



## MEMORIA



**DANIEL CARDELÚS VIDAL**

TRABAJO FINAL DE CARRERA DE  
INGENIERÍA TÉCNICA DE INFORMÁTICA DE GESTIÓN

CONSULTOR: ANNA MUÑOZ BOLLAS

JUNIO DE 2008



A Lourdes, mi esposa, por su infinita paciencia y comprensión

A mis hijos, por darme el tiempo necesario para abordar este trabajo

A Anna, mi tutora, por sus ánimos y constante apoyo



## RESUMEN

En la actualidad, los Sistemas de Información Geográficos (S.I.G.) pueden aplicarse en áreas del conocimiento muy diversas. Su versatilidad y facilidad de manejo la convierten en la herramienta indicada para abordar el estudio de la información atendiendo a su componente geográfica, ampliando así las posibilidades de análisis.

El caso que nos ocupa se fundamenta en la aplicación de los SIG en el estudio arqueológico de los restos romanos del bajo Llobregat. Con este pretexto, se han abordado una gran variedad de aspectos técnicos que nos han puesto en contacto, entre otras, con problemáticas derivadas de cómo posicionar elementos sobre representaciones de la superficie terrestre, de cómo representarlos en 3 dimensiones y de cómo analizar todo el conjunto para obtener láminas de inundación.

La memoria que a continuación se presenta pretende describir, de manera detallada, el proceso de acercamiento hacia estos sistemas partiendo inicialmente desde una visión teórica para acabar ahondando en diversos aspectos prácticos mediante la ejecución de las actividades propuestas por el consultor de la asignatura.

De esta manera, la primera parte de la memoria constituye un compendio de conceptos teóricos de SIG y Cartografía, organizados de manera que el lector pueda disponer de los fundamentos básicos sobre estas materias. La segunda, se ciñe a la exposición de la metodología empleada para resolver las actividades prácticas, así como a la presentación de los resultados y conclusiones derivadas de su ejecución.

Que ustedes la disfruten tanto como un servidor ha disfrutado realizándola.



## INDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1	CONTEXTO DEL PROYECTO .....	1
1.2	OBJETIVOS .....	2
1.3	MÉTODO APLICADO .....	3
1.4	DESCRIPCIÓN DE LA MEMORIA.....	4
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTOS DE SIG.....</b>	<b>5</b>
2.1	ASPECTOS GENERALES. ....	5
2.2	ASPECTOS DETERMINANTES.....	9
2.3	ASPECTOS AMPLIADOS .....	12
<b>3</b>	<b>FUNDAMENTOS DE CARTOGRAFÍA Y GEODESIA .....</b>	<b>17</b>
3.1	CLASIFICACIÓN DE LAS PROYECCIONES CARTOGRÁFICAS .....	18
3.2	LA PROYECCIÓN UTM (O CILÍNDRICA TRANSVERSA CONFORME DE GAUSS).....	19
<b>4</b>	<b>SOFTWARE .....</b>	<b>22</b>
4.1	ARCGIS DESKTOP .....	22
4.2	HEC RAS .....	23
<b>5</b>	<b>METODOLOGÍA APLICADA AL DESARROLLO DE LOS TRABAJOS .....</b>	<b>24</b>
5.1	CONSIDERACIONES GENERALES.....	24
5.2	RECOPIACIÓN Y TRATAMIENTO DE DATOS .....	25
5.3	GENERACIÓN DE CARTOGRAFÍA TEMÁTICA .....	30
5.4	TRABAJO CON LA INFORMACIÓN EN 3D .....	40
5.5	ANÁLISIS CONJUNTO DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO LLOBREGAT Y LA UBICACIÓN DE LOS YACIMIENTOS .....	48
<b>6</b>	<b>CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS.....</b>	<b>59</b>
<b>7</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>61</b>



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura I.	Cuencas principales de Cataluña (Desarrollo propio).....	1
Figura II.	Cuenca del río Llobregat y afluentes principales (Desarrollo propio).....	1
Figura III.	Mapa de curvas de nivel (contornos) .....	13
Figura IV.	MDE derivado de las curvas de nivel de la Figura anterior .....	13
Figura V.	Modelo TIN derivado de las curvas de nivel de la Figura anterior. ....	13
Figura VI.	MDE derivado de las curvas de nivel , en perspectiva .....	13
Figura VII.	Proceso necesario para llegar a la representación plana de una porción de la superficie terrestre	17
Figura VIII.	Proyección UTM. Cilindro tangente a la tierra.....	20
Figura IX.	Zona de estudio (Desarrollo propio).....	24
Figura X.	Hispania romana, Tarraconense ( <i>Los primeros españoles</i> . Blanco Freijeiro, Antonio. Historias del Viejo Mundo, N.1. historia 16. Madrid, 1994. Pag. 91.) .....	26
Figura XI.	Modelos Digitales del Terreno recopilados o generados .....	28
Figura XII.	Capas geográficas de curvas de nivel generadas.....	29
Figura XIII.	Proyecto MXD de ESRI de trabajo.....	30
Figura XIV.	Capas temáticas derivadas de la capa de yacimientos.....	34
Figura XV.	Capa geográfica de yacimientos .....	35
Figura XVI.	Evolución de la línea de costa en el Delta del Llobregat (Extraído de la página Web del ayuntamiento de Castelldefels) .....	36
Figura XVII.	Evolución histórica del yacimiento de "Les Sorres" (IZQUIERDO, PERE y SOLIAS, JOSEP MARIA)	36
Figura XVIII.	Capas geográficas generadas que muestran la evolución de la línea de costa en el Delta del Llobregat	37
Figura XIX.	Trazado del río Llobregat en la época romana .....	39
Figura XX.	Ubicación de las vistas generadas.....	41
Figura XXI.	Vista general en 3D de la zona de estudio (MDT y sombreado de 25 metros, línea de costa en el Siglo I y trazado del río en la época romana) .....	41
Figura XXII.	Vista de detalle en 3D de la zona de estudio en Molins de Rei (Imagen MDT, río en la época romana y yacimientos arqueológicos, indicando época) .....	42
Figura XXIII.	Vista de detalle en 3D de la zona de estudio en Sant Vicenç dels Horts (Ortofotomapas 25000 y yacimientos arqueológicos) .....	42
Figura XXIV.	Interactividad de las vistas en 3D. Ficha de yacimiento dinámica .....	46
Figura XXV.	Localización de los perfiles del terreno generados sobre la zona de estudio .....	47
Figura XXVI.	Perfil del terreno entre los puntos A y A' .....	47
Figura XXVII.	Perfil del terreno entre los puntos B y B' .....	48
Figura XXVIII.	Perfil del terreno entre los puntos C y C' .....	48



Figura XXIX.	Diagrama de proceso de la metodología empleada para la determinación de las láminas de inundación	49
Figura XXX.	Secciones delimitadas con la herramienta HEC-GeoRAS .....	53
Figura XXXI.	Hipótesis de cambio en los usos del suelo desde la época romana hasta la actualidad..	54
Figura XXXII.	Geometría del cauce importada en HEC-RAS .....	55
Figura XXXIII.	Extensión de las láminas de inundación y ubicación de los yacimientos.....	56

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I.	Reglas de validación topológica en ArcGIS de ESRI (extraído de <a href="http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/index.cfm?TopicName=Topology_rules">http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/index.cfm?TopicName=Topology_rules</a> ) .....	15
Tabla II.	Cartografía de base recopilada .....	27
Tabla III.	Modelos Digitales del Terreno recopilados o generados .....	27
Tabla IV.	Símbolos utilizados para la capa temática de Tipología de yacimientos.....	33
Tabla V.	Caudales máximos de avenida usados para la determinación de zonas de inundación. Valores en metros cúbicos por segundo.....	51



Sobre la navegabilidad de este río en la época romana, no existen demasiadas dudas al respecto, sobre todo tras la localización de pequeños embarcaderos a ambas orillas del río, como el localizado en el Puente del Diablo (imagen en esta página).



Permitía una navegabilidad regular entre su desembocadura y su cruce con la Vía Augusta, en las cercanías de la actual ciudad de Martorell

La navegabilidad a partir de este punto parece bastante más complicada, dada la morfología del río y de sus afluentes.

Una de las principales funciones de los ríos navegables en la época romana era, sin duda, su relación con el territorio. De esta manera, los materiales transportados por este medio se debían

poder exportar por tierra mediante una bien diseñada red de comunicaciones terrestres. Es por este motivo que el punto final de navegación de un río debía de coincidir con el cruce de una vía o bien con un nudo viario como eran las ciudades.

El SIG, con sus múltiples aplicaciones a lo largo de las últimas décadas, se ha convertido en una herramienta en crecimiento utilizada en diferentes disciplinas y, como no podía ser menos, la arqueología se añadía a finales de los años 70 a los Estados Unidos y, al final de la década de los 80, en Europa. En este sentido, fue decisivo el interés de las administraciones en una herramienta eficaz para la gestión del patrimonio arqueológico. Aun así, la acreditación del SIG como herramienta de búsqueda, llegó de la mano de sus aplicaciones: los modelos predictivos, altamente valorados para el desarrollo de estudios territoriales. Actualmente, los SIG se emplean en proyectos arqueológicos con diferentes matices, desarrollados en cualquier parte del mundo.

