Web, el proyecto de código abierto basado en el lenguaje de programación Python conocido como *Django*⁸. Este *framework* cumple con el paradigma de programación *Modelo-Vista-Plantilla*, y es altamente popular por el desarrollo rápido y flexible de sitios Web complejos. Las principales características de Django, son el reutilización de código fuente, la conectividad y extensibilidad entre componentes. Para el soporte de datos y funcionalidades espaciales en el marco de desarrollo, se usa el módulo de *GeoDjango*⁹, que al tiempo integra varios módulos, librerías o extensiones para la conexión a diferentes bases de datos espaciales, geoprocésamiento y presentación de los datos geográficos. Dentro de estos vale destacar los proyectos para el acceso, procesamiento y visualización de datos geográficos como *GDAL/OGR*, *Proj4*, *Geos* y *OpenLayers*. El marco de desarrollo Web, es el servidor de aplicación que permite comunicar al investigador a través de las interfaces Web con la base de datos, para almacenar, visualizar, consultar y analizar la información geográfica.
- **Servidor de mapas o servidor de cartografía digital:** como aplicación intermedia que permita servir los datos espaciales a través de servicios Web geográficos de Mapas o de vectores (*WMS*, *WFS*, *respectivamente*) a los clientes SIG, se propone el software libre de *Mapserver*¹⁰. Originalmente desarrollado por la Universidad de Minnesota, permite el acceso a la base de datos espacial y publicación de la información geográfica de acuerdo a los estándares de la OGC. Con el servidor de mapas es posible la integración de todas las fuentes de datos geográficos ráster y vectorial del sistema, para suministrar la renderización, sea como imágenes georeferenciadas o vectores a los visores Web de mapas en la aplicación, o a los clientes SIG que soporten estos estándares.
- **Generador de memoria caché de teselas:** con el objeto de acelerar el acceso y visualización de los servicios WMS proveídos por el servidor de mapas, u otros servicios WMS, se usa el servidor de teselas conocido como *MapProxy*¹¹, Permite generar un conjunto de mosaicos de imágenes, prerenderizados y almacenados en

8 Para mayor información consulte la página web del proyecto: <https://www.djangoproject.org/>

9 Para mayor información consulte la página web del proyecto: <http://geodjango.org/>

10 Para mayor información consulte la página web del proyecto: <http://mapserver.org/>

11 Para mayor información consulte la página web del proyecto: <http://mapproxy.org>

disco para que posteriormente sea usados por los clientes SIG. Sólo se generaran las teselas de aquellos datos geográficos que no sean dinámicos o cambien frecuentes de geometría o atributos. Algunas capas usadas son los límites territorial, la imagen de relieve o la base cartográfica del Atlas del Escorial.

- **Servidor Web o servidor HTTP:** la aplicación intermedia encargada de comunicar las peticiones del cliente con la respuestas de los servidores de aplicaciones será *Apache HTTP Server*¹², proyecto que presenta una alta aceptación en la red desde el año 1996 y ha alcanzado una cuota de mercado alta frente a otros servidores web.

Es importante destacar el flujo de información y procesos dentro del diseño de la arquitectura del SIG. Los clientes pesados SIG sólo podrán acceder, consultar y recuperar la información geográfica a través de los protocolos de servicios Web como WMS o WFS. Una vez que cargan los datos, es posible transformarlos y extraer información aplicando las funciones de análisis espacial proveídas por estas herramientas. Por ejemplo el uso del software de ESRI o Quantum GIS (QGIS) y las diferentes extensiones como *Tracking Analyst* o *Time Manager* respectivamente, permiten analizar temporal y espacialmente la información.

En el caso que el cliente requiera realizar la alteración o actualizaciones de información como el ingreso, edición o borrado de datos en el sistema, sólo podrá realizarlo a través de las interfaces gráficas desarrolladas para los clientes Web y usando como aplicación de comunicación el marco de desarrollo Django con la base de datos.

3.2.3. Diseño de la base de datos espacial.

Como modelo gráfico para representar el esquema conceptual se utiliza el diagrama de clases de UML, ya que es el lenguaje de modelado estándar para sistemas de información orientado a objetos, como es el caso de programación en el marco de desarrollo de Django.

El modelo de clases UML para el SIG que se muestra en la figura 3, especifica los componentes así como las relaciones entre clases en el sistema. Las clases con estereotipo <<*featureType*>> corresponde a los objetos geográficos. También se muestra la separación de la lógica de aplicación de cada sub-proyecto de investigación con las características de desarrollo extensible e integrable de las siguientes aplicaciones:

- **Público:** esta aplicación gestiona todos aquellos objetos y procesamientos que sean públicos en el sistema, es decir que se comparta y sea común (no redundante) entre

¹² Para mayor información consulte la página web del proyecto: <http://httpd.apache.org/>

aplicaciones de sub-proyectos de investigación.

Los principales objetos compartidos son la división territorial a nivel de comunidad autónoma, provincia, nomenclátor y localidades. Las relaciones que se establecen entre los objetos de división territorial son los de jerarquía: una comunidad autónoma está formada por una agregación de provincias, y a su vez está conformada por una agregación de localidades (demarcado por el límite de municipio). El nomenclátor por otra parte, constituye cualquier objeto geográfico que corresponde a un nombre oficial y georeferenciado puntualmente.

También se encuentra información compartida como las personas que participan en la relaciones comerciales para la época (financieros). Esta tabla es importante en el sistema, ya que a partir de ella se pueden desarrollar análisis de redes sociales, recuperando la información de las relaciones y roles que se establezcan en cada aplicación de sub-proyecto de investigación.

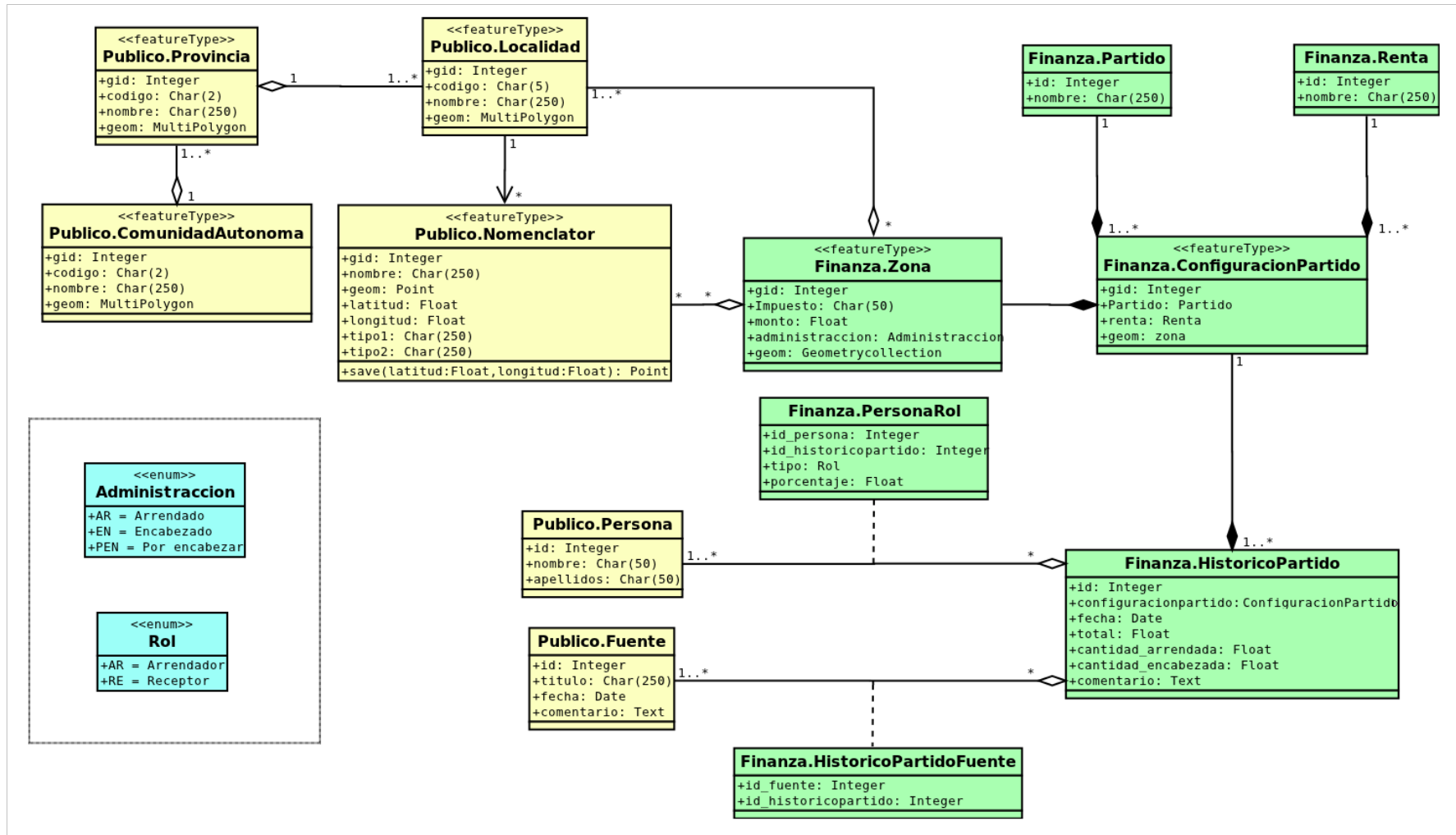
Las fuentes bibliográficas también son un objeto público, ya que dicha información es compartida entre las aplicaciones del sistema.

- **Finanza:** corresponde a la aplicación principal de finanzas del Reino de Castilla. De acuerdo a la fase de análisis tanto los requerimientos propios del sub-proyecto de investigación, como del análisis de datos e información compilada, se establece como objetos centrales los referidos a la Configuración Partido y el Histórico Partido.

Como se representa en la clase de *Finanza.ConfiguraciónPartido* (figura 3) entrega la dimensión espacial de la aplicación. Se constituye por la composición de un partido, una renta y un conjunto de localidades y/o nomenclátor definidos como una colección de geometrías del partido fiscal. Se destaca que cada localidad tiene unos atributos específicos, como el monto, administración e impuesto.

La clase de *Finanza.HistoricoPartido* representa la dimensión temporal de la aplicación de finanzas del Reino de Castilla, conformada por la composición de una Configuración de Partido en una fecha particular. Esta clase también modela los financieros con los roles comerciales y los montos totales, arrendado y encabezado.

Figura 3. Modelo entidad relación de la base de datos geográficos de Sistema de Finanzas Castilla

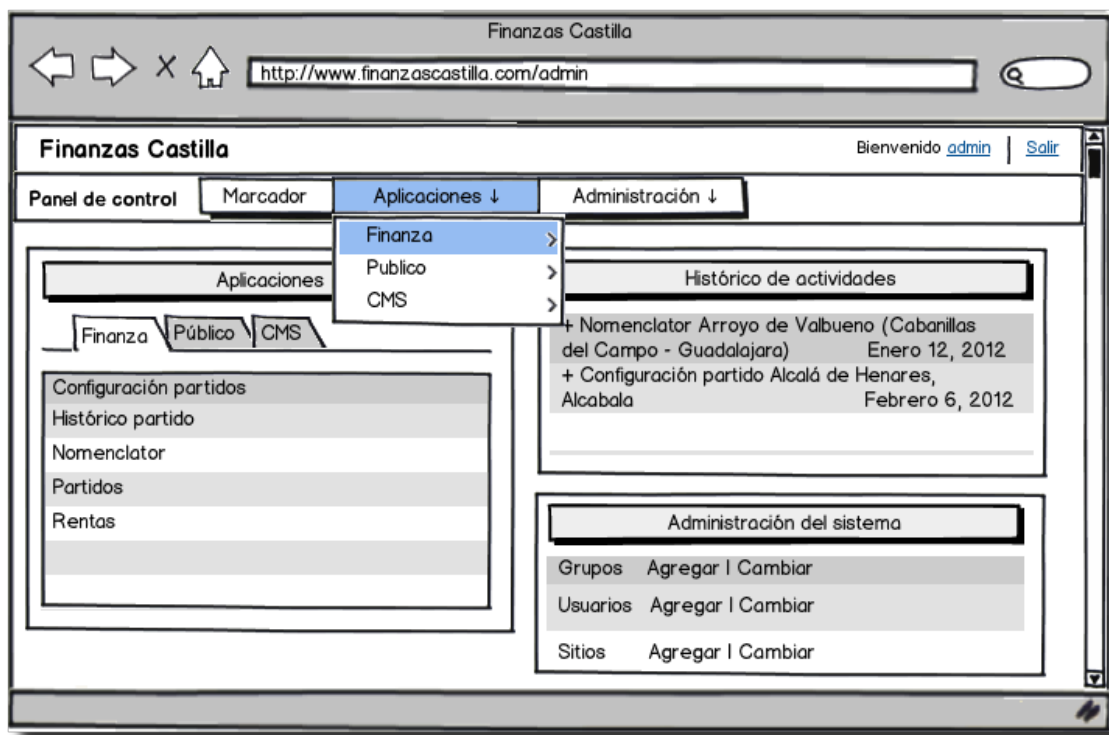


3.2.4. Diseño de las interfaces gráficas de usuario.

Como propuesta de interfaces gráficas de usuario en el cliente Web, se expone a continuación las principales pantallas y elementos gráficos que permitirán a los investigadores comunicarse con el servidor de aplicaciones de manera amigable y flexible.