El SIG aporta probadas ventajas para la gestión arqueológica. Por un lado, permite agilizar las operaciones de almacenamiento y mantenimiento de los datos (a través de la supresión a la base alfanumérica de los campos relacionados con el entorno físico, que es gráficamente representado en capas temáticas), pero, sobre todo, facilita la consulta selectiva y posibilita la impresión bajo la base cartográfica de manera automatizada.

## 1.2 OBJETIVOS

El objetivo principal del proyecto que se presenta es construir un sistema de información geográfica (SIG) que permita el análisis de la relación del cauce del río Llobregat con la ubicación de los yacimientos arqueológicos y las vías de transporte del bajo Llobregat en la época romana. Se persigue con este objetivo, fomentar el pensamiento geográfico, lo que puede traducirse en la adquisición de hábitos como la pregunta de cuestiones geográficas, la adquisición de recursos para obtener fuentes de datos geográficos, la exploración y el análisis de la información de qué se dispone y sobre todo el disfrutar con lo que se hace para el descubrimiento de nuevas perspectivas.

De manera específica, el objetivo del presente documento es realizar una descripción detallada de los trabajos ejecutados y las conclusiones alcanzadas para dar un cumplimiento exhaustivo de los objetivos de proyecto, tanto generales como específicos, que se plantean en el enunciado del Trabajo Final de Carrera.

Estos objetivos son:

❖ **Generales**

- ⇒ Comprender los conceptos de la tecnología SIG y su metodología
- ⇒ Conocer la estructura de los diferentes tipos de datos con que trabaja un SIG y el concepto de topología.
- ⇒ Encontrar, generar y manipular datos geográficos.
- ⇒ Saber plantear un proyecto SIG.
- ⇒ Demostrar conocimiento práctico de las operaciones de análisis espacial y transformaciones en el SIG analizado.
- ⇒ Demostrar conocimiento práctico de operaciones de análisis ráster.
- ⇒ Entender y saber usar las operaciones de visualización y análisis de MDTs.

❖ **Específicos**

- ⇒ Digitalizar el trazado del río Llobregat (Rubricatvm) según las fuentes históricas, y realizar vistas en 3D sobre el MDT de la zona aportando el máximo de información histórica complementaria.
- ⇒ Simular los efectos de una riada. Estudiar el impacto sobre los diferentes tipos de yacimientos y su ubicación

## 1.3 MÉTODO APLICADO

El método aplicado para desarrollar el proyecto se ha basado en los siguientes aspectos fundamentales:

- ❖ Estudio de los fundamentos teóricos de los Sistemas de Información Geográficos y otras materias relacionadas.
  - ⇒ De esta manera, durante la realización del presente Trabajo Final de Carrera, ha sido necesario recopilar, asimilar y aplicar los conceptos básicos de los SIG. Estos conceptos han sido recogidos de diferentes fuentes en las que han predominado la búsqueda de fuentes en la Web (monografías, documentos técnicos, memorias de otros trabajos...) y la consulta directa a personas del entorno laboral con experiencia práctica en campos como la hidrología y los SIG.
  - ⇒ Cabe destacar en este punto la intensa labor de asimilación de los procesos y metodologías necesarias para la generación de láminas de avenida que por si solas constituyen un área técnica rica y compleja.
- ❖ Estudio de programas técnicos de SIG y modelos hidrológicos
  - ⇒ Otro punto fundamental del proceso constructivo del presente trabajo ha sido la relación con el software técnico necesario para desarrollar las actividades. Así, se ha destinado tiempo a conocer las capacidades precisas de las herramientas de SIG (ArcGIS Desktop de ESRI) y los modelos hidrológicos (HEC RAS desarrollado por el cuerpo de ingenieros de la Armada de los Estados Unidos), necesarias para resolver las problemáticas propuestas. El estudio de estos componentes se ha basado en el seguimiento de tutoriales y la resolución de ejercicios propuestos.
- ❖ Construcción de un proyecto SIG
  - ⇒ Como punto culminante del proyecto, se ha elaborado un proyecto de SIG donde se han aplicado extensivamente los conceptos asimilados.

## 1.4 DESCRIPCIÓN DE LA MEMORIA

La memoria se ha compuesto de tres partes bien diferenciadas, introducción, exposición de fundamentos teóricos y descripción de la resolución práctica.

En la primera se introduce al lector en el tema que nos ocupa, aportando la información necesaria para poner en contexto la presente memoria. Así, se indican por un lado los antecedentes que nos han llevado a la realización del presente trabajo, los objetivos marcados para su resolución, el método aplicado y una breve descripción del contenido del presente documento.

Con la inclusión de una parte destinada a la exposición de fundamentos teóricos se pretende por un lado acercar al lector a las materias objeto del presente Trabajo Final de Carrera y por otro, aportar al lector las referencias necesarias para poder comprender correctamente la descripción práctica de los trabajos y las conclusiones obtenidas.

Se han abordado materias más generalistas, como pueden ser los conceptos de Sistemas de Información Geográficos y la Cartografía, a la vez que se han concretado aspectos que se han presumido imprescindibles para una adecuada comprensión de la memoria, a tenor del peso específico de éstos en el conjunto de los trabajos realizados. De esta manera, se aporta información relativa a los Modelos Digitales del Terreno, la topología y el concepto de metadato. Igualmente, en este apartado se ha querido destinar un espacio a la descripción somera del software utilizado.

Por último, se ha destinado la parte final de la memoria a explicar de manera detallada la metodología usada para la realización del Trabajo Final de Carrera. Así, se abordan de manera ordenada y didáctica todas las actividades y conceptos englobados en su resolución, con especial atención a la explicación de las conclusiones obtenidas.

# 2

## FUNDAMENTOS DE SIG

---

En este capítulo se abordan con detalle los aspectos fundamentales que definen un Sistema de Información Geográfica.

En primer lugar se presentan los aspectos generales de esta tecnología con un énfasis especial en su historia y evolución. Posteriormente se abordan los aspectos definitorios de esta tecnología, como su definición, sus componentes, su funcionamiento y otros temas básicos para comprender el papel de estos sistemas en la actualidad. Por último, se amplían aspectos que se han considerado de crucial importancia para una mejor comprensión de la presente memoria.

### 2.1 ASPECTOS GENERALES.

Un Sistema de Información geográfico (SIG) particulariza un conjunto de procedimientos sobre una base de datos no gráfica o descriptiva de objetos del mundo real que tienen una representación gráfica y que son susceptibles de algún tipo de medición respecto a su tamaño y dimensión relativa a la superficie de la tierra. A parte de la especificación no gráfica el SIG cuenta también con una base de datos gráfica con información georeferenciada o de tipo espacial y de alguna forma ligada a la base de datos descriptiva. La información es considerada geográfica si es medible y tiene localización.

En un SIG se usan herramientas de gran capacidad de procesamiento gráfico y alfanumérico, estas herramientas van dotadas de procedimientos y aplicaciones para captura, almacenamiento, análisis y visualización de la información georeferenciada.

La mayor utilidad de un sistema de información geográfico está íntimamente relacionada con la capacidad que posee éste de construir modelos o representaciones del mundo real a partir de las bases de datos digitales, esto se logra aplicando una serie de procedimientos específicos que generan aún más información para el análisis.

La construcción de modelos o modelos de simulación como se llaman, se convierte en una valiosa herramienta para analizar fenómenos que tengan relación con tendencias y así poder lograr establecer los diferentes factores influyentes.

#### 2.1.1 HISTORIA

La distribución espacial es inherente tanto a los fenómenos propios de la corteza terrestre, como a los fenómenos artificiales y naturales que sobre ella ocurren. Todas las sociedades que han gozado de un grado de civilización han organizado de alguna manera la información espacial.

Los fenicios fueron navegantes, exploradores y estrategas militares que recopilaban información en un formato pictórico, y desarrollaron una cartografía "primitiva" que permitió la expansión y mezcla de razas y culturas.

Los griegos adquirieron un desarrollo político, cultural y matemático, refinaron las técnicas de abstracción con sus descubrimientos geométricos y aportaron elementos para completar la cartografía utilizando medición de distancias con un modelo matemático ( $a^2 + b^2 = c^2$ . Pitágoras, ecuación del círculo). Enmarcados dentro de un hábitat insular, se convirtieron en navegantes e hicieron observaciones astronómicas para medir distancias sobre la superficie de la tierra. La información de éste tipo se guardó en mapas.

Los romanos imitaron a los griegos y desarrollaron el Imperio utilizando frecuentemente el banco de datos previamente adquirido y ahora heredado. La logística de infraestructura permitió un alto grado de organización política y económica, soportada principalmente por el manejo centralizado de recursos de información.

Se puede decir que las invasiones bárbaras disminuyeron el ritmo de desarrollo de civilización en el continente europeo durante la edad media, y sólo hacia el siglo XVIII los estados reconocieron la importancia de organizar y sistematizar de alguna manera la información espacial. Se crearon organismos comisionados exclusivamente para ejecutar la recopilación de información y producir mapas topográficos al nivel de países enteros, organismos que han subsistido hasta el día de hoy.

En el siglo XIX con su avance tecnológico basado en el conocimiento científico de la tierra, se produjo grandes volúmenes de información geomorfológica que se debía cartografiar. La orientación espacial de la información se conservó con la superposición de mapas temáticos especializados sobre un mapa topográfico base.

Recientemente la fotografía aérea y particularmente las imágenes de satélite han permitido la observación periódica de los fenómenos sobre la superficie de la corteza terrestre. La información producida por este tipo de sensores ha exigido el desarrollo de herramientas para lograr una representación cartográfica de este tipo de información.

El medio en el cual se desarrollaron estas herramientas tecnológicas correspondió a las ciencias de teledetección, análisis de imágenes, reconocimiento de patrones y procesamiento digital de información, en general estudiadas por físicos, matemáticos y científicos expertos en procesamiento espacial. Obviamente, éstos tenían un concepto diferente al de los cartógrafos, con respecto a la representación visual de la información.

Con el transcurso del tiempo se ha logrado desarrollar un trabajo multidisciplinario y es por ésta razón que ha sido posible pensar en utilizar la herramienta conocida como "Sistemas de Información Geográfica, SIG (GIS)"

### **2.1.2 DESARROLLO DE LOS SIG**

En el año 1962, en Canadá, se diseñó el primer sistema "formal" de información geográfica para el mundo de recursos naturales a escala mundial. En el Reino Unido se empezó a trabajar en la unidad de cartografía experimental. No fue hasta la época de los 80's cuando surgió la comercialización de los SIG.

Durante los años 60's y 70's se empezó a aplicar la tecnología del computador digital al desarrollo de tecnología automatizada. Excluyendo cambios estructurales en el manejo de la información, la mayoría de

programas estuvieron dirigidos hacia la automatización del trabajo cartográfico; algunos pocos exploraron nuevos métodos para el manejo de información espacial, y se siguieron básicamente dos tendencias:

- ❖ Producción automática de dibujos con un alto nivel de calidad pictórica
- ❖ Producción de información basada en el análisis espacial pero con el costo de una baja calidad gráfica.

La producción automática de dibujo se basó en la tecnología de diseño asistido por computador (CAD). El CAD se utilizó en la cartografía para aumentar la productividad en la generación y actualización de mapas. El modelo de base de datos de CAD maneja la información espacial como dibujos electrónicos compuestos por entidades gráficas organizadas en planos de visualización o capas. Cada capa contiene la información de los puntos en la pantalla (o píxeles) que debe encender para la representación por pantalla. Estos conjuntos de puntos organizados por planos de visualización se guardan en un formato vectorial.

Las bases de datos incluyen funciones gráficas primitivas que se emplean para construir nuevos conjuntos de puntos o líneas en nuevas capas y definir un símbolo imaginado por el usuario. Por ejemplo una capa que contenga una línea vertical se puede sumar lógicamente a una capa que contenga un área circular para generar el símbolo de un palo de golf o una nota musical, definido en una nueva capa que se puede llamar "hierro 4" o "negrilla". Posteriormente, a la simbología se le adicionó una variable "inteligente" al incorporar el texto.

El desarrollo de la tecnología CAD se aplicó para la manipulación de mapas y dibujos y para la optimización del manejo gerencial de información cartográfica. De allí se desarrolló la tecnología AM/FM (*Automated Mapping / Facilities Management*)

El desarrollo paralelo de las disciplinas que incluyen la captura, el análisis y la presentación de datos en un contexto de áreas afines como catastro, cartografía, topografía, ingeniería civil, geografía, planeación urbana y rural, servicios públicos, entre otros, ha implicado duplicidad de esfuerzos. Hoy en día se ha logrado reunir el trabajo en el área de sistemas de información geográfica multipropósito, en la medida en que se superan los problemas técnicos y conceptuales inherentes al proceso.

En los años ochenta se vio la expansión del uso de los SIG., facilitado por la comercialización simultánea de un gran número de herramientas de dibujo y diseño asistido por ordenador (con siglas en inglés CAD y CADD), así como la generalización del uso de microordenadores y estaciones de trabajo en la industria y la aparición y consolidación de las Bases de Datos relacionales, junto a las primeras modelizaciones de las relaciones espaciales o topología. En este sentido la aparición de productos como ARC-INFO en el ámbito del SIG o IGDS en el ámbito del CAD fue determinante para lanzar un nuevo mercado con una rapidísima expansión. La aparición de la Orientación a Objetos (OO) en los SIG (como el Tigris de Intergraph), inicialmente aplicado en el ámbito militar (*Defense Map Agency - DMA*) (OO) permite nuevas concepciones de los SIG donde se integra todo lo referido a cada entidad (p.e. una parcela) (simbología, geometría, topología, atribución).

Pronto los SIG comienzan a utilizarse en cualquier disciplina que necesite la combinación de planos cartográficos y bases de datos como:

- ❖ Ingeniería Civil (diseño de carreteras, presas y embalses...)

- ❖ Estudios medioambientales
- ❖ Estudios socioeconómicos y demográficos
- ❖ Planificación de líneas de comunicación
- ❖ Ordenación del territorio
- ❖ Estudios geológicos y geofísicos
- ❖ Prospección y explotación de minas
- ❖ ...

Los años noventa se caracterizan por la madurez en el uso de estas tecnologías en los ámbitos tradicionales mencionados y por su expansión a nuevos campos (SIG en los negocios), propiciada por la generalización en el uso de los ordenadores de gran potencia y sin embargo muy asequibles, la enorme expansión de las comunicaciones y en especial de Internet y el World Wide Web, la aparición de los sistemas distribuidos (DCOM, CORBA) y la fuerte tendencia a la unificación de formatos de intercambio de datos geográficos propician la aparición de una oferta proveedora (Open Gis) que suministra datos a un enorme mercado de usuario final.

Ya hace unos años, pero últimamente de manera muy intensa, que se han puesto en marcha en varios países europeos, iniciativas gubernamentales a escala local, regional o estatal bajo el título común de Infraestructuras de Datos Espaciales (IDEs). Un ejemplo es el proyecto INSPIRE impulsado por la Dirección General del Medio Ambiente de la Comisión Europea, que quiere conseguir este tipo de Infraestructuras en el ámbito del Medio Ambiente, estableciendo pasarelas entre los servidores Web que contienen la información en los diferentes países de la Unión. La importancia de una IDE para una mejor gobernabilidad, desarrollo económico y social ha llevado a muchos países a iniciar el proceso de desarrollo de estas infraestructuras.

El incremento de la popularidad de las tendencias de programación distribuida y la expansión y beneficios de la máquina virtual de Java, permiten la creación de nuevas formas de programación de sistemas distribuidos, de esta manera aparecen los agentes móviles que tratan de solucionar el tráfico excesivo que hoy en día se encuentra en Internet. Los agentes móviles utilizan la invocación de métodos remotos y la serialización de objetos de Java para lograr transportar la computación y los datos. Nace aquí un nuevo paradigma para el acceso a consultas y recopilación de datos en los sistemas de información geográfica.

El Mapa del Futuro es una Imagen Inteligente. A partir de 1998 se empezaron a colocar en distintas órbitas una serie de familias de satélites que traerán a los computadores personales, antes del año 2003, fotografías digitales de la superficie de la tierra con resoluciones que oscilarán entre 10 metros y 50 centímetros. Empresas como SPOT, OrbImage, EarthWatch, Space Imaging y SPIN-2 han iniciado la creación de uno de los mecanismos que será responsable de la habilitación espacial de la tecnología informática. Curiosamente éste "Boom" de los satélites de comunicaciones, está empujando la capacidad de ancho de banda para enviar y recibir datos, hasta el punto de que en este momento, la capacidad solo concebida para fibra óptica de T1 y T3, se está alcanzando de manera inalámbrica.

Las imágenes pancromáticas, multispectrales, hiperespectrales, radar, infrarrojas, térmicas, crearán un mundo virtual digital a nuestro alcance. Este nuevo mundo cambiará radicalmente la percepción que tenemos sobre nuestro planeta.

## 2.2 ASPECTOS DETERMINANTES

### 2.2.1 DEFINICIÓN DE SIG

Es un sistema de hardware, software y procedimientos diseñados para soportar la captura, administración, manipulación, análisis, modelado y graficación de datos u objetos referenciados espacialmente, para resolver problemas complejos de planeación y administración. Una definición más sencilla es: Un sistema de computador capaz de mantener y usar datos con localizaciones exactas en una superficie terrestre.

Un sistema de información geográfica, es una herramienta de análisis de información. La información debe tener una referencia espacial y debe conservar una inteligencia propia sobre la topología y representación.