La figura 4 corresponde a la interfaz de inicio una vez que el investigador se haya autenticado en el Sistema de Información, y es el punto de ingreso y navegación en las aplicaciones del sistema. Ofrece una barra de menús a la administración y acceso a las aplicaciones. También ofrece la visualización del histórico de actividades sobre los datos.

Figura 4. Interfaz gráfica de inicio al sistema Web



La interfaz de usuario de la Figura 5, corresponde al despliegue tabular de los datos en las aplicaciones. En ella se encuentra elementos para la búsqueda o filtro de datos, por ejemplo, el filtrado por división territorial. Esta interfaz, también ofrece algunas acciones sobre la base de datos, como agregar nuevos registros, o borrar los existentes.

Figura 5. Interfaz gráfica para el despliegue tabular de datos

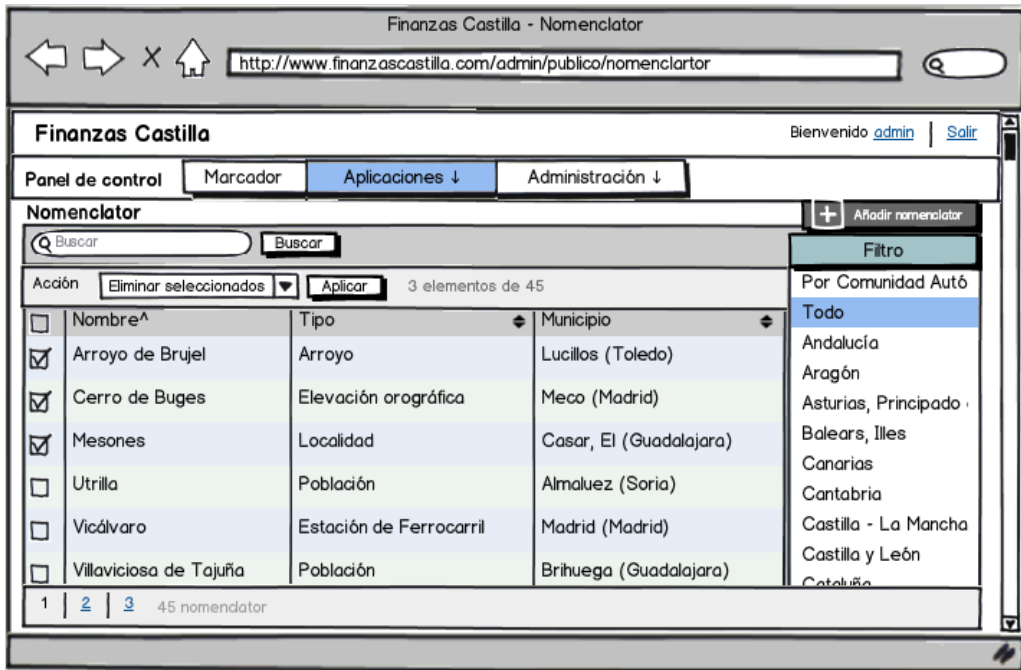
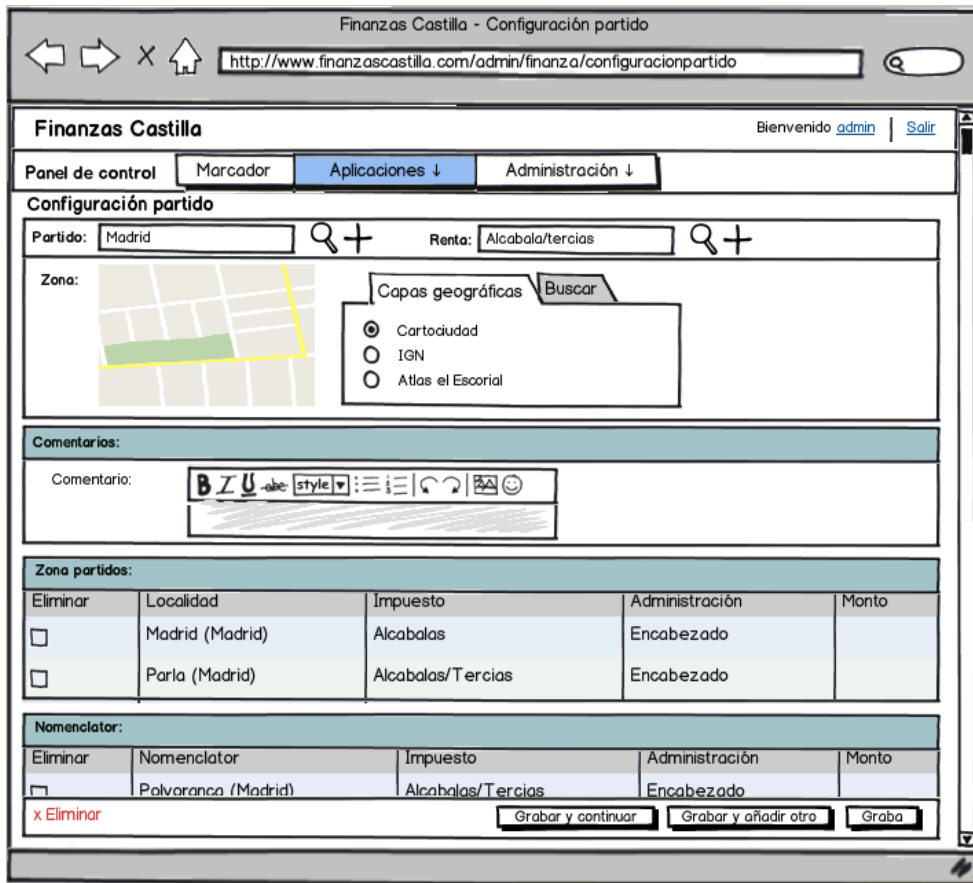


Figura 6. Interfaz gráfica de configuración partido



La interfaz de la figura 6, corresponde a una de las principales clases del sistema, la Configuración Partido. Ofrece todos los elementos para definir de forma única, la renta, el partido y la colección de geometrías de localidades y nomenclátor. Esta interfaz integra un visor de mapas como herramienta de ayuda para la georeferenciación y análisis de las localidades agregadas.

En cuanto a las características propias de la zona, se realiza la identificación de las rentas, administración, así como los montos de cada una de las localidades o nomenclátor que conforma la geometría de la configuración partido de las rentas del Reino de Castilla.

Figura 7. Interfaz gráfica del histórico de Configuración de Partidos

Finanzas Castilla - Histórico partido

http://www.finanzascastilla.com/admin/finanza/historicopartido

Finanzas Castilla Bienvenido [admin](#) | [Salir](#)

Panel de control Marcador Aplicaciones ↓ Administración ↓

Histórico partido

Configuración partido: Fecha:

Total: Cantidad arrendada: Cantidad encabezado:

Comentario:

B **I** **U** **abc** style

| Personas roles | | | |
|----------------------------|------------|--------------------------|--------------------------|
| Persona | Tipo | Porcentaje participación | Eliminar |
| Álvarez de la Serna, Pedro | Arrendador | | <input type="checkbox"/> |
| Torre, Alonso de la | Receptor | | <input type="checkbox"/> |

| Fuentes en histórico | |
|--|--------------------------|
| Fuente | Eliminar |
| CARRETERO, ALONSO, Hacienda y negocio | <input type="checkbox"/> |
| CARRETERO, ALONSO, Hacienda y negocio; González Arce, p. 364 | <input type="checkbox"/> |

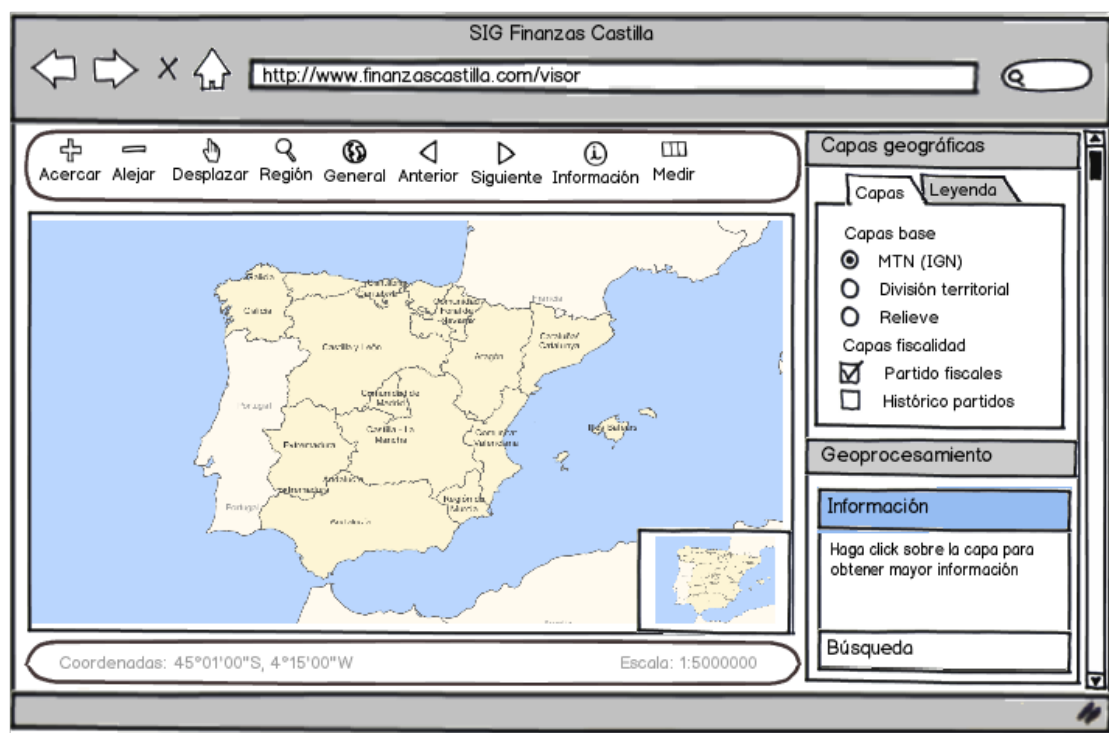
x Eliminar

La segunda interfaz de importancia en la aplicación de finanzas castilla, es la correspondiente con los históricos de la configuración de partido (Figura 7). Esta interfaz especifica de manera única, la configuración de partido y la fecha en que recoge la información anual de los montos

totales, así como el total arrendado y encabezado, y las personas (financieros) que participaron como arrendadores o receptores. Finalmente, se recoge información relativa a las fuentes bibliográficas donde se obtuvo dicha información.

La figura 8 muestra la propuesta del visor web de mapas para el despliegue y visualización de los datos espaciales y temporales. El diseño sigue la estructura básica las interfaces SIG, con una barra de herramientas, una zona de visualización de la información geográfica, un panel del contenido de las capas, la leyenda y una región para el despliegue de la información y resultados de la búsqueda.

Figura 8. Interfaz del visor Web de mapas



Capítulo 4 - Presentación de resultados

Como etapas finales de la metodología de ingeniería de software para el desarrollo del Sistema de Información Geográfica Web, se presenta a continuación los resultados obtenidos en las fases de programación del código fuente e implantación del sistema. También se presenta resultados de procesamiento y análisis temporal y espacial de los datos geográficos con algunas de las herramientas SIG como Quantum GIS o ArcGIS, para evaluar la respuesta y utilidad del sistema para responder las preguntas y soporte del análisis a los investigadores.

4.1. Resultados de la programación e implantación de la herramienta SIG Web

4.1.1. Configuración de tecnologías SIG de software libre o de código abierto

La fase inicial de la implantación consistió en la instalación y configuración de las herramientas de software que soportará el sistema. Por un lado, cumpliendo con las especificaciones tecnológicas del SIG, se contrató el servicio de hospedaje Web con la empresa francesa de Alwaysdata¹³, cuyas características y especificaciones de plataforma de software libre y de código abierto, así como el soporte de aplicaciones con funcionalidades espaciales y bases de datos geográficas se ajustan a las necesidades del proyecto.

El servicio de hospedaje Web, ofrece como sistema operativo en el servidor la distribución de GNU/Linux Debian, el servidor de base de datos PostgreSQL/PostGIS el servidor de mapas Mapserver, el servidor Web de Apache y el soporte de desarrollo Web con el lenguaje Python a través del *framework* de Django con su extensión SIG.

Para el resto de aplicaciones y dependencias de software en Python, como el servidor generador de memoria cache de teselas MapProxy y funcionalidades extendidas de Django fue necesario usar las herramientas de Linux para la compilación e instalación de software.