### 2.2.2 COMPONENTES DE LOS SIG Y SUS FUNCIONES

Los componentes que configuran un SIG son:

- ❖ Equipos (Hardware)
  - ⇒ Es donde opera el SIG. Hoy por hoy, programas de SIG se pueden ejecutar en un amplio rango de equipos, desde servidores hasta computadores personales usados en red o trabajando en modo "desconectado".
  - ⇒ Su función principal es la de permitir la entrada y salida de la información geográfica en diversos medios y formas
- ❖ Programas (Software)
  - ⇒ Los programas de SIG proveen las funciones y las herramientas necesarias para almacenar, analizar y desplegar la información geográfica. Los principales componentes de los programas son:
    - Herramientas para la entrada y manipulación de la información geográfica.
    - Un sistema de manejador de base de datos (DBMS)
    - Herramientas que permitan búsquedas geográficas, análisis y visualización.
    - Interfase gráfica para el usuario (GUI) para acceder fácilmente a las herramientas.
  - ⇒ Sus función principal es la de proveer de una base funcional que sea adaptable y expandible de acuerdo con los requerimientos de los usuarios
- ❖ Datos
  - ⇒ Probablemente la parte más importante de un sistema de información geográfico son sus datos. Los datos geográficos y tabulares pueden ser adquiridos por quien implementa el sistema de información, así como por terceros que ya los tienen disponibles. El sistema de información geográfico integra los datos espaciales con otros recursos de datos y puede incluso utilizar los manejadores de base de datos más comunes para manejar la información geográfica.
  - ⇒ Su función principal es la de contener la información que garantice el funcionamiento analítico del SIG
- ❖ Recursos humanos
  - ⇒ La tecnología de los SIG está limitada si no se cuenta con el personal que opera, desarrolla y administra el sistema; Y que establece planes para aplicarlo en problemas del mundo real.
  - ⇒ Sus funciones principales son:
    - Resolver los problemas de la entrada de datos
    - Conceptualizar las bases de datos integradas y modelizaciones necesarias a partir de la aplicación de criterios diversos, para permitir el análisis de la información resultante.

- ❖ Procedimientos
  - ⇒ Un SIG operará acorde con un plan bien diseñado y con unas reglas claras del negocio, que son los modelos y las prácticas operativas características de cada organización.

### 2.2.3 CUESTIONES A LAS QUE RESPONDE UN SIG

- ❖ Localización ¿Qué hay en.....?
- ❖ Condición ¿Dónde sucede que.....?
- ❖ Tendencias ¿Qué ha cambiado.....?
- ❖ Rutas ¿Cuál es el camino optimo.....?
- ❖ Pautas ¿Qué pautas existen.....?
- ❖ Modelos ¿Qué ocurriría si.....?

Estas cuestiones son de interés primordial en actividades relacionadas con la planificación. Los SIG ayudan en el estudio de la distribución y monitoreo de recursos, tanto naturales como humanos, así como en la evaluación del impacto de las actividades humanas sobre el medio ambiente natural. De esta forma se contribuye en la planificación de actividades destinadas a la preservación de los recursos naturales. Toda la generación de nueva información que puede proveer un SIG depende significativamente de la información que poseen las bases de datos disponibles. La calidad de esta base de datos y sus contenidos determinan la cantidad y calidad de los resultados obtenidos del SIG.

### 2.2.4 CONSTRUCCIÓN DE UN SIG

La construcción e implementación de un SIG en cualquier organización es una tarea siempre progresiva, compleja, laboriosa y continúa. Los análisis y estudios anteriores a la implantación de un SIG son similares a los que se deben realizar para establecer cualquier otro sistema de información. Pero en los SIG, además, hay que considerar las especiales características de los datos que utiliza y sus correspondientes procesos de actualización.

Es indiscutible que los datos son el principal activo de cualquier sistema de información. Por ello el éxito y la eficacia de un SIG se miden por el tipo, la calidad y vigencia de los datos con los que opera. Los esfuerzos, la investigación y la inversión necesaria para crear las bases de datos y tener un SIG eficiente y funcional no son pequeños, ni tampoco es una gran inversión. Es un esfuerzo permanente por ampliar y mejorar los datos almacenados, utilizando las herramientas más eficientes para nuestro propósito.

### 2.2.5 FUNCIONAMIENTO Y CAPACIDADES DE LOS SIG

La información espacial contiene una referencia geográfica explícita como latitud y longitud o una referencia implícita como domicilio o código postal. Las referencias implícitas pueden ser derivadas de referencias explícitas mediante geocodificación. Los SIG funcionan con dos tipos diferentes de información geográfica: el modelo vector y el modelo ráster.

El modelo ráster ha evolucionado para modelar tales características continuas. Una imagen ráster comprende una colección de celdas (píxel) de una malla más como un mapa o una figura escaneada. Ambos modelos para almacenar datos geográficos tienen ventajas y desventajas únicas y los SIG modernos pueden manejar varios tipos. En el modelo vector, la información sobre puntos, líneas y polígonos se almacena como una colección de coordenadas x, y. La ubicación de una característica puntual, pueden describirse con un sólo punto x, y. Las características lineales, pueden almacenarse como

un conjunto de puntos de coordenadas x, y. Las características poligonales, pueden almacenarse como un circuito cerrado de coordenadas. El modelo vector es extremadamente útil para describir características discretas, pero menos útil para describir características de variación continua.

Actualmente, debido a la disminución en el costo de los Sistemas Informáticos debido a su proliferación, están materializándose importantes beneficios económicos en las empresas y entidades que implementan esta tecnología SIG.

Entre estos beneficios se destacan:

- ❖ Realizar un gran número de manipulaciones, sobresaliendo las superposiciones de mapas en corto tiempo, transformaciones de escala, la representación gráfica y la gestión de bases de datos, así como su administración y mantenimiento.
- ❖ Consultar rápidamente las bases de datos, tanto espacial como alfanumérica, almacenadas en el sistema, con información exacta, actualizada y centralizada.
- ❖ Realizar pruebas analíticas complejas rápidas y repetir modelos conceptuales en despliegue espacial, sin la necesidad de repetir actividades redundantes o tediosas.
- ❖ Minimización de costos de operación e incremento de la productividad.
- ❖ Ayuda en la toma de decisiones con el fin de focalizar esfuerzos y realizar inversiones más efectivas.
- ❖ Comparar eficazmente los datos espaciales a través del tiempo (análisis temporal).
- ❖ Efectuar algunos análisis, de forma rápida que hechos manualmente resultarían largos y molestos.
- ❖ Integrar en el futuro, otro tipo de información complementaria que se considere relevante y que este relacionada con la base de datos nativa u original.

## 2.2.6 ANÁLISIS EN LOS SIG

Las funciones de análisis tratan conjuntamente los datos cartográficos y sus atributos temáticos. Se identifican cuatro grupos de funciones según ARONOFF, 1989; COMAS Y RUIZ, 1993.

- |   |  |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"><li>❖ Recuperación<ul style="list-style-type: none"><li>⇒ Recuperación filtrada</li><li>⇒ Consulta e interrogación de la base de datos</li><li>⇒ Reclasificación</li><li>⇒ Mediciones</li><li>⇒ Estadística espacial</li></ul></li><li>❖ Vecindad<ul style="list-style-type: none"><li>⇒ Contenido en.....</li><li>⇒ Filtrado</li><li>⇒ Poligonación o polígonos Thiessen</li><li>⇒ Generación de isólinas</li><li>⇒ Interpolación</li><li>⇒ Modelos Digitales de Terreno</li></ul></li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>❖ Superposición<ul style="list-style-type: none"><li>⇒ Superposición geométrica</li><li>⇒ Superposición lógica de atributos</li><li>⇒ Superposición aritmética de atributos</li></ul></li><li>❖ Conectividad<ul style="list-style-type: none"><li>⇒ Contigüidad</li><li>⇒ Proximidad</li><li>⇒ Difusión espacial</li><li>⇒ Análisis de redes<ul style="list-style-type: none"><li>▫ Ruta óptima</li><li>▫ Análisis de accesibilidad</li><li>▫ Modelo de accesibilidad</li><li>▫ Geocodificación (direcciones postales)</li></ul></li><li>⇒ Visibilidad</li></ul></li></ul> |
|---|--|

## 2.2.7 TECNOLOGÍAS RELACIONADAS

Los Sistemas de Información Geográfica comparten características con otros sistemas de información pero su habilidad de manipular y analizar datos geográficos los separa del resto.

Por un lado se encuentra el mundo CAD. Se utilizan especialmente para crear diseños y planos de construcciones y obras de infraestructura, estos sistemas no requieren de componentes relacionales ni herramientas de análisis, Las herramientas CAD actualmente se han ampliado como soporte para mapas, pero tienen utilidad limitada para analizar y soportar bases de datos geográficos grandes.

Otra tecnología con la que el SIG se encuentra íntimamente ligada, es la de los Sistemas gestores de bases de datos (SGBD). Los SGBD se especializan en el almacenamiento y manejo de todo tipo de información, incluyendo datos geográficos. Los SGBD están perfeccionados para almacenar y retirar datos, y muchos SIG se apoyan en ellos para este propósito. No tienen las herramientas comunes de análisis y de visualización de los SIG.

En esencia, el SIG es un sistema de gestión de base de datos, específicamente diseñado para el tratamiento simultáneo de datos espaciales e información descriptiva relacionada. Un SGBD proporciona un lenguaje para análisis de datos que permite al usuario describir los mecanismos o métodos utilizados por aquel. También debe contar con procedimientos adecuados para comprobar la coherencia de los datos y mantener su integridad.

Además de SGBD, el SIG presenta muchas posibilidades, similares a las de la automatización de la cartografía, debe permitir el tratamiento de datos descriptivos no gráficos, como la información estadística, conjuntamente con los datos espaciales a los que están relacionados. Para que un sistema pueda considerarse un verdadero SIG, debe tener la capacidad de relacionar esos dos tipos de datos.

## 2.3 ASPECTOS AMPLIADOS

### 2.3.1 LOS MODELOS DIGITALES DEL TERRENO

La superficie terrestre es un fenómeno continuo. Hay varias formas de representar dicha superficie en formato digital empleando una cantidad finita de espacio de almacenamiento.

Los modelos digitales de elevaciones se utilizan como método de representación de superficies. Un DEM es un modelo cuantitativo digital de la superficie topográfica. Con frecuencia, el término Modelo Digital de Elevaciones o MDE se utiliza para referirse a cualquier representación digital de la topografía del terreno, sin embargo, la mayoría de las veces se utiliza para referirse de forma específica a una malla regular o ráster de puntos de altitud.

El término Modelo Digital del Terreno (MDT) se utiliza también para referirse a cualquier representación digital de la superficie topográfica. El MDE es la forma más simple de representación digital de la topografía, y la más común.

La resolución, o distancia entre dos puntos adyacentes de la matriz, es un parámetro crítico de cualquier MDE. Por lo general, la mejores resoluciones disponibles se encuentran en torno a los 30 m, aunque éste está cambiando rápidamente con los avances de la tecnología. Los conjuntos de datos deberían

visualizarse como superficies continuas. Los operadores de los que trataremos aquí están diseñados para trabajar sobre cualquier superficie de tipo continua p.e.: mapa de elevaciones, gradientes de temperatura o superficies de coste.

### 2.3.1.1 DATOS DE ELEVACIONES

Los datos de elevación se utilizan para generar MDEs. Las figuras en la parte inferior representan información de la topografía. La primera muestra los contornos como una serie de líneas que conectan puntos de igual altitud, a las que se denominará "curvas de nivel".

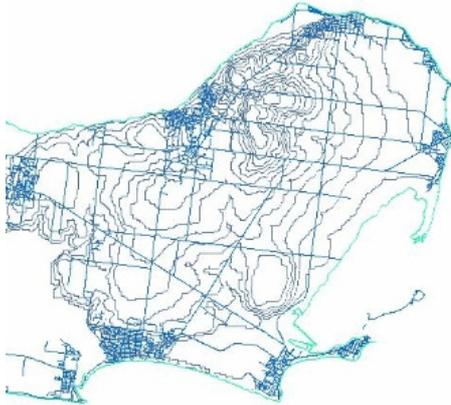


Figura III. Mapa de curvas de nivel (contornos)

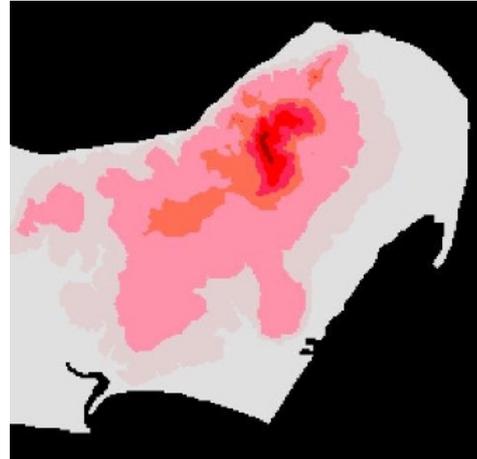


Figura IV. MDE derivado de las curvas de nivel de la Figura anterior

Los modelos del terreno se guardan por lo general bien en formato *TIN* o bien en formato de celdas raster. Un modelo *TIN* (*Triangulated Irregular Network* o Red de Triángulos Irregulares en castellano) es una red de triángulos. Dichos triángulos varían en tamaño en función de la rugosidad del terreno. Los triángulos grandes son válidos en el caso de terrenos planos o de pendientes muy suaves. Los triángulos pequeños pueden modelar terrenos muy accidentados. Esto hace que el modelo *TIN* sea muy preciso y eficiente. Las pendientes y las orientaciones se pueden calcular directamente a partir de este tipo de modelos.

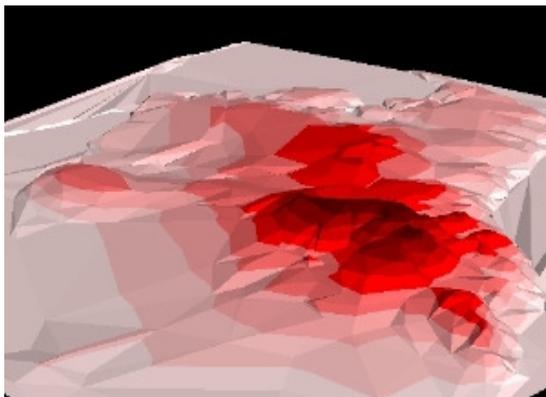


Figura V. Modelo TIN derivado de las curvas de nivel de la Figura anterior.

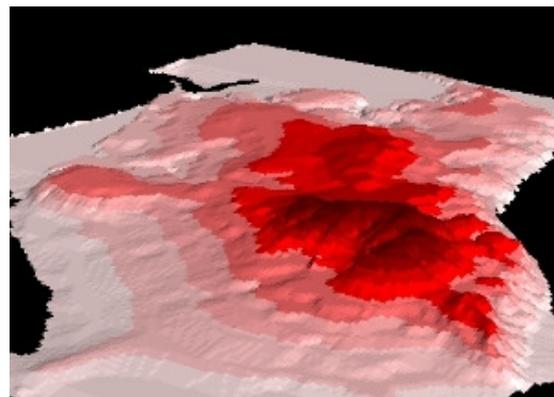


Figura VI. MDE derivado de las curvas de nivel, en perspectiva

Los modelos del terreno basados en celdas son como otros modelos de datos de tipo ráster. Los valores de altitud se almacenan en una malla o grid regular. Esta estructura permite algoritmos sencillos para modelar pendientes, orientaciones, análisis de intervisibilidad, etc.

### **2.3.1.2 UTILIDADES DE LOS MDES**

Los MDEs se pueden utilizar para:

- ❖ determinar atributos del terreno, como es el caso de la altitud en cualquier punto, la pendiente o la orientación
- ❖ encontrar elementos del terreno tales como cuencas de drenaje, divisorias de agua, redes de drenaje y canales, cumbres y depresiones, y otros accidentes del terreno
- ❖ modelar funciones hidrológicas, flujos de energía o fuegos forestales

### **2.3.2 TOPOLOGÍA**

Según Wikipedia (la enciclopedia libre), la Topología es una disciplina Matemática que estudia las propiedades de los espacios topológicos y las funciones continuas. La Topología se interesa por conceptos como proximidad, número de agujeros, el tipo de consistencia (o textura) que presenta un objeto, comparar objetos y clasificar, entre otros múltiples atributos donde destacan conectividad, compacidad, metricidad, etc...

La topología es un concepto muy amplio que proviene de la disciplina matemática. En cuanto a los Sistemas de Información Geográfica, el concepto hace referencia esencialmente a la relación espacial existente entre los diferentes objetos o componentes geográficos analizados. De esta manera, la topología en SIG nos permite identificar y caracterizar de manera precisa, la forma en como los objetos comparten geometría, sean éstos puntos, polígonos, ejes o una agrupación de ellos.

La topología define las relaciones espaciales de un objeto de manera cualitativa, es decir, desdeñando en su idea toda relación de medida. Evidentemente lo anterior nos facilita una amalgama de ventajas a la hora de concebir el análisis de situación de objetos topográficos al incorporar un esquema lógico que mediante la algoritmia conveniente puede asemejar y acercarse a innumerables procesos humanos que precisan de esa visión de la realidad, y que hasta el nacimiento de los SIG como tecnología debían ser manuales o en el mejor de los casos asistidas.

En el caso de GIS ráster la implantación de topología se realiza implícitamente al disponer del valor de clase de la celda. Ello unido a una eficiente y rápida interrelacionabilidad de los datos, debido a su propia estructura, hacen que el proceso topológico sea fugaz, no siendo necesarias las complejas operaciones propias de las estructuras de datos vectoriales. Hoy en día la mayoría de SIG del mercado con fuerte éxito comercial se basan éstas estructuras de datos, aún cuando ambos tipos tienden a converger, ya que dependiendo del tipo de operación necesaria unos se muestran más eficientes que otros.

En el caso del software usado, ArcGIS, la topología se manifiesta a través de una serie de reglas de validación que permiten modelar - bajo diversos escenarios - el comportamiento de todas las relaciones geométricas en un espacio geográfico determinado.