Una vez se realice la instalación de las herramientas se prosigue a la configuración de las mismas. Para ello el servicio de Alwaysdata cuenta con un administrador de herramientas Web flexibles para la configuración de conexiones remotas al servidor de hospedaje Web, la

¹³ Para mayor información consulta la página Web: <https://www.alwaysdata.com/>

creación de la base de datos geográficos, la creación de roles y configuración de permisos de usuarios, la configuración del servidor Web Apache para la publicación de las aplicaciones desarrolladas con Django y los servidores de mapas.

La configuración final de los servidores de aplicaciones como Django, Mapserver, MapProxy para integrarse y comunicar con la base de datos geográficos, se realiza usando lenguajes informáticos o sintaxis propios, cuyos ejemplos se muestran en la sección 4.1.3 de generación de código.

4.1.2. Migración y carga de los datos geográficos en el servidor de bases de datos

Los resultados obtenidos en esta fase se divide dependiendo del modelo de datos geográficos, por una parte los datos vectoriales y alfanuméricos se cargan a la base de datos geográficos, y los datos raster se almacenan como un sistema de archivos en el servidor Linux.

Como resultado de la fase de análisis de los datos e información existente en el proyecto (sección 3.1.3), dependiendo del formato y calidad de los mismos, se identificaron varios procesos previos para la organización e importación a la base de datos. Dado que la mayor parte de la información alfanumérica de la fiscalidad del Reino de Castilla se encontraba normalizada en una base de datos de Microsoft Access, se continuó a corregir la estructura de las tablas y exportarla a un formato abierto que permita la carga en el sistema, corresponde al formato de valores separados por coma (CSV), cuya migración es transparente para la base de datos de acuerdo a la estructura y tipo de datos definido en el diseño de la base de datos (figura 3).

Para el caso de los datos geográficos vectoriales de límites territoriales, dado que la fuente original tiene un formato SIG estándar conocido como *Shapefile* sólo fue necesario importar y poblar las tablas de la base de datos siguiendo la estructura definida en el diseño de la base de datos. El resto de tablas geográficas, como la configuración de partidos y nomenclátor son construidas en la base de datos a partir de la agregación de geometrías de localidades, o la recuperación de la geometría a través de los servicios web geográficos como NOMGEO.

Para los datos geográficos raster, fue necesario realizar procesos previos de georeferenciación de las imágenes, recorte y exportación en el formato GeoTiff, para luego almacenarse en un sistema de archivos en el servidor del hospedaje Web. Estas imágenes georeferenciadas son leídas por el servidor de mapas de Mapserver y servidas a las aplicaciones de visores de mapas del sistema Web o los SIG de escritorio.

4.1.3. Generación de código fuente

El principal lenguaje de programación usado en el desarrollo del sistema es Python, lenguaje por defecto del marco de desarrollo Django e integrador de las diferentes aplicaciones, como el servidor de bases de datos geográficos, servidor de mapas y el servidor Web. Adicionalmente se usaron otros lenguajes informáticos, propios de configuración de los servidores de aplicaciones y los estándar de la Web como HTML o JavaScript. La configuración del servidor de mapas MapServer para la publicación de servicios Web geográficos se realiza a través del lenguaje de etiquetas denominado **Mapfile** y para servidor generador de memoria caché MapProxy se realiza a través del lenguaje de etiquetas denominado *YAML Ain't Markup Language (YAML)*. Para el caso del marco de desarrollo Web Django, como usa el modelo de programación *Modelo->Vista->Plantilla (MVT)*, es necesario separar la definición de los datos, operaciones y la interfaz de presentación del conjunto de datos.

El código 1, muestra un ejemplo del archivo principal de configuración de Django *settings.py*. Se observa las declarativas de configuración de publicación del sistema en modo desarrollo o de producción (líneas 5 y 6), los parámetros de conexión a la base de datos geográficos (líneas 9-18), la configuración local de idioma y zona horaria (líneas 21-23), la configuración de los directorios de almacenamiento de los archivos estáticos del sistema como librerías JavaScript, imágenes y las plantillas Web (líneas 26-38). Por último, las líneas 41-46 muestra una de las principales características de Django y Python que consiste en la modularidad del desarrollo, lo cual separa la lógica de cada aplicación con una función dentro del sistema, por ejemplo, la declaración de la extensión '*django.contrib.gis*' carga todas las funcionalidades SIG en el marco de Django, y la '*finanza*' corresponde al módulo desarrollado para la aplicación de Finanzas Castilla.

Código 1. Configuración del marco de desarrollo de Django en el servidor

```
1 import os
2 gettext = lambda s: s
3 PROJECT_PATH = os.path.abspath(os.path.dirname(__file__))
4
5 DEBUG = True
6 TEMPLATE_DEBUG = DEBUG
7
8 # Conexión a la base de datos geográfica de PostgreSQL/PostGIS
9 DATABASES = {
10     'default': {
11         'ENGINE': 'django.contrib.gis.db.backends.postgis',
12         'NAME': 'www.finanzascastilla.com_geodb',
13         'USER': 'www.finanzascastilla.com',
14         'PASSWORD': '*****',
15         'HOST': 'postgresql.alwaysdata.com',
16         'PORT': '5432',
17     }
18 }
```

```
19
20 # Configuraciones locales de zona horaria e idioma por defecto
21 TIME_ZONE = 'Europe/Madrid'
22 LANGUAGE_CODE = 'es-es'
23 USE_I18N = True
24
25 # Rutas y configuraciones de los directorios estáticos y plantillas
26 MEDIA_ROOT = os.path.join(PROJECT_PATH, "media")
27 MEDIA_URL = "/media/"
28 STATIC_ROOT = os.path.join(PROJECT_PATH, 'static')
29 STATIC_URL = '/static/'
30 ADMIN_MEDIA_PREFIX = '/static/admin/'
31
32 STATICFILES_DIRS = (
33     os.path.join(PROJECT_PATH, "media"),
34 )
35
36 TEMPLATE_DIRS = (
37     os.path.join(PROJECT_PATH, "templates"),
38 )
39
40 # Extensiones y aplicaciones del marco de desarrollo Web Django
41 INSTALLED_APPS = (
42     # Módulos de GeoDjango y soporte GIS
43     'django.contrib.gis',
44     # Aplicación desarrollada de Finanzas Castilla
45     'finanza'
46 )
```

El código 2, presenta un ejemplo de definición del mapeo objeto-relacional para la aplicación de Finanzas Castilla mostrando algunas clases de las especificaciones de la fase de diseño de la base de datos de la figura 3. Como Django soporta la programación orientada a objetos, se observa algunos detalles que permite el control y comunicación con las tablas de la base de datos, y son interpretadas para el marco de desarrollo como objetos. Por un lado, cada tabla en la aplicación y base de datos se define como una clase con atributos y métodos. También se define la herencia entre objetos, como es el caso que las clases de la aplicación heredan de la librería *django.models* la clase *Model*.

La información geográfica en cada clase se define como un atributo adicional, con una geometría, dimensión y sistema de referencia propio del objeto (líneas 9 y 40). Un ejemplo de método de carácter geográfico, es el definido en la clase Nomenclátor como *save* para almacenar la geometría a partir de los valores de latitud y longitud (líneas 17-22).

Las características de integridad de datos son definidas como parámetros del atributo: valores nulos, valores únicos, dominios, tipo, longitud y precisión de los datos. Las restricciones de integridad referencial, se establecen como un atributo de llave foránea a la clase padre (ejemplo líneas 35-36). Cuando se establecen relaciones múltiples a múltiples valores es necesario crear una tabla de paso que relacione las dos tablas padre (ejemplo líneas 37 y 38).

Código 2. Modelo de datos Django de la aplicación Finanzas Castilla

```
1 from django.db import models
2 from django.contrib.gis.db import models
3 from django.contrib.gis.geos import GEOSGeometry, Point
4 import datetime
5
6 class Nomenclator(models.Model):
7     gid = models.AutoField(primary_key=True)
8     nombre = models.CharField(verbose_name=u'Nombre',max_length=250)
9     geom = models.PointField(srid=25830,null=True,blank=True)
10    latitud = models.FloatField(null=False,blank=False)
11    longitud = models.FloatField(null=False,blank=False)
12    tipo1 = models.CharField(verbose_name=u'tipo 1',max_length=250)
13    tipo2 = models.CharField(verbose_name=u'tipo 2',max_length=250)
14    municipio = models.ForeignKey(Localidad,null=False)
15    objects = models.GeoManager()
16
17    def save(self, *args, **kwargs):
18        pntTxt = 'SRID=4326;POINT(%f %f)' % (self.longitud, self.latitud)
19        pntGeo = GEOSGeometry(pntTxt)
20        pntGeo.transform(25830)
21        self.geom = Point(pntGeo.x, pntGeo.y)
22        super(Nomenclator, self).save(*args, **kwargs)
23
24    def __unicode__(self):
25        return u'%s (%s)' % (self.nombre,self.municipio.provincia)
26
27    class Meta:
28        db_table = 'finanza_nomenclator'
29        verbose_name = "nomenclator"
30        verbose_name_plural = "nomenclator"
31        ordering = ['nombre']
32
33    class ConfiguracionPartido(models.Model):
34        gid = models.AutoField(primary_key=True)
35        partido = models.ForeignKey(Partido)
36        renta = models.ForeignKey(Renta,null=True)
37        localidades = models.ManyToManyField(Localidad,
38            through='ConfiguracionPartidoLocalidad',related_name='localidad')
39        comentario = models.TextField(max_length=500,null=True,blank=True)
40        zona = models.MultiPolygonField(srid=25830,null=True,blank=True)
41        objects = models.GeoManager()
42
43    class ConfiguracionPartidoLocalidad(models.Model):
44        localidad = models.ForeignKey(Localidad)
45        configuracionpartido = models.ForeignKey(ConfiguracionPartido)
46        impuesto = models.CharField(max_length=50,null=True,blank=True)
47        administracion = models.CharField(null=True,choices=ADMIN_CHOICES)
48        monto = models.FloatField(verbose_name=u'Monto',null=True,blank=True)
49
50    class HistoricoPartido(models.Model):
51        configuracionpartido = models.ForeignKey(ConfiguracionPartido)
52        fecha = models.DateField(default=datetime.date(1500, 01, 01))
53        total = models.FloatField(verbose_name=u'total',null=True,blank=True)
54        cantidad_arrendada = models.FloatField(null=True,blank=True)
55        cantidad_encabezado = models.FloatField(null=True,blank=True)
56        comentario = models.TextField(max_length=350,null=True,blank=True)
57        personas = models.ManyToManyField(Persona, through='PersonaRol')
58        fuentes = models.ManyToManyField(Fuente, through='HistoricoPartidoFuente')
```

Para demostrar las funcionalidades de consulta espacial en el marco de desarrollo Web de Django y las propiedades del mapeo objeto-relacional de la base de datos geográfica, se plantea en el código 3 la construcción de una vista (*historicos_partido*), como la consulta

espacial de contenido de un punto (a partir de las coordenadas X e Y suministradas por el usuario) en la geometría de configuración partidos, y que retorne como resultado el histórico de partidos agrupados por nombre de partido fiscal y año, así como la información correspondientes de los montos de arrendamiento y los financieros que participan.

Código 3. Vista para la consulta de los históricos de partido con una consulta espacial

```
1 from django.http import HttpResponse, Http404
2 from django.shortcuts import render_to_response
3 from finanza.models import ConfiguraciónPartido, HistoricoPartido
4 from django.contrib.gis.geos import Point
5
6 def historicos_partido(request):
7     if request.method == 'GET':
8         x = request.GET.get('x', None)
9         y = request.GET.get('y', None)
10        coordenada = Point(float(x),float(y))
11        try:
12            cp = ConfiguraciónPartido.objects.filter(zona__contains = coordenada)
13            cp_gid_list = [int(i) for i in cp.values_list('gid', flat=True)]
14            historico_cp = HistoricoPartido.objects.filter(
15                configuracionpartido__in = cp_gid_list)
16        except HistoricoPartido.DoesNotExist:
17            raise Http404
18        return render_to_response('consulta/historicos_partido.html', {'historico_cp':
19            historico_cp})
```

Las líneas de código 1 al 4 importan las librerías y dependencias para definir los objetos ConfiguraciónPartido e HistoricoPartido a partir del modelo de datos de la aplicación Finanza Castilla, la clase Punto para definir objetos de geometría puntual y otras funcionalidades Web propias del servidor de Django.

Una vista se traduce en Django como una función en programación (línea 6), toma como parámetro la solicitud que realiza el cliente y devuelve una respuesta Web, escribiendo específicamente los resultados de la consulta en una plantilla *html* (línea 18). Lo que queda en el cuerpo de la función corresponde al geoprocesamiento de los datos. En el ejemplo, se captura las coordenadas UTM X e Y que envía el cliente a través de la URL del navegador Web (líneas 8 y 9) y se crea una geometría de tipo punto (10). Con este dato geográfico se filtra las configuraciones de partido como una consulta espacial de contenido de un punto dentro de un polígono (línea 12). Luego se crea a partir del filtro de las configuraciones de partido una lista de valores de los identificadores para consultar finalmente los históricos partido que coincidan (líneas 13 y 14).

El código 4 muestra la plantilla que finalmente retornará los resultados al cliente. Esta plantilla se basa en una jerarquía de etiquetas en el lenguaje HTML, y una sintaxis especial para el

motor de plantillas de Django, que convierte los objetos y variables de Python en etiquetas HTML. El motor de plantillas dispone de funcionalidades y filtros para representar los datos. Como se muestra en la línea de código 1, el resultado de históricos partidos se presentan en el cliente como la agrupación de configuración de partido. Luego se iteran todos los valores que almacena la variable *historico_cp* para retornar los datos de año del histórico, los montos de las rentas y los financieros que participan. Como se muestra en las líneas 3 al 19, las iteraciones se realiza con el bucle *for* sobre la lista de valores de los atributos propios del objeto *HistoricoPartido* o como la consulta de los registros establecidos entre las relaciones de los diferentes objetos del sistema (*configuracionpartido* y *personas*).

Código 4. Platilla HTML para la presentación de resultados de la consulta espacial

```
1 {% regroup historico_cp by configuracionpartido as cp_lista %}
2
3 <ul> {% for configuracionpartido in cp_lista %}
4   <li>{{ configuracionpartido.grouper }}
5     <ul> {% for historico in configuracionpartido.list %}
6       <li>Año: {{ historico.fecha.year }}<br>
7         Total: {{ historico.total }}; Cantidad arrendada:
8         {{ historico.cantidad_arrendada }}; Cantidad encabezado:
9         {{ historico.cantidad_encabezado }}
10      <ul>Financieros:
11        {% for persona in historico.personas.all %}
12          <li>{{ persona.apellido }}, {{ persona.nombre }}</li>
13        {% endfor %}
14      </ul>
15    </li>
16  {% endfor %}
17 </ul>
18 </li>
19 {% endfor %}
20 </ul>
```

Con los ejemplos mostrados anteriormente de la metodología y patrón de desarrollo Vista → Modelo → Plantilla (MVT), y la generación del mapeo objeto-relacional (ORM) de las bases de datos geográficas, se muestra las capacidades de Django para transformar el desarrollo de los aplicativos Web con programación orientado a objetos. Adicionalmente, este marco de desarrollo ofrece el soporte objetos geográficos y las funcionalidades para plantear consultas espaciales sobre las geometrías y propiedades topológicas de los datos vectoriales.

Para la publicación de los servicios geográficos con el servidor de mapas Masperver se usa el lenguaje de etiquetas Mapfile (código 5), declara una serie de bloques jerárquicos con las propiedades del proyecto como la extensión geográfica, el sistema de referencia espacial, las unidades de medida, los servicios geográficos Web disponibles e información relacionado con los metadatos de las capacidades de los servicios (líneas 2-19).

Código 5. Archivo Mapfile de configuración de servicios Web geográficos

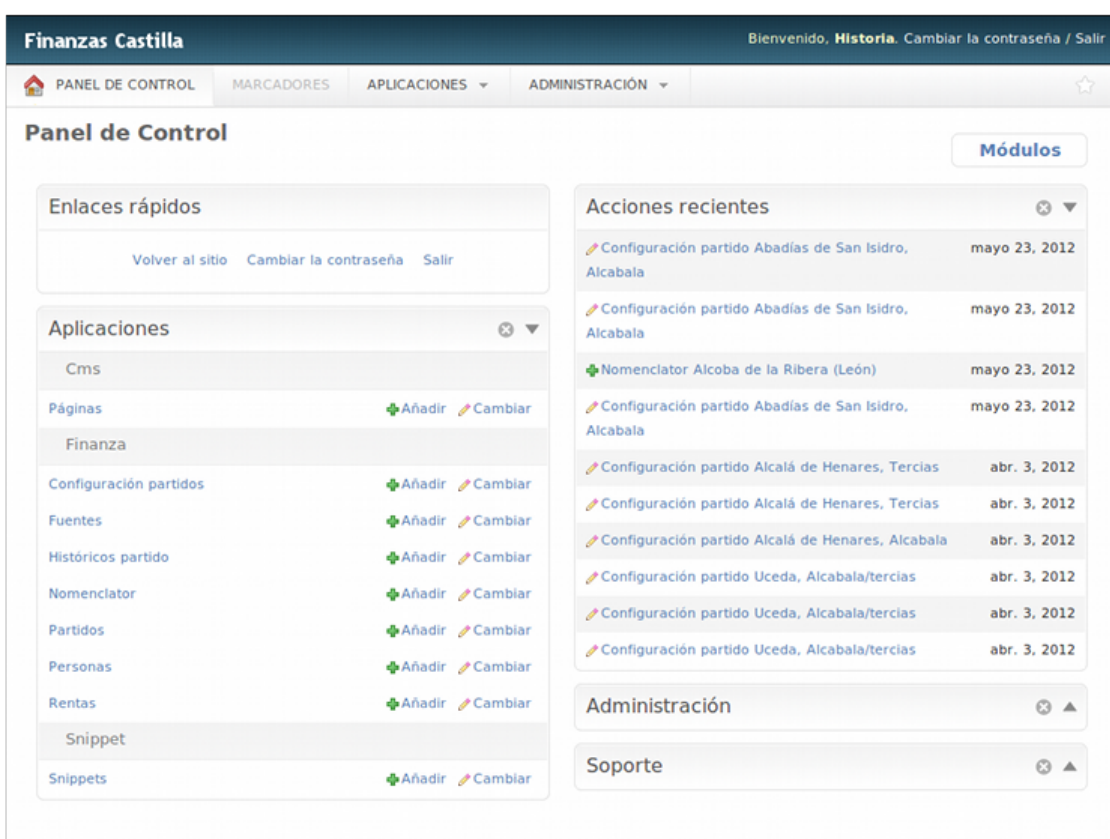
```
1 MAP
2   NAME 'FinanzasCastilla'
3   UNITS meters
4   EXTENT -1624154 3545804 2582969 5404291
5   PROJECTION
6     'init=epsg:25830'
7   END
8
9   WEB
10    IMAGEPATH '/tmp/'
11
12    METADATA
13      'ows_title'           'Finanzas Castilla'
14      'ows_onlineresource' 'http://geoservicio.finanzascastilla.com/mapserv'
15      'ows_srs'            'EPSG:25830'
16      'ows_encoding'      'UTF-8'
17      'ows_enable_request' '*'
18    END
19  END
20
21  LAYER
22    NAME 'configuracion_partido'
23    TYPE POLYGON
24    EXTENT -1624154 3545804 2582969 5404291
25    CONNECTIONTYPE postgis
26    CONNECTION "dbname='gedb'\\
27      host=postgresql.alwaysdata.com port=5432 user='admin' \\
28      password='*****' sslmode=disable"
29    DATA 'geom FROM "finanza"."configuracion_partido" \\
30      USING UNIQUE cp_gid USING srid=25830'
31    METADATA
32      'ows_title'           'configuracion_partido'
33      'gml_include_items'  'all'
34      'gml_featureid'     'cp_gid'
35    END
36    SIZEUNITS meters
37    LABELITEM 'partido_renta'
38    CLASS
39      NAME 'configuracion_partido'
40      STYLE
41        WIDTH 100
42        OUTLINECOLOR 0 0 0
43      END
44    LABEL
45      FONT sans
46      TYPE truetype
47    END
48  END
49 END
50 END
```

Para el caso de las capas geográficas a publicar se usan una serie de parámetros entre el bloque LAYER y END, como los parámetros de conexión a la fuente de datos (vectorial, raster u otros servicios geográficos Web), extensión de la capa, los metadatos de las capacidades de los diferentes servicios a publicar, así como los parámetros de configuración de la simbolización y etiquetado de los objetos geográficos. En las líneas 21 al 49, se observa el ejemplo de publicación WMS y WFS de la capa Configuración Partidos, cuya fuente de datos se establece a la base de datos geográficos PostGIS.

4.1.4. Desarrollo de las interfaces Web de usuario

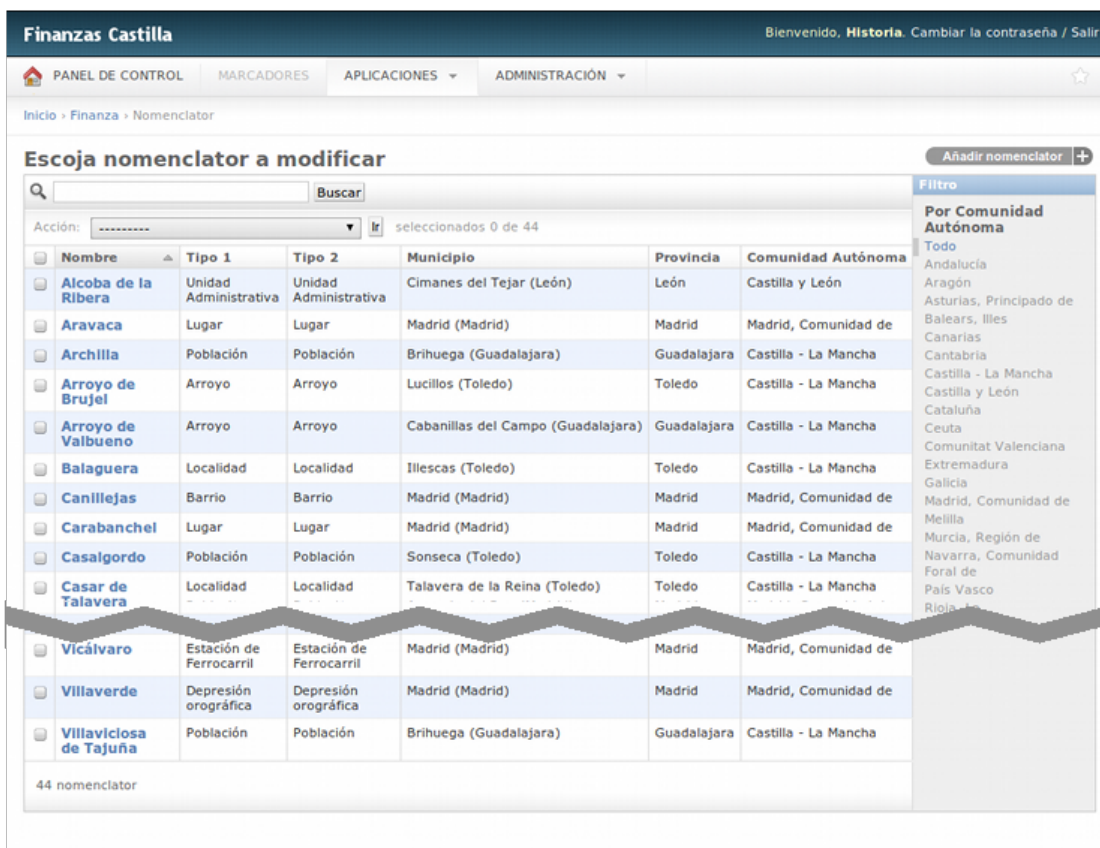
Con el desarrollo e integración entre los servidores de aplicaciones fue posible obtener unas interfaces Web de usuario, siguiendo las especificaciones establecidas en la fase de diseño (sección 3.2.4). La figura 9, corresponde a la interfaz Web del inicio del Sistema, en ella se observa las herramientas que permiten al investigador navegar en las aplicaciones que tiene permiso de acceso y edición, y por otro lado permite conocer el histórico reciente de cambios en los registros de las aplicaciones.

Figura 9. Interfaz gráfica del inicio del sistema Web



La siguiente interfaz gráfica Web (figura 10) corresponde al despliegue de los datos en forma de tabla, y en la que se ofrece las herramientas para agregar, listar, buscar, filtrar o borrar registros de la aplicación. Uno de los filtros que más se usa por el investigador es la división territorial, la cual permite seleccionar los registros de interés en un ámbito geográfico .