La mejor manera de ejemplificar lo anteriormente descrito es, si cabe, la enumeración de estas reglas de validación:

<b>GEOMETRÍA POLIGONAL</b>	<b>GEOMETRÍA LINEAL</b>	<b>GEOMETRÍA PUNTUAL</b>
Debe ser más grande que la tolerancia de cluster		Debe estar cubierto por un polígono de una entidad concreta
No debe haber solapamiento entre polígonos	No debe tener puntos finales	Debe estar cubierto por el límite de área de una entidad concreta
El polígono debe contener al menos un punto	No debe haber solapamiento entre líneas de otras entidades	Debe estar cubierta por el punto final de una entidad lineal concreta
Debe estar cubierto por las geometrías de una entidad concreta	No deben intersectar	Debe estar cubierta por una entidad lineal
No debe solaparse con las geometrías de una entidad concreta	No deben intersectar o tener puntos interiores	
El límite de área debe estar cubierto por el límite de área de una entidad concreta	No debe solaparse con otra entidad lineal concreta	
No debe haber huecos entre polígonos	El punto final de la línea de debe estar cubierto por un punto	
El límite del área debe estar cubierto (relacionado con entidades lineales)	No puede tener pseudonodos	
Debe estar cubierto por geometrías	No puede solaparse con líneas de la misma entidad	
Deben cubrirse unas geometrías con otras (relacionado por entidades poligonales)	No puede intersectar con líneas de la misma entidad	
	No puede tener partes solas	
	Debe estar cubierta por una entidad concreta	
	Debe estar cubierta por el límite de área de una entidad concreta	

Tabla I. Reglas de validación topológica en ArcGIS de ESRI (extraído de [http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/index.cfm?TopicName=Topology\\_rules](http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/index.cfm?TopicName=Topology_rules))

### 2.3.3 METADATOS

Un metadato es una información que describe entre otras, la calidad, distribución, actualidad y referencia espacial de un conjunto de datos. Muchos especialistas llaman a los metadatos como "datos acerca de los datos".

El origen de los mismos se remonta a la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y Desarrollo (1992) y su Agenda 21, la cual asignó suma importancia a la globalización de la información espacial de recursos naturales en favor de la óptima planificación y adecuado manejo en pro del desarrollo sustentable.

Desde entonces han surgido diversas iniciativas por globalizar datos espaciales y sus metadatos. El punto de partida es una descripción de la información producida por múltiples actores para luego incorporarse a una red de información como la Directiva INSPIRE (ver apartado 2.1.2 página 8), ISO 19115, Núcleo Español de Metadatos y otros.

Un metadato geográfico pretende describir datos espaciales con respuestas al quién, qué, cuándo, dónde, porqué y cómo de éstos datos. Esta información debe trascender para mejorar especialmente los siguientes aspectos:

- ❖ Reconocer la Disponibilidad
  - ⇒ Facilitar al usuario la identificación de la información existente sobre un documento con datos espaciales.
- ❖ Identificar el Uso de los datos
  - ⇒ Facilitar al usuario reconocer si el conjunto de datos se ajusta a un requerimiento específico.
- ❖ Facilitar el Acceso
  - ⇒ Informar sobre la ubicación, tamaño, formato, medio, precio y restricciones de uso con el fin de identificar y adquirir un grupo de datos.
- ❖ Facilitar la Transferencia
  - ⇒ Brindar la información necesaria para utilizar, procesar e intercambiar un conjunto de datos espaciales.

Cualquier proyecto de diversa índole (investigación, estudio, tesis, diagnóstico, etc) que involucre información espacial puede ser documentado mediante un metadato geográfico. Sin embargo, esta información espacial quizá pase desapercibida en el mundo de la geomática si el metadato no se divulga. Los metadatos son información valiosa siempre y cuando estén compilados en bases de datos y disponibles en Servicios de Consulta de Información Geográfica como pueden representar las Infraestructuras de Datos Espaciales o IDEs (ver apartado 2.1.2 página 8). Una IDE integra en esencia datos, metadatos, servicios e información de tipo geográfico para promover su uso.



## 3.1 CLASIFICACIÓN DE LAS PROYECCIONES CARTOGRÁFICAS

El profesor Peter H. Dana, de la Universidad de Texas, en Austin, cuenta en su página Web con una completa lista de las principales proyecciones cartográficas que pasamos a incluir a continuación, eso sí, traducida a la lengua castellana. Asimismo, se realiza una breve descripción de las proyecciones que se han considerado más relevantes.

### 3.1.1 PROYECCIONES CILÍNDRICAS

Una proyección cilíndrica se concibe, en su caso más simple, como un cilindro que coloca tangente a la Tierra por el Ecuador. Si se proyectan los puntos del Globo sobre el cilindro, y posteriormente desarrollamos éste, obtenemos un plano. Según la colocación del cilindro, podemos tener diversas variantes de la proyección:

### 3.1.2 PROYECCIONES CILÍNDRICAS REGULARES

El cilindro es tangente o secante en el Ecuador. Los paralelos y meridianos son líneas perpendiculares entre sí. La escala en el Ecuador es real. La mayor ventaja es que se trata de proyecciones de sencilla construcción que, además, pueden adaptarse para ser equidistantes (se conservan las distancias), equiáreas (se conservan las superficies) o conformes (se mantienen los ángulos tras la transformación).

Dentro de las proyecciones cilíndricas regulares podemos citar las siguientes:

#### ❖ **Equirectangular**

⇒ Se trata del más antiguo sistema de proyección, inventado sobre el año 100 a.C. Fue popular durante el Renacimiento, aunque declinó su utilización en el siglo XVIII.

#### ❖ **Proyección de Mercator**

⇒ Es una proyección conforme (se conservan los ángulos después de la transformación). Fue ideada en el año 1569 por Gerardus Mercator y se convirtió en la única utilizada para las cartas marítimas durante los siglos XVII y XVIII. Esto último tiene explicación: Mercator dotó a su proyección de la propiedad consistente en que el trazado de líneas de igual rumbo (loxodrómicas) en el plano, fuera una línea recta. Consiguió esto alterando la separación entre paralelos. Las ventajas de su empleo en navegación eran evidentes.

⇒ Ha sido también profusamente empleada durante el siglo XX. Introduce deformaciones progresivamente crecientes con la latitud, razón por la cual se considera inutilizable a partir de los 70° de latitud Norte o Sur.

#### ❖ **Proyección cilíndrica equiárea de Lambert**

⇒ Fue introducida por Lambert en el año 1772. Tiene la propiedad de conservar las áreas del terreno. Los meridianos están regularmente espaciados, mientras que los paralelos se van juntando a medida que aumenta la latitud.

❖ Otras proyecciones cilíndricas pueden ser la Proyección cilíndrica estereográfica de Gall o la cilíndrica de Miller

### 3.1.3 PROYECCIONES CILÍNDRICAS TRANSVERSAS

Son aquellas en las que la colocación del cilindro tangente a la Tierra ha sido girada 90°, de manera que en lugar de colocarse tangente al Ecuador, lo hace respecto al meridiano central.

Citaremos las siguientes:

#### ❖ **Proyección transversa de Mercator**

⇒ Fue introducida por Lambert en el año 1772, y ha sufrido diversas modificaciones por Gauss (1822, dando origen a la actual UTM) y Kruger (1912). Esta proyección constituye la base para el sistema UTM (Universal Transverse Mercator).

#### ❖ **Proyección de Cassini**

⇒ Consiste en una proyección equirectangular con el cilindro colocado transversalmente. Fue inventada por Giovanni Cassini y se utilizó en Francia para mapas topográficos hasta 1803. En 1810 fue modificada por Soldner y se utilizó en Alemania y el Reino Unido. Durante el siglo XX ha dejado de utilizarse.

### 3.1.4 OTRO TIPO DE PROYECCIONES

#### ❖ **Proyecciones cilíndricas oblicuas**

⇒ En ellas la colocación del cilindro ha sido rotada 45° con respecto a la posición original (tangente al Ecuador). Dentro de estas proyecciones citaremos:

- Proyección oblicua de Mercator: introducida por Charles Peirce en 1894, ha sido utilizada en Asia y América Central (Atlas de Debes).

#### ❖ **Proyecciones pseudocilíndricas**

⇒ Entre ellas podemos citar la de Mollweide, la de Robinson, las proyecciones de Eckert y la proyección sinusoidal.

#### ❖ **Proyecciones cónicas**

⇒ La proyección se efectúa sobre un cono tangente (o secante) a la Tierra a lo largo de un paralelo que suele estar situado a una latitud media (es una circunferencia de menor diámetro que el Ecuador).

- Proyección cónica simple o equidistante (conserva las distancias)
- Proyección cónica conforme de Lambert (conserva los ángulos)
- Proyección cónica equiárea de Albers
- Proyección cónica equiárea de Lambert
- Proyección policónica

#### ❖ **Proyecciones acimutales o planares**

⇒ En este caso, se coloca un plano tangente al Globo. Si se hace incidir una fuente de luz en el interior del Globo sobre la retícula de meridianos y paralelos, ésta será proyectada sobre el plano dando lugar a alguno de los tipos de proyecciones acimutales, en función de dónde esté situada la fuente de luz.

## 3.2 LA PROYECCIÓN UTM (O CILÍNDRICA TRANSVERSA CONFORME DE GAUSS)

Este sistema de proyección cartográfica está hoy muy extendido con carácter universal. Fue llamada U.T.M., de "Universal Transverse Mercator", ya que por ser cilíndrica es parecida a la de Mercator, pero el cilindro se coloca transversalmente, es decir, con el eje sobre el ecuador.

Se toma como superficie desarrollable un cilindro (es una proyección cilíndrica) que se coloca tangente al elipsoide de referencia, de manera que el eje del cilindro está dentro del plano del ecuador, es decir, que el cilindro es tangente al elipsoide a lo largo de una línea que define un meridiano tomado como origen.