Figura 10. Interfaz gráfica Web para el despliegue tabular de datos



The screenshot shows the 'Finanzas Castilla' web application interface. At the top, there is a navigation bar with 'Finanzas Castilla' on the left and 'Bienvenido, Historia, Cambiar la contraseña / Salir' on the right. Below this is a menu with 'PANEL DE CONTROL', 'MARCADORES', 'APLICACIONES', and 'ADMINISTRACIÓN'. The main content area is titled 'Escoja nomenclator a modificar' and features a search bar with a 'Buscar' button. Below the search bar is a table with the following columns: 'Nombre', 'Tipo 1', 'Tipo 2', 'Municipio', 'Provincia', and 'Comunidad Autónoma'. The table contains 15 rows of data, including entries like 'Alcoba de la Ribera', 'Aravaca', 'Archilla', 'Arroyo de Brujel', 'Arroyo de Valbuena', 'Balaguera', 'Canillejas', 'Carabanchel', 'Casalgordo', 'Casar de Talavera', 'Vicálvaro', 'Villaverde', and 'Villaviciosa de Tajuña'. To the right of the table is a 'Filtro' sidebar with a dropdown menu for 'Por Comunidad Autónoma' and a list of Spanish autonomous communities.

| Nombre | Tipo 1 | Tipo 2 | Municipio | Provincia | Comunidad Autónoma |
|------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------------------|-------------|----------------------|
| Alcoba de la Ribera | Unidad Administrativa | Unidad Administrativa | Cimanes del Tejar (León) | León | Castilla y León |
| Aravaca | Lugar | Lugar | Madrid (Madrid) | Madrid | Madrid, Comunidad de |
| Archilla | Población | Población | Brihuega (Guadalajara) | Guadalajara | Castilla - La Mancha |
| Arroyo de Brujel | Arroyo | Arroyo | Lucillos (Toledo) | Toledo | Castilla - La Mancha |
| Arroyo de Valbuena | Arroyo | Arroyo | Cabanillas del Campo (Guadalajara) | Guadalajara | Castilla - La Mancha |
| Balaguera | Localidad | Localidad | Illescas (Toledo) | Toledo | Castilla - La Mancha |
| Canillejas | Barrio | Barrio | Madrid (Madrid) | Madrid | Madrid, Comunidad de |
| Carabanchel | Lugar | Lugar | Madrid (Madrid) | Madrid | Madrid, Comunidad de |
| Casalgordo | Población | Población | Sonseca (Toledo) | Toledo | Castilla - La Mancha |
| Casar de Talavera | Localidad | Localidad | Talavera de la Reina (Toledo) | Toledo | Castilla - La Mancha |
| Vicálvaro | Estación de Ferrocarril | Estación de Ferrocarril | Madrid (Madrid) | Madrid | Madrid, Comunidad de |
| Villaverde | Depresión orográfica | Depresión orográfica | Madrid (Madrid) | Madrid | Madrid, Comunidad de |
| Villaviciosa de Tajuña | Población | Población | Brihuega (Guadalajara) | Guadalajara | Castilla - La Mancha |

En la figura 11, muestra el resultado de la interfaz gráfica Web correspondiente al formulario principal de la aplicación de Finanzas Castilla, la configuración partido. A través de esta interfaz es posible editar y consultar la información espacial de la aplicación, como la colección de geometrías de localidades y nomenclátor. Como se había expuesto en los requerimientos específicos de la aplicación de Finanza Castilla, la configuración de partido debe construirse como la definición única de un partido y una renta, y la información geográfica es formada por la agregación de las divisiones territoriales.

El visor Web de mapas que se muestra en la interfaz de configuración de partido, constituye una importante herramienta de apoyo al investigador, ya que permite tener una visualización de la extensión geográfica en el momento de ingreso de los datos de localidades y los nomenclátor. La información visual como la agregación y nivel de distribución de las geometrías representadas, permite identificar posibles errores en los nombres de localidades por la transcripción de los documentos históricos.

Figura 11. Interfaz gráfica de la configuración de partido

The screenshot shows the 'Finanzas Castilla' web application interface for configuring a 'partido' (district). The interface includes a navigation menu, a map of the Madrid region, a text editor for comments, and two tables for 'Zona partidos' and 'Nomenclátor'.

Finanzas Castilla Bienvenido, **Historia** Cambiar la contraseña / Salir

PANEL DE CONTROL MARCADORES APLICACIONES ADMINISTRACIÓN

Inicio > Finanza > Configuración partidos > Madrid, Alcabala/tercias

Modificar configuración partido Histórico

Partido: Madrid

Renta: Alcabala/tercias

Zona:

Comentarios

Comentario: **Receptoría de encabezado**
 -El concejo de la villa de Madrid por las alcabalas y tercias de la dicha villa y por las tercias de los lugares de su tierra con Paria e Polvoranca e Mejorada*
 Mejorada, alcabalas.

Ruta:

| Localidad | Impuesto | Administración | Monto | ¿Eliminar? |
|-----------------|-------------------|----------------|-------|------------|
| Madrid (Madrid) | Alcabalas/Tercias | Encabezado | | |
| Parla (Madrid) | Alcabalas/Tercias | Encabezado | | |
| Getafe (Madrid) | Alcabalas | Encabezado | | |

➕ Agregar otro Zona Partido.

| Nomenclátor | Impuesto | Administración | Monto | ¿Eliminar? |
|---------------------|-------------------|----------------|-------|------------|
| Polvoranca (Madrid) | Alcabalas/Tercias | Encabezado | | |
| Villaverde (Madrid) | Alcabalas | Encabezado | | |
| Fregacedos (Madrid) | Alcabalas | Arrendado | | |

➕ Agregar otro Nomenclátor.

✖ Eliminar Grabar y continuar editando Grabar y añadir otro Grabar

Por último, la figura 12 representa la interfaz gráfica web correspondiente a la información temporal de la configuración de partido. Por una parte, se define unívocamente la configuración de partido en una fecha. El histórico almacena la información de montos totales, arrendado y

encabezado y la información de los financieros que participan del registro.

Figura 12. Interfaz gráfica del histórico de partido

The screenshot shows a web application interface for editing a historical record. The page title is "Modificar histórico partido" and the breadcrumb trail is "Inicio > Finanza > Históricos partido > Toledo, Alcabala/terci". The interface includes a navigation bar with "PANEL DE CONTROL", "MARCADORES", "APLICACIONES", and "ADMINISTRACIÓN". The main content area contains a form for editing the record, with fields for "Configuración partido" (Toledo, Alcabala/terci), "Año" (01/01/1503), "Total" (10937400.0), "Cantidad arrendada" (83223.0), and "Cantidad encabezado" (10854177.0). There is also a rich text editor for "Comentario" containing the text "Álvarez de la Serna es arrendador de lugares por encabezar" and a "Ruta" field. Below the form are two tables: "Personas Roles" and "Fuentes en histórico partido".

| Persona | Tipo | Porcentaje Participación | ¿Eliminar? |
|---|------------|--------------------------|--------------------------|
| Álvarez de la Serna, Pedro | | | |
| Álvarez de la Serna, <input type="text"/> | Arrendador | <input type="text"/> | <input type="checkbox"/> |
| Torre, Alonso de la | | | |
| Torre, Alonso de la <input type="text"/> | Receptor | <input type="text"/> | <input type="checkbox"/> |

| Fuente | ¿Eliminar? |
|--|--------------------------|
| CARRETERO, ALONSO, Hacienda y negocio... | |
| CARRETERO, ALONS <input type="text"/> | <input type="checkbox"/> |

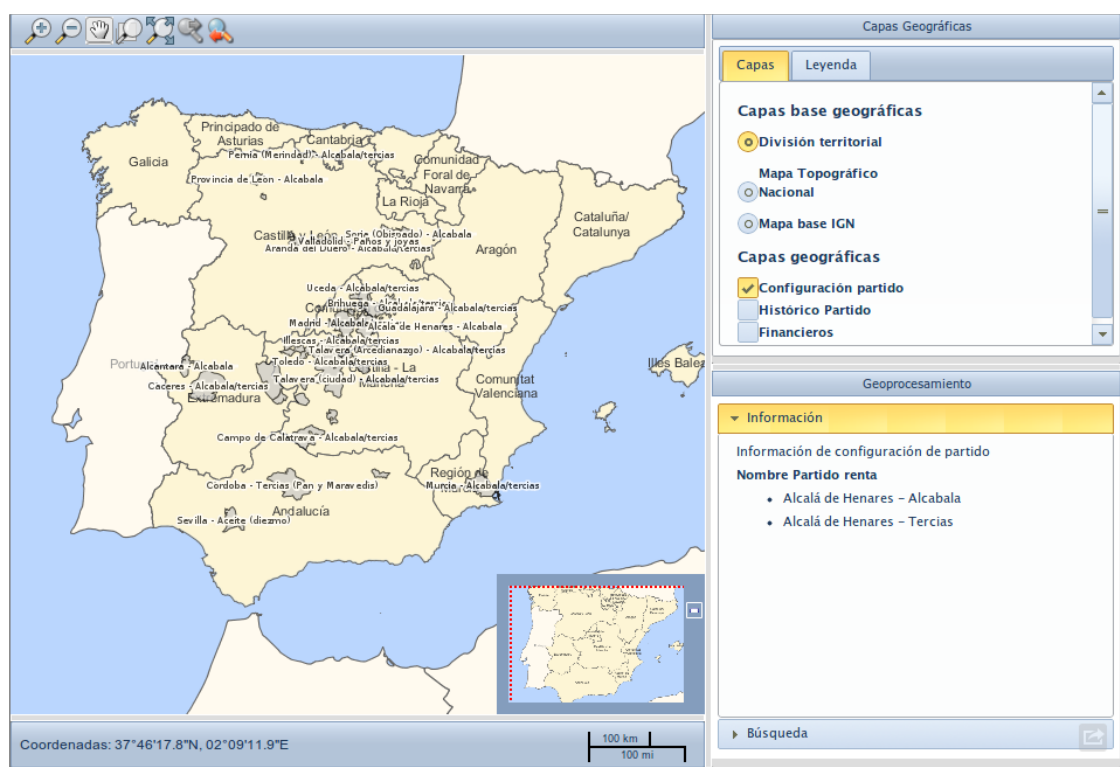
Buttons at the bottom: , , ,

Los investigadores disponen también de un visor de mapas (figura 13) para la visualización y consulta de los datos del sistema. Esta interfaz permite la interacción con los servidores de aplicaciones de mapas y el marco de desarrollo de Django, ya que son las aplicaciones intermedias de comunicación entre el cliente Web con el servidor de bases de datos. El visor integra las tecnologías SIG de visualización de los datos geográficos vectoriales y raster del sistema, la conexión con los servicios Web geográficos proveídos por la IDEE y la información de atributos y temporal recuperada con el *framework* de Django.

El desarrollo logrado para este trabajo de fin de máster, cuenta con un diseño básico de las interfaces de clientes SIG, con una barra de herramientas para la navegación en el mapa, un panel de contenidos de las capas geográficas, que se separa las capas base o de referencia

(relieve, división territorial, mapa topográfico) y las capas del sistema de fiscalidad como la configuración de partidos, los históricos partidos y la georeferenciación de financieros. En el panel de capas geográficas, también se muestran las leyendas, con la definición de la simbología, rangos y valores usados para la representación de las capas de fiscalidad. La interfaz también dispone de una región para el despliegue de la información consultada como interacción directa con los elementos geográficos del mapa o a través de los formularios de consulta.

Figura 13. Interfaz gráfica del visor Web de mapas



4.1.5. Evaluación del sistema por parte del equipo investigador

La etapa final de evaluación junto al proceso de desarrollo de la aplicación es seguida continuamente por el equipo investigador, quienes suministran las correcciones, observaciones de fallos y mejoras de las herramientas para el ingreso, consulta y análisis de los datos espaciales e históricos.

Los resultados de evaluación de la aplicación corresponde con las especificaciones recogidas en la etapa de análisis de requerimientos de los usuarios y el diseño establecido de la base de datos geográficos y las interfaces Web. Cumpliendo con lo anterior, se resume la evaluación

como la siguiente:

- La base de datos (PostgreSQL/PostGIS) permite el almacenamiento de datos geográficos, así como el soporte de funcionalidades de análisis vectorial.
- Las interfaces gráficas Web, permite al investigador disponer de un espacio administrativo del sistema, con las herramientas para visualizar, consultar y editar los datos espaciales y temporales.
- Como el sistema usa la plataforma Web, es posible el acceso remoto de los investigadores a las aplicaciones disponibles. El sistema cumple con características de autenticación de usuarios y soporte de seguridad a través de la definición de perfiles y roles con los permisos de acceso y edición de los datos.
- El SIG Web cumple con el requisito de modularidad. Esta característica es proveída principalmente por el marco de desarrollo de Django, que permite extender e integrar desarrollos adicionales, propuestos principalmente como sub-proyectos de investigación.
- El sistema provee servicios geográficos Web que permita la conexión de los clientes SIG a la información geográfica y temporal. La recuperación de las geometrías y los atributos, permitiría al investigador aplicar las funciones de análisis espacial, temporal y estadísticos en los software SIG o estadísticos.
- El desarrollo del módulo del sistema de Finanzas Castilla, cumple con los requerimientos y restricciones de los datos. La configuración de partido esta conformada por la agregación del partido, renta y una colección de geometrías de localidades. El histórico partido corresponde a la dimensión temporal de la configuración del partido.
- Lo que refiere a los informes, se calcula en la base de datos las características geográficas de las configuraciones de partido. Los análisis espaciales y temporales más complejos se realizan con las herramientas SIG de escritorio. Algunos ejemplos de los posibles resultados de análisis se documentan en la sección 4.2.

4.2. Resultado de los análisis espaciales y temporales de los datos

La finalidad del sistema Web desarrollado es servir como herramienta de apoyo de investigación, que integre la información temporal y espacial para comprender la historia de la fiscalidad en España. Es por ello que adicional a las funcionalidades SIG de almacenamiento, recuperación, representación, interoperabilidad y procesamiento, sean las capacidades analíticas las de mayor importancia en las tecnologías de la información geográfica, porque permite la extracción de información o la búsqueda de patrones espaciales-temporales.

Con la integración de los componentes de atributos, espacial y temporal es posible lograr una mejor comprensión de la medición del impacto en el tiempo y el espacio del proceso o hecho, desarrollado de manera realista y efectiva. Sin el detalle de los tres componentes, el conocimiento tenderá a ser simplista, reduciendo la utilidad del análisis planteado a un tiempo y espacio dominante (Gregory y Ell, 2007). Con el componente temporal, no sólo es posible tener información del cambio de la localización y características de los objetos, si no también es posible identificar los patrones o modelos que expliquen las causas de los eventos

De acuerdo al investigador principal de la aplicación de Finanzas Castilla, David Alonso, se establece inicialmente tres objetivos principales de análisis espacial-temporal en el proyecto. El primer objetivo de análisis, se refiere a las características geográficas de la configuración de partido, como la extensión, tamaño, número y aglomeración de las localidades que lo conforman. El segundo objetivo de análisis espacial-temporal se refiere a la información de históricos de partido, y el uso de herramientas SIG y estadísticas que ayuden a visualizar la evolución e identificar cambios a través del tiempo. El tercer objetivo, se refiere a las relaciones de las personas financieras con la definición de áreas de influencia en las configuraciones de partido.

Los resultados que se presentan a continuación son algunas posibilidades de explotación de los datos geográficos y temporales de la aplicación de Finanzas Castilla, sin embargo, una vez se integren las aplicaciones de los sub-proyectos de investigación, es posible extender las relaciones fiscales a otros temas de interés como los eclesiásticos y comerciales.

4.2.1. Análisis espacial de las características de la configuración de partido

Las características geográficas de la configuración de partido permite establecer un conocimiento de la dimensión y costes de influencia y control de las localidades que la conforman. Para este tipo de análisis, se propone el uso en los SIG de los índices o métricas espaciales. De acuerdo a McGarigal y Marks, 1995; Collect et-al, 2012 básicamente establecen el análisis de patrones e interacciones de un conjunto de mosaicos que definen los patrones espacio-temporales, como resultado de las complejas interacciones de factores físicos, sociales y económicos. Los índices permiten comparar elementos en relación de su ubicación implícita y explícita, con propiedades individuales o características independiente de la escala y forma de los elementos.

Una vista geográfica general de la configuración de partidos fiscales hasta la fecha se puede observar en el mapa 1. En esta se detalla la ubicación y concentración espacial de la configuración de los partidos fiscales, con tendencia a formarse en las localidades de Madrid y Toledo.

Mapa 1. Vista general y ubicación de la configuración de partidos fiscales



Las principales métricas espaciales usadas para caracterizar el ambiente de la configuración de

partidos son las relacionadas con el tamaño, la forma, relaciones de proximidad, aislamiento y conexión de las localidades. Estos índices espaciales se obtuvieron a partir del uso de las funciones geométricas y matemáticas de PostgreSQL/PostGIS, y cuyo resultado tabla de atributos se une a la capa geográfica de configuración de partidos.

Los principales índices métricos calculados para la configuración de partido son el área en Km², perímetro en Km, porcentaje de área de estudio, índice forma MFDI, índice de conexión, número de localidades y número de adyacencias con otras configuraciones de partido. De acuerdo a McGarigal y Marks, 1995; Badii y Landeros, 2006 algunos índices se calculan como:

- **PLAND**: Entrega información de la proporción de la extensión que ocupa cada configuración de partido en el área de estudio.

$$PLAND = P_i = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{A} * 100$$

donde:

a_{ij} : área de la configuración de partido

A : extensión del área de estudio

- **MFDI**: esta métrica entrega información de la forma de la configuración de partido. Se establece la regularidad o irregularidad de una geometría en comparación de la geometría estándar del círculo y cuadrado

$$MFDI = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left[\frac{2 \ln * (0.25 * p_{ij})}{\ln a_{ij}} \right]}{NP}$$

donde:

p_{ij} : perímetro de la configuración de partido

a_{ij} : área de la configuración de partido

NP : número total de parches del área de estudio

El rango de valores se establece como $1 \leq MFDI \leq 2$, donde uno significa una forma regular acercándose a un círculo o cuadrado y los valores que tienden a dos son formas más complejas.

- **CONNECT**: el índice de conexión, mide el grado de agrupamiento entre las localidades de una configuración de partido. Se calcula como una medida de porcentaje de adyacencias entre localidades vecinas de la misma clase.

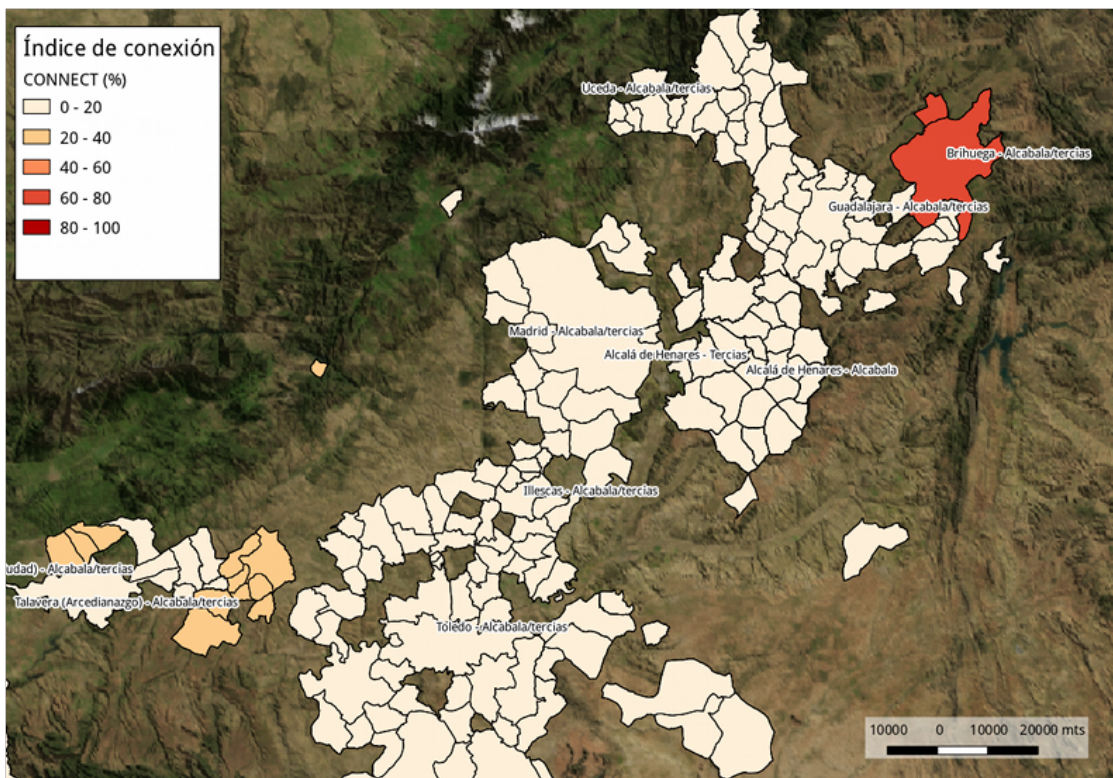
$$CONNECT = \left(\frac{\sum_{j \neq k}^n c_{ijk}}{n_i(n_i - 1)} \right) * 100$$

donde:

c_{ijk} : número de adyacencias entre localidades j y k del correspondiente configuración de partido.

n_i : número total de localidades del correspondiente configuración de partido.

Mapa 2. Análisis espacial de la configuración de partido, índice de conexión



El mapa 2, muestra un ejemplo de salida del índice espacial de conexión sobre la configuración de partidos, permite establecer si las localidades que la conforman presentan una agrupación espacial, lo que expresa un menor coste de control sobre esta zonas. El caso de las configuraciones de partidos como Madrid – Alcabala/Tercias o Toledo – Alcabalas/Tercias

tienen un bajo índice de conexión, por lo que las localidades se encuentran aisladas entre sí. Caso contrario se presenta para la configuración de partido de Brihuega Alcabala/Tercias.

4.2.2. Análisis espacial-temporal de los históricos de partido

La visualización de los datos geográficos y temporales a través de los SIG permite aplicar técnicas para la consulta espacial extendida y generación de mapas dinámicos. La consulta es la capacidad del SIG para entregar respuestas a preguntas que realiza el usuario, aquí el tiempo cumple como restricción o filtro para la visualización de los atributos o ubicación de los objetos. La técnica de animación de mapas explota la capacidad del ordenador para actualizar el contenido, cambiando la representación de los datos por un periodo de tiempo. De acuerdo a Andrienko et-al, 2003 es posible identificar tres cambios en los datos espacio-temporales 1) los cambios de estado de los eventos, es decir se visualizan o no en un rango temporal; 2) cambios en las propiedades espaciales, en particular la ubicación del objeto y 3) cambios en los valores de los atributos temáticos.

Un análisis que implica la integración de la dimensión espacial y temporal, es la de generar una sucesión de vistas del mapa con una simbolización en concreto a través del tiempo. Las herramientas actuales SIG, permiten la representación dinámica, en que la visualización geográfica se actualice de acuerdo a los valores temporales. La utilidad del análisis permite al investigador identificar en contexto espacial, algunos posibles patrones con tendencias de agruparse o correlación geográfica, y sirve como herramienta de soporte para validar o investigar los hechos históricos.

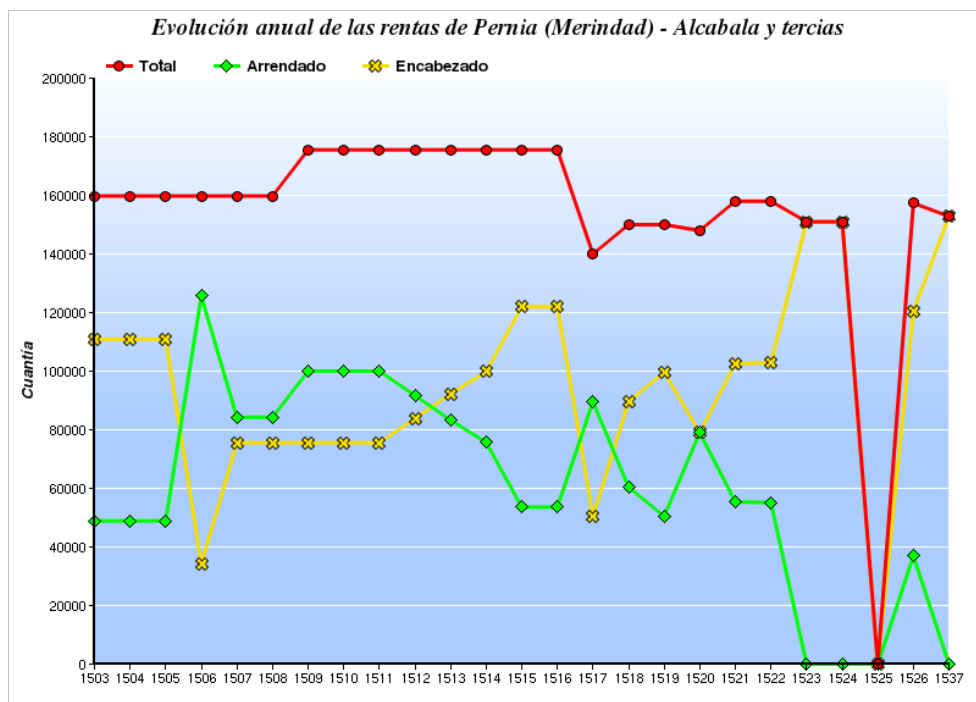
Las principales herramientas SIG que soporta este tipo de análisis espacial-temporal son ArcGIS a través de la extensión de *Tracking Analyst* o usando el software libre de Quantum GIS a través del complemento de *Time Manager*. Ambas herramientas SIG, presentan limitaciones de representación en el contexto temporal del análisis (siglo XV y XVI), por lo que es necesario plantear el desarrollo de una herramientas Web que permita al investigador llevar a cabo la aplicación de estas funciones de análisis.

El mapa 3 muestra una sucesión de salidas de mapa por un periodo de cuatro años (1510-1513) , y representa la evolución de las rentas de un conjunto de partidos fiscales. Las zonas que tienen a colores oscuros, son los que perciben una mayor cuantía en rentas sobre aquellos que tienden a colores claros. Al observar la sucesión temporal de mapas, se puede identificar los cambios en las rentas o si permanece en el tiempo. Para periodos de tiempo más largos, se recomienda producir una animación para que el investigador apoye la visualización de este tipo

de análisis.