Se proyectan los puntos del elipsoide sobre el cilindro según una determinada relación matemática. Luego se desarrolla el cilindro para obtener el plano, de forma que el eje Y queda determinado por la línea del meridiano de origen (que es la única línea automecónica de la proyección) y el eje X es la generatriz tangente al ecuador del cilindro

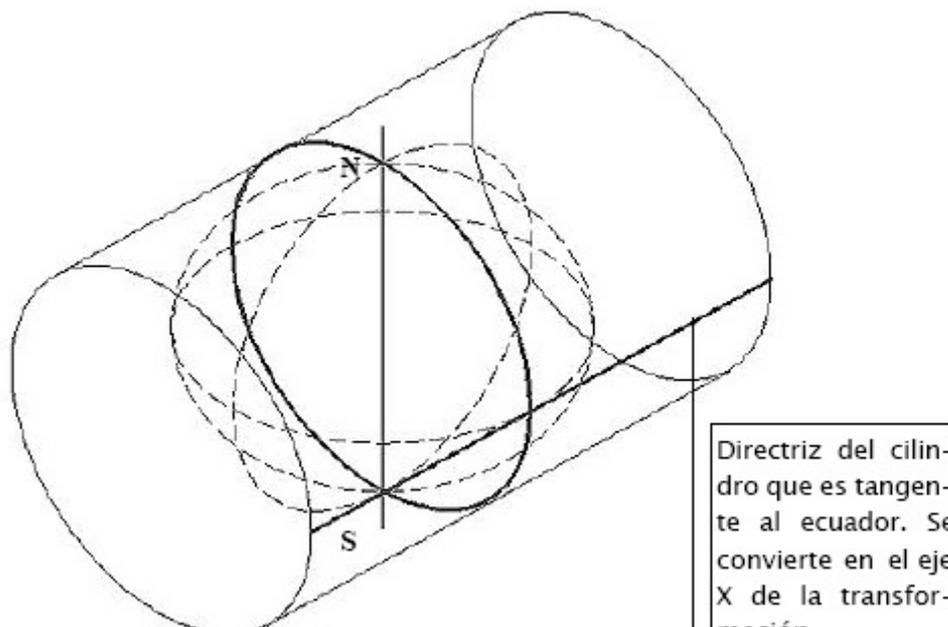


Figura VIII. Proyección UTM. Cilindro tangente a la tierra

Las **coordenadas UTM** de un punto sobre el plano se determinarán, mediante relaciones matemáticas, a partir de las coordenadas geográficas determinadas sobre el elipsoide. Por tanto las coordenadas UTM son coordenadas cartesianas correspondientes al plano que resulta al hacer la transformación de los puntos del elipsoide sobre una superficie desarrollable elegida que es el cilindro.

Puede establecerse así una correspondencia biunívoca entre las coordenadas geográficas (longitud y latitud) referidas al elipsoide y las coordenadas UTM (x,y) (cartesianas) referidas al plano transformado.

Para la elaboración del sistema de proyección UTM se han adoptado las siguientes premisas:

- ❖ Elección de un elipsoide de referencia
  - ⇒ En 1930 la Asociación Internacional de Geodesia recomendó la utilización del Elipsoide Internacional de Hayford, aunque el sistema UTM es válido para cualquier otro elipsoide sin más que cambiar sus parámetros (semieje mayor y aplanamiento, ya vistos).
- ❖ Elección de un punto astronómico fundamental o "datum"

- ⇒ España se encuentra en el datum correspondiente a Europa occidental, en las proximidades de Postdam (Alemania), de ahí la identificación de "datum postdam" que aparece en muchos mapas.
- ❖ Elección de un sistema de representación plano conforme (que conserva los ángulos, como el de Gauss)
  - ⇒ Este sistema presenta el inconveniente de que no puede aplicarse a grandes extensiones, pues se alcanzan unas deformaciones intolerables. Para subsanar el problema, se subdivide el Globo en 60 husos iguales de 6° de longitud (Tabla 1), paralelos a los meridianos. Este sistema, por la misma razón, tampoco es aplicable a altas latitudes, por lo cual se limitan éstas a 80° de latitud Norte y Sur. De aquí hacia arriba (hacia los polos) se encarga el sistema UPS (Universal Polar Stereographic)<sup>8</sup>, utilizándose la proyección estereográfica.

Con este sistema España queda incluida dentro de los husos 28, 29, 30 y 31; incluidas Baleares y Canarias.

# 4

## SOFTWARE

En este capítulo se pretende aportar una breve descripción de los programas utilizados para el desarrollo de los trabajos. De esta manera, se explica a continuación las nociones básicas de ArcGIS Desktop y HEC RAS

### 4.1 ARCGIS DESKTOP

ArcGIS constituye una familia de productos de software para construir un SIG completo en una organización. Es integrable con otras tecnologías (no necesariamente de índole geográfica: bases de datos, aplicaciones empresariales, etc.), ya que se construye en su totalidad siguiendo estándares. ArcGIS es un conjunto de productos de sencilla instalación y manejo, que combinados, dan respuesta a las necesidades concretas de cualquier organización.



En definitiva, la arquitectura ArcGIS cumple con las necesidades presentes y futuras de cualquier usuario en el campo de los Sistemas de Información Geográfica.

- ❖ GIS Desktop: ArcReader, ArcView, ArcEditor y ArcInfo constituyen un conjunto escalable de productos que constituyen la plataforma básica mediante la cual los usuarios generan, importan, editan, consultan, cartografían, analizan y publican información geográfica.
- ❖ GIS Servidor: ArcGIS Server, ArcIMS, ArcGIS Image Server constituyen las tres piezas fundamentales en el nivel de servidor de la arquitectura ArcGIS. Con ellas, y a través de diferentes clientes, se puede servir funcionalidad GIS a un gran número de usuarios a través de las redes. ArcGIS Explorer es un cliente ligero gratuito incluido en ArcGIS Server
- ❖ ArcWeb Services: es una familia de servicios que ofrecen una forma rápida y sencilla de incluir contenido y funcionalidad GIS en cualquier aplicación, sin necesidad de almacenar los datos ni de realizar desarrollo.

#### 4.1.1 ARCEEDITOR

ArcEditor es el sistema completo para computadoras personales de GIS para editar y manejar información geográfica. ArcEditor es un miembro de la familia de productos ArcGIS y cuenta con toda la funcionalidad de ArcView además de herramientas para edición en GIS. ArcEditor permite edición por un solo usuario así como procesos colaborativos entre varios editores. Se incluye una amplia gama de herramientas para limpiar los datos y registrarlos así como para diseños sofisticados y hacer diferentes versiones. Con ArcEditor es posible:

- ❖ Crear y editar características GIS con herramientas intuitivas parecidas al CAD
- ❖ Construir bases de datos geográficas ricas e inteligentes
- ❖ Modelar complejos flujos de trabajo con múltiples editores
- ❖ Construir y mantener integridad especial incluyendo relaciones topológicas entre características geográficas

- ❖ Manejar y explorar redes geomáticas
- ❖ Incrementar la productividad editora
- ❖ Manejo del entorno de usuarios múltiples a través de diferentes versiones
- ❖ Desconectarse de la base de datos y realizar ediciones en el campo

## 4.2 HEC RAS

El HEC-RAS pertenece a un grupo de software que han sido desarrollados por el Centro de Ingeniería Hidrológica del cuerpo de ingenieros de la armada de Estados Unidos. Realiza simulaciones de áreas inundables y afectadas por deslizamientos, detecta zonas de desborde, realiza cálculos hidráulicos de estructuras (puentes, alcantarillas, canales y reservorios), identifica zonas amenazadas, permite definir la geometría de la planicie de inundación, etc. Además permite simular varios eventos de inundación cada vez que se corre el modelo.

El sistema HEC-RAS realiza cálculos en una sola dimensión y analiza 3 componentes hidráulicos: El perfil de la superficie del agua en condiciones de flujo constante, el perfil bajo condiciones de flujo inestable, y el transporte de los sedimentos.

Las características técnicas y sus aplicaciones se fundamentan en el cálculo hidráulico de estructuras (puentes, aliviaderos, alcantarillas, etc.), la visualización gráfica de datos y resultados, la edición gráfica de secciones y otras subaplicaciones específicas del cálculo hidráulico derivado. Es ejecutable en entorno Microsoft Windows y permite la modelación hidráulica en régimen permanente de cauces abiertos, ríos y canales artificiales.

Respecto a la salida de resultados, Hec-Ras presenta salidas tabulares, en la que están presentes varias características de los resultados hidráulicos y que permite transformar a un archivo de Excel, es decir, poder graficar los resultados a partir de una base de datos de Excel. Además, cuenta con tres salidas gráficas: una salida en presentar el nivel del agua en cada una de las secciones transversales introducidas, conjuntamente con el nivel de la línea de energía y el nivel crítico, en otra salida muestra el perfil longitudinal del río, con una línea de energía y la tercera salida es una perspectiva de las secciones con niveles de agua

Cabe destacar la existencia de HEC-GeoRAS, el cual representa la interfaz entre ArcGIS Desktop y HEC-RAS. Dispone de diversos módulos que facilitan el trabajo como son PreRAS (prepara la geometría para ser leída por Hec-RAS), GeoRAS\_Util (genera tablas de Manning a partir de bases de datos de usos del suelo) y PostRAS (lee resultados de HEC-RAS: imágenes y TINs de calados, velocidades y láminas de inundación).