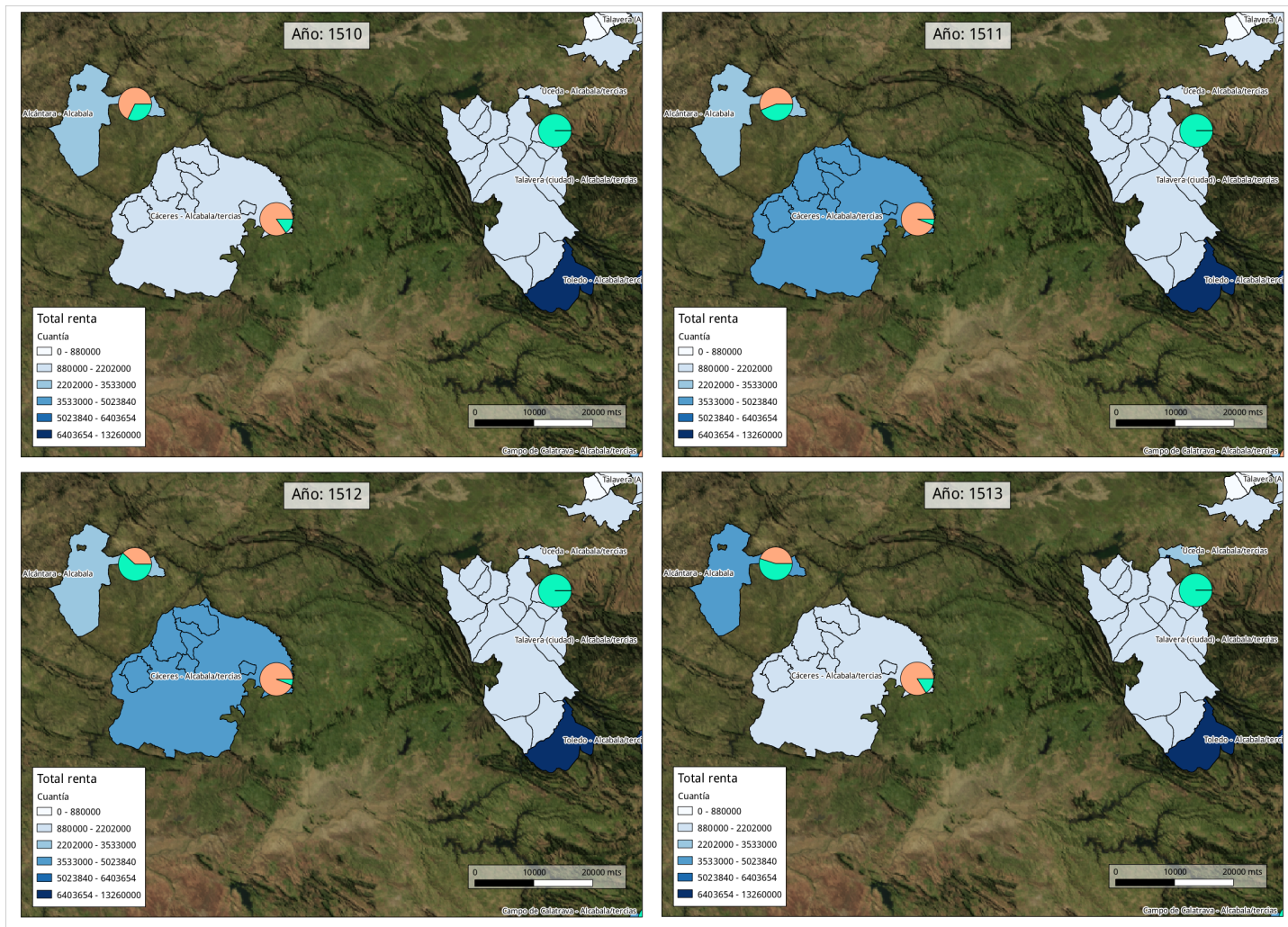
Los mapas son una de las posibles salidas y explotación de los datos del sistema, sin embargo también es posible obtener de la base de datos geográficos los resúmenes, análisis y representaciones de las estadísticas de los datos, tal como se entrega en las figura 14, correspondiente al gráfico de serie temporal de las rentas de la configuración de partido de Pernia (Merindad) – Alcabalas y tercias en el periodo de tiempo 1503 – 1537.

Figura 14. Análisis estadístico temporal de las rentas



Actualmente este tipo de análisis se realiza usando software SIG o paquetes estadísticos especializados, sin embargo se planea el desarrollo de funcionalidades en el sistema web que procese los datos en el servidor para la generación de informes en donde el investigador obtenga información detallada con las salidas den forma de mapas, resúmenes y gráficos.

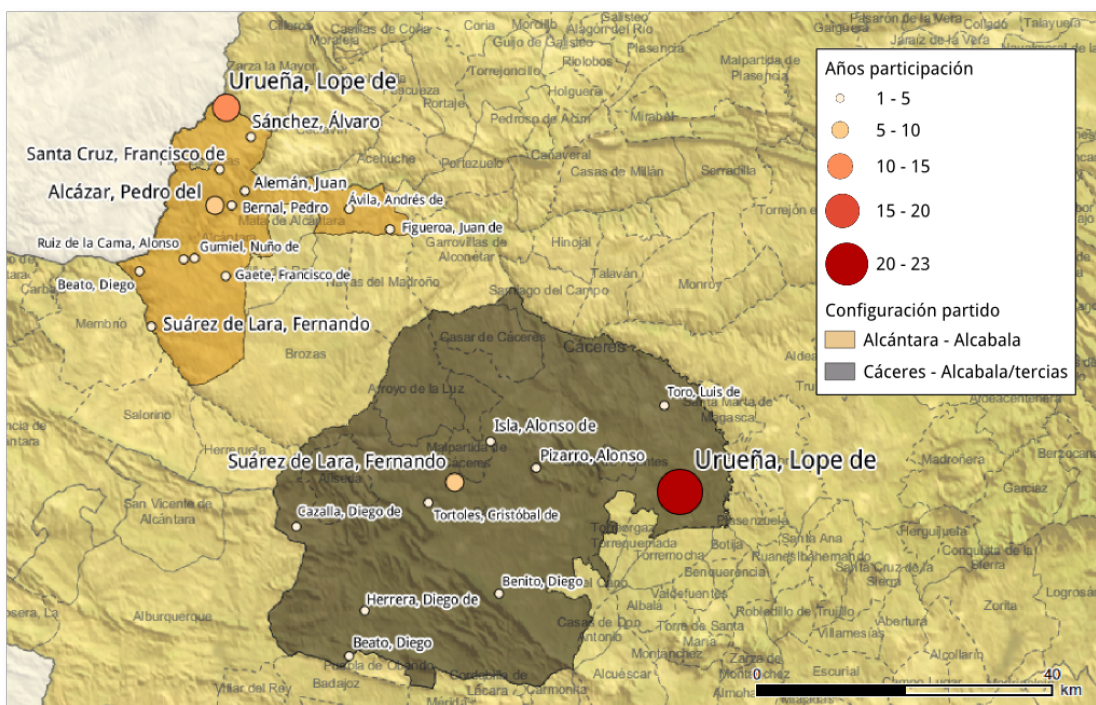
Mapa 3. Análisis espacial-temporal de la evolución de las rentas de 1510 - 1513



4.2.3. Análisis espacial-temporal de los financieros

Otras de las posibilidades de análisis del sistema, es la consulta de los financieros que participan como arrendadores o receptores de las rentas de cada configuración partido, para un periodo de tiempo determinado. Este análisis es importante para el equipo de investigación porque en la base de datos la tabla de personas se establece como pública para todos los módulos del sistema, teniendo control de todas las relaciones que se conforman con estos registros con cada rol y participación en aplicaciones diferentes.

Mapa 4: Georeferenciación de financieros desde el año 1503 a 1538

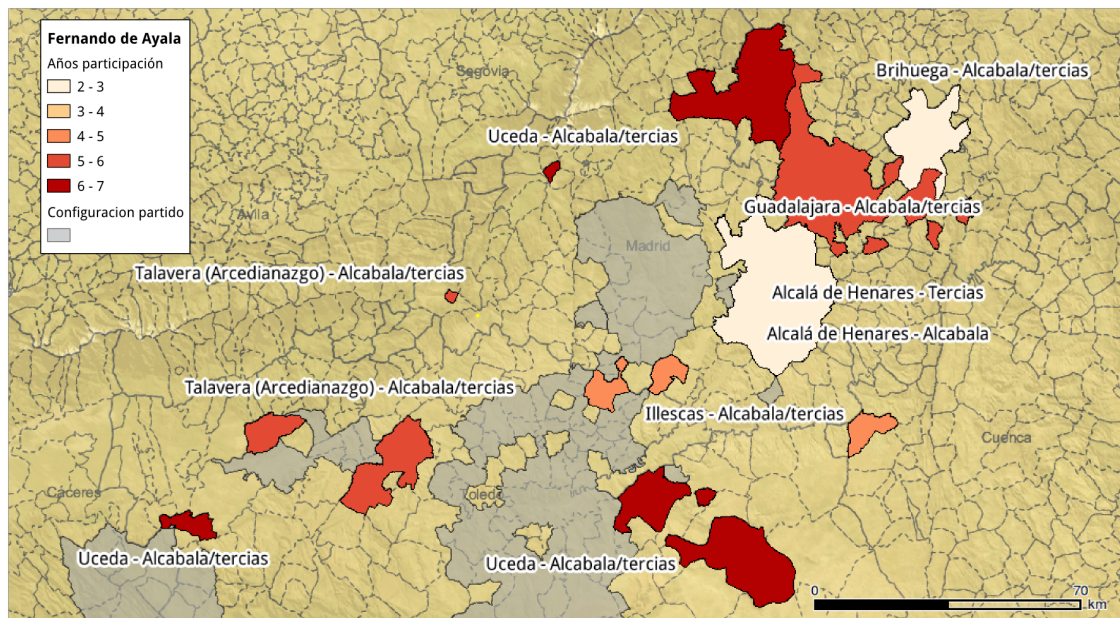


Como se observa en el mapa 4, es posible en la base de datos geográficos, o usando las funcionalidades de los SIG de escritorio, la georeferenciación de los datos de financieros. Esto se logra a partir de la generación de puntos aleatorios que se restrinjan al ámbito geográfico de la configuración de partido en el que participa. El resumen temporal de los financieros, permite establecer un valor de ponderación de acuerdo al número de año en los que participa de las rentas en los partidos fiscales. Por ejemplo, para el caso de las configuraciones de partido de Alcántara-Alcabala y Cáceres-Alcabala/Tercias, se observa un gran influencia que tenía el financiero de Lope de Uruña desde 1503 a 1538, con más de 20 años de participación. Otros financieros en importancia en los partidos fiscales mencionados

anteriormente, se encuentran Fernando Suárez de Lara, cuya influencia alcanza en ambos partidos, o de Pedro del Alcázar con participación de las rentas entre 5 a 10 años.

Para los casos en que se quiera analizar la influencia de un financiero en particular, se propone la generación de la distribución de los partidos fiscales. Por ejemplo, el resultado de este tipo de análisis se muestra en la salida del mapa 5, corresponde a la distribución de los partidos fiscales del financiero Fernando de Ayala. El mapa temático expresa, las ubicación e influencia geográfica del financiero, aquellas zonas con mayor intensidad de color, corresponde a las que tienen un mayor peso de participación, que sobre aquellas de colores claros.

Mapa 5. Distribución de partidos del financiero Fernando de Ayala (1511 a 1521)



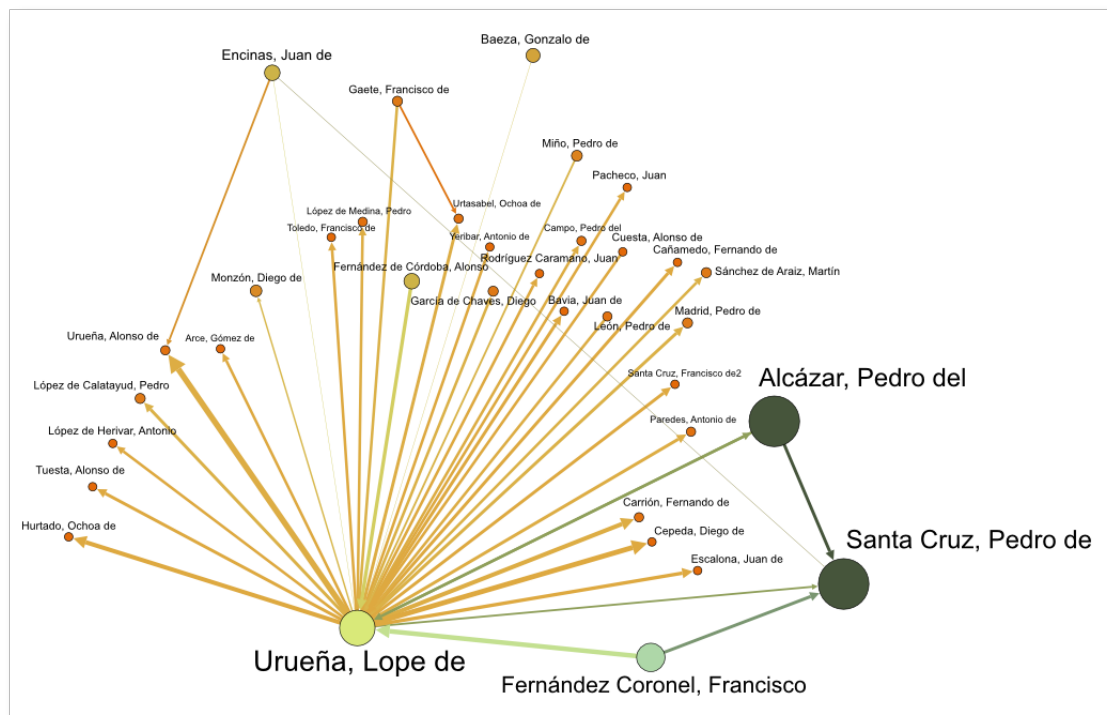
En la base de datos geográficos, también se proyecta el desarrollo de funcionalidades de análisis de redes sociales, que se establece a partir del almacenamiento de las relaciones entre personas definido por un rol en la aplicación o temática específica, estas pueden ser de tipo fiscal, comercial, eclesiástico, o los que se establezcan en el desarrollo de módulos posteriores.

Un ejemplo de la salida de una red social se muestra en la red de vecinos en un nivel para el actor social de Lope de Urueña obtenido con el software Gephi¹⁴ (figura 15). A pesar que dicha información actualmente tenga un objetivo diferente, no esté integrado al sistema, y establezca las relaciones generales como las genealógicas y comerciales en el siglo XVI, permite entregar una idea de los posibles resultados. Básicamente, el análisis de la redes sociales utiliza

14 Para mayor información consulte la página Web del proyecto: <http://gephi.org/>

herramientas matemáticas de grafos y matrices para mostrar información sobre la estructura y patrones de las relaciones entre actores sociales. Un grafo permite representan los actores sociales como nodos y las relaciones entre los mismos como aristas con propiedades de dirección y peso (Hanneman, 2005). Como se observa en el ejemplo, el tamaño de los nodos se establece como el número de entradas que llegan, mientras el tamaño e intensidad del color de las aristas miden el peso entre dos nodos.

Figura 15: Red de vecinos (nivel 1) de Lope de Ureña



También es posible representar geográficamente los grafos de redes sociales, y cuya representación y análisis tiene una relación en la distribución espacial de los actores sociales, que generalmente tienden a establecer mayores vínculos en las áreas de influencia más cercanas del actor social (Heng et-al, 2006). La generación de estas redes sociales se lograrán como la georeferenciación de los nodos de financieros al partido fiscal, y las relaciones como roles en las temáticas específicas con las características de peso y dirección de la relación. Este análisis, permitirá al investigador tener un acercamiento completo en la investigación histórica, apoyando en la información y representación que entregue las redes sociales para destacar el grado de distribución e influencia de un actor fiscal, la conformación de grupos o comunidades y el contexto espacial de las relaciones establecidas.

Capítulo 5 - Conclusiones

5.1. Conclusiones generales del proyecto de trabajo de fin de máster

El desarrollo de la aplicación Web de Sistemas de Información Geográfica para las Finanzas del Reino de Castilla, ofrece a los investigadores en ciencia de la historia una herramienta útil y poderosa para la integración y análisis de los datos geográficos y temporales, donde se apoyan las tareas de investigación para la extracción de información, reconocimiento de patrones o definición de modelos espaciales-temporales.

Las tecnologías informáticas actuales permiten la comunicación e integración de datos de diferentes fuentes de información y temáticas relacionadas usando como plataforma Internet. Como se documenta en el presente trabajo de fin de Máster, se logra la integración de proyectos de investigación relacionados de historia fiscal y comercial, ofreciendo las herramientas necesarias a los investigadores para el acceso y comunicación remota, principalmente el disponer de una base de datos geográficos centralizada, con soporte de versionamiento, funcionalidades para la recuperación, análisis y las interfaces gráficas para el manejo y administración de los datos.

En el proyecto es importante disponer de las interfaces gráficas para el despliegue y consulta de la información geográfica y temporal, porque en primera medida, al ingresar los datos permite contextualizar espacialmente y contrastar las definiciones territoriales de las fuentes directas de información, que puedan dar equívocos en la transcripción o las dinámicas temporales. Por otro lado la consulta y análisis de la información espacio-temporal se realiza usando software especializados en Sistemas de Información Geográfica como ArcGIS de ESRI o herramientas de software libre como Quantum GIS, sin embargo gran parte de las funcionalidades de análisis espaciales y estadísticas pueden desarrollarse e implantarse en el servidor Web, ofreciendo de esta manera una herramienta completa, adaptada a las necesidades y con disposición permanente a los investigadores, lo que se conoce como *computación en la nube*.

El uso y soporte en el sistema de los servicios geográficos Web ofrecidos por la Infraestructura de Datos Espaciales de España (IDEE), permite ganar y extender las funcionalidades que

llevarían tiempo y recursos para implantarlas, por ejemplo la visualización de diferentes capas geográficas, el uso de los servicios de nomenclátor y la posibilidad de realizar consultas y procesamientos espaciales son algunas de las ventajas de estas tecnologías en el desarrollo de la herramienta SIG. En el sistema no sólo se consumen servicios, si no también se ofrecen a los investigadores protocolos para la conexión a la base de datos y recuperación de la información en los clientes o software SIG, principalmente el servicio web de mapas (WMS) y el servicio web de elementos (WFS).

A la fecha, el avance del sistema de información geográfica dispone de la mayor parte de las funcionalidades del módulo de Finanzas Castilla, cuenta con la interfaz Web de administración de los datos, el visor web de mapas para el despliegue y consulta básica de información sobre los históricos, configuración de partidos, financieros y los servicios web geográficos para la recuperación de los datos para su posterior uso y análisis en los software SIG. Estas interfaces actualmente no cuentan con un acceso público, ya que se encuentra en la fase de evaluación y consolidación de la versión estable de la base de datos. Para mayor información del proyecto y obtener los permisos de acceso del sistema, debe comunicarse al correo electrónico del investigador principal de la Universidad Complutense, Doctor David Alonso García (davalonso@ghis.ucm.es).

Las proyecciones de desarrollo del sistema incluyen la integración de los módulos de los sub-proyectos de investigación, como las rentas eclesiásticas, y la programación de funcionalidades analíticas espaciales y estadísticas para la generación de informes, la visualización en el visor Web de mapas y la representación de la dinámica temporal. También se propone integrar los análisis de redes sociales con el soporte de datos geográficos e históricos, extendiendo de esta manera una herramienta completa que sirva a los investigadores de plataforma computacional para el procesamiento y análisis de los datos históricos.

5.2. Conclusiones y recomendaciones tecnológicas

La implantación de herramientas basadas en software libre o de código abierto es de importancia para llevar a cabo el desarrollo del proyecto. La madurez actual de las herramientas de Sistemas de Información Geográfica en este modelo de mercado, permite obtener aplicaciones profesionales de gran calidad que compiten con sus homólogas las herramientas privativas. Como se ha demostrado con el desarrollo del proyecto de Finanzas Castilla, es posible disponer y proveer la mayor parte de funcionalidades para el almacenamiento, procesamiento, representación, publicación y análisis e integración de la

información geográfica y temporal.

El desarrollo de aplicaciones geográficas en la plataforma Web ofrece algunas ventajas frente al software SIG de escritorio, como el disponer de una herramienta multiusuario, permanente (limitada al uso con Internet), prescindiendo de las plataformas de software y hardware específico, delegando la actualización de la aplicación al administrador del sistema y el soporte de funcionalidades de procesamiento y análisis espacial en el servidor. Se encuentran varios ejemplos que destaca el interés en los últimos años para el desarrollar sistemas de procesamiento en la Web, como son el almacenamiento virtual, software Web de ofimática, plataformas Web colaborativas. En el caso de los SIG, se destacan los servicios geográficos (WMS, WFS, WCS) incluyendo los que proveen los servicios de geoprocésamiento en la Web (*Web Processing Service – WPS*).

Para la implantación y programación de estas aplicaciones Web SIG, existe una gran variedad de marcos de desarrollo escritos y con soporte de diferentes lenguajes de programación, sin embargo se ha decidido usar concretamente las tecnologías basadas en el lenguaje Python, ya que además de tener la ventaja de ser un lenguaje de alto nivel orientado a objetos, dispone de gran parte de las funcionalidades geográficas y posibilidad de extenderlas con cientos de módulos. Es importante destacar que la herramienta Web debe soportar algunas de las denominadas aplicaciones de Internet enriquecidas, como HTML5 que agrega la mayoría de características de las aplicaciones tradicionales de escritorio.

Algunas de las limitaciones encontradas en la implantación del sistema tienen que ver con el soporte de estándares de los servicios Web geográficos. ArcGIS 10 tiene limitaciones con la conexión a los Servicios Web de Elementos (WFS), ya que requiere la extensión *Data Interoperability*, también existe limitaciones con la conexión a la base de datos geográficos PostgreSQL, ya que no soporta directamente las geometrías almacenadas en PostGIS, esto se logra a través de la herramienta de ArcSDE. En cuanto a los análisis desarrollados, las herramientas usadas de ArcGIS y Quantum GIS que soporta la generación de mapas dinámicos, tiene limitaciones con el soporte de datos históricas, para el caso de ArcGIS limitado hasta fechas de 1600 y el Quantum GIS hasta el año de 1900.

Agradecimientos

Agradezco al equipo del proyecto de investigación "*Geografía fiscal y poder financiero en Castilla en un siglo de transición (1450-1550): análisis mediante Sistemas de Información Geográfica*", al coordinador e investigador principal David Alonso García del Departamento de Historia Moderna de la Universidad Complutense por el apoyo en el análisis geográfico e histórico y la autorización para uso y presentación de los datos, resultados del sistema.

También agradezco a mi tutor el Doctor Luis Garmendia Salvador, por la orientación para el desarrollo y documentación del presente trabajo de fin de máster.

Bibliografía consultada

ALONSO GARCÍA, David. Los ámbitos de la fiscalidad: fronteras, territorio y percepción de tributos en los imperios Ibéricos (Siglos XV-XVIII). *Crear espacios, cobrar impuestos. Los partidos fiscales de Castilla a principios de la edad moderna*. Madrid: Escuela de Estudios Hispano-Americanos (CSIC) - Instituto de Estudios Fiscales, Universidad Complutense. Capítulo 2, páginas 41-56. ISBN: 978-84-8008-343-0. 2011.

ANDRIENKO, Natalia; ANDRIENKO, Gennady; GATALSKY, Peter. Journal of Visual Languages and Computing. *Exploratory spatio-temporal visualization: an analytical review*. Fraunhofer AIS, Institute for Autonomous Intelligent Systems (Alemania). Volúmen 14, páginas 503 - 541. ISSN: 1045-926X. 2003.

BADII, Mohammed; LANDEROS, J. Daena: International Journal of Good Conscience. *Cuantificación de la fragmentación del paisaje y su relación con Sustentabilidad*. Instituto de Estudios Superiores Spenta México. Volúmen 2, número 1, Octubre 2006 - Marzo 2007, páginas 26 - 38. ISSN: 1870-557X. 2006.

BODENHAMER, David; CORRIGAN, John; HARRIS, Trevor. *The Spatial Humanities. GIS and the future of humanities scholarship*. Bloomington - USA, Editorial Advisory Board, ISBN: 978-0-253-35505-8. Capítulo 4, páginas 58-75. 2010.

COLLECT, Claude; FISLER, Joël; MYINT, Moe. *Discrete Spatial variables*. GITTA - Geographic Information Technology Training Alliance. Enlace Web: <http://www.gitta.info/DiscrSpatVar/en/>. Última visita: febrero 6 de 2012.

GREGORY, Ian; ELL Paul. *Historical GIS. Technologies, methodologies and Scholarship*. Cambridge University Press, ISBN: 978-0-521-85563-1. 2007.

HANNEMAN, Robert. *Introduction to social network methods*. Universidad de California Riverside. Enlace Web: <http://faculty.ucr.edu/~hanneman/>. Última visita: 7 de Marzo de

2012.

HENG, Ling; PATTISON, Phillipa; ROBINS, Garry. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications. A spatial model for social network*. The University of Melbourne (Australia). Volumen 360, número 115 de enero de 2006, páginas 99 - 120. ISSN: 0378-4371. 2006.

HOLOVATY, Adrian; KAPLAN-MSS, Jacob. *La guía definitiva de Django*. Anaya Multimedia-Anaya Interactiva, 2da Edición, ISBN: 978-84-415-2694-5. Capítulo 5, páginas 35 - 37, 111 - 112. 2009.

KELLY, Anne. *Past time, past place. GIS for history*. University of Wales (EEUU). ESRI Press, primera edición, ISBN: 978-1589480322. 2002.

LUJÁN MORA, Sergio. *Programación de aplicaciones web: historia, principios básicos y clientes web*. Club Universitario, ISBN: 84-8454-206-8. Capítulo 3, páginas 39 a 45. 2002.

MCGARIGAL, K y J. B. Marks, FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, Portland, Oregon. E.E.U.U. 1995.

PRESSMAN, Roger. *Ingeniería del Software, un enfoque práctico*. Madrid (España), McGraw Hill, Quinta edición, ISBN: 84-481-3214-9. Capítulo 10-16. 2002.

SOMMERVILLE, Ian. *Ingeniería de software*. Addison-Wesley, Séptima edición, ISBN: 84-7829-074-5. Capítulos 1 y 2. 2005.