# 5

## METODOLOGÍA APLICADA AL DESARROLLO DE LOS TRABAJOS

En el presente capítulo se explicarán con detalle las actividades realizadas para la consecución de los objetivos relacionados anteriormente, con especial énfasis en la metodología aplicada para su resolución. Así, el presente capítulo se compone de los siguientes apartados:

- ❖ Consideraciones generales
- ❖ Recopilación y tratamiento de datos
- ❖ Generación de cartografía temática
- ❖ Trabajo con información en 3 dimensiones
- ❖ Generación de vuelos virtuales en la zona de estudio
- ❖ Análisis conjunto de la cuenca hidrográfica del río Llobregat y la ubicación de los yacimientos

### 5.1 CONSIDERACIONES GENERALES

Como paso previo al inicio de los trabajos se ha determinado claramente el área de estudio. Esta determinación se ha realizado atendiendo a la necesidad de acotar espacialmente el ámbito de búsqueda y presentación de recursos, y el área de estudio de aspectos hidrográficos.

Según el enunciado del TFC se entiende que el área de estudio comprende el tramo final del río Llobregat desde el Puente del Diablo en el municipio de Martorell hasta la desembocadura. A continuación se presenta una figura que detalla claramente la delimitación de la zona de estudio.

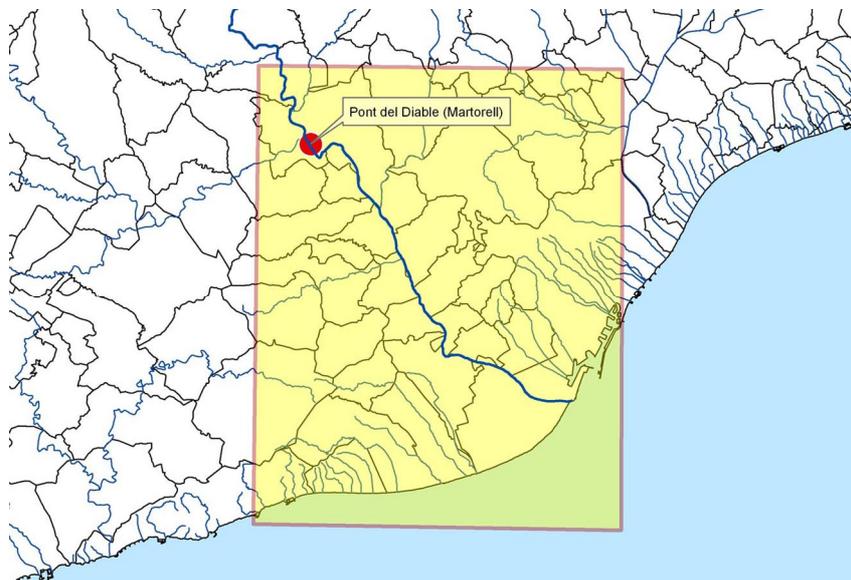


Figura IX. Zona de estudio (Desarrollo propio)

Por otro lado, se ha convenido que el Sistema de coordenadas a utilizar para la representación de la información sea el UTM en el huso 31 Norte, según el Datum ED50.

La elección ha sido motivada por la alta disponibilidad de fuentes cartográficas referenciadas a estos parámetros y por los resultados obtenidos de la comprobación previa de la referencia de los datos facilitados por el consultor, que apuntan inicialmente en esa dirección. Así, cualquier información referenciada en otro sistema o datum, ha sido transformada para adecuar su representación geográfica a los parámetros convenidos.

Por último, se ha convenido trabajar con el formato de datos de Geodatabase personal de ESRI (basado en Microsoft Access) para los datos vectoriales. Con todo, se contempla la posibilidad de exportación de datos a formato Shapefile de ESRI como formato de intercambio de datos geospaciales con el consultor, en caso de que no poder acceder al formato de Geodatabase personal.

## **5.2 RECOPIACIÓN Y TRATAMIENTO DE DATOS**

La tarea de recopilación de datos se ha fundamentado en la ejecución ordenada de diversas actividades.

Así, en primer lugar se han determinado los recursos a obtener según objetivos del proyecto. Como resultado de esta determinación se ha centrado la búsqueda en las siguientes informaciones:

- ❖ Cartografía antigua
- ❖ Información ampliada de yacimientos arqueológicos
- ❖ Toponimia antigua
- ❖ Cartografía de base
- ❖ Modelos Digitales del Terreno
- ❖ Ortofotomapas

Se ha realizado una intensa búsqueda de cartografía histórica antigua que pudiera aportar información sobre la geografía de la zona de estudio en la época romana. Lamentablemente, se ha podido comprobar que los recursos cartográficos disponibles en Web tienden a ser muy generalistas, aportando eminentemente información muy esquemática de áreas extensas (Tarraconensis principalmente).

A la par que se ha realizado la búsqueda de cartografía antigua, se ha llevado a cabo la búsqueda de información relacionada con los yacimientos arqueológicos del Bajo Llobregat. El hilo conductor de esta actividad han sido inicialmente las referencias aportadas por el consultor en el enunciado del trabajo, derivando progresivamente hacia otros recursos relacionados u obtenidos de la consulta a los mismos.



Figura X. Hispania romana, Tarraconense (*Los primeros españoles*. Blanco Freijeiro, Antonio. *Historias del Viejo Mundo*, N.1. historia 16. Madrid, 1994. Pag. 91.)

En este sentido, han aparecido un buen número de referencias en formato de artículos, tesis y otros documentos técnicos. En la gran mayoría de ellos se hace referencia a aspectos concretos de la vida romana y su relación con el territorio. Igualmente, se han encontrado pequeñas referencias e incluso imágenes en los apartados referentes a historia de las Webs oficiales de los municipios del Baix Llobregat.

Las principales referencias encontradas en este punto han sido:

- ❖ Pobles de Catalunya – Guia del Patrimoni històric i artístic dels municipis catalans – Baix Llobregat ([http://www.poblesdecatalunya.cat/Baix\\_Llobregat](http://www.poblesdecatalunya.cat/Baix_Llobregat))
- ❖ Inventari del Patrimoni Arqueològic de Catalunya (<http://cultura.gencat.net/invarque/index.asp>)

En lo referente a la toponimia antigua, se han encontrado diversos trabajos donde se estudia en profundidad la equivalencia de topónimos entre la época romana y la edad moderna, que junto a la recopilación de cartografía de base que pudiera servir de referencia para el desarrollo de los trabajos, han sido puntos importantes de este trabajo.

En este sentido se han recopilado las siguientes informaciones:

Descripción	Fuente
Topónimos de la zona de estudio	Extraídos de la base digital del mapa 1:5.000 del Institut Cartogràfic de Catalunya
Cotas de la zona de estudio	Extraídos de la base digital del mapa 1:5.000 del Institut Cartogràfic de Catalunya
Red de vías romanas	Facilitado por el consultor
Litología de España	Facilitado por el Centro de Estudios y experimentación de Obras Públicas (CEDEX) del Ministerio de Fomento de

Descripción	Fuente
	España
Edafología de España	Facilitado por el Centro de Estudios y experimentación de Obras Públicas (CEDEX) del Ministerio de Fomento de España
Usos del suelo (Año 2000)	Extraído del CORINE Land Cover España publicado por el Instituto Geográfico Nacional
Caminos de la zona de estudio	Extraídos de la base digital del mapa 1:50.000 del Institut Cartogràfic de Catalunya
Ríos de la zona de estudio	Extraídos de la base digital del mapa 1:5.000 del Institut Cartogràfic de Catalunya
Edificaciones de la zona de estudio	Extraídos de la base digital del mapa 1:5.000 del Institut Cartogràfic de Catalunya
Red viaria de la zona de estudio	Extraídos de la base digital del mapa 1:5.000 del Institut Cartogràfic de Catalunya
Ríos de Cataluña (Escala de digitalización 1:5.000)	Facilitados por la Agencia Catalana del Agua
Ríos principales de Cataluña (Escala de digitalización 1:5.000)	Facilitados por la Agencia Catalana del Agua
Comarcas de Cataluña (Escala de digitalización 1:5.000)	Facilitados por la Agencia Catalana del Agua
Cuencas hidrográficas de Cataluña (Escala de digitalización 1:5.000)	Facilitados por la Agencia Catalana del Agua
Municipios de Cataluña (Escala de digitalización 1:5.000)	Facilitados por la Agencia Catalana del Agua

Tabla II. Cartografía de base recopilada

La gran mayoría de los datos recopilados disponían de la correcta referencia espacial según el sistema elegido para el desarrollo de los trabajos. Con todo, se ha detectado la necesidad de reproyección de alguno de éstos, debido a que el Datum de referencia era el WGS84.

De esta manera, se ha llevado a cabo el cambio de Datum mediante la herramienta geográfica (o Toolbox) de ArcGIS Desktop, Project. Esta se encuentra agrupada con las opciones de Gestión de la información / Proyecciones y transformaciones / Vectorial.

Por lo que respecta a la recopilación de Modelos Digitales del Terreno, se ha contado inicialmente con el facilitado por la consultora con un paso de malla de 90 metros, el cual ha sido transformado para adecuarlo al sistema de referencia ED50 UTM31.

Dada la importancia de este tipo de información de cara a afrontar la fase práctica de análisis hidrológico, se ha puesto un especial énfasis en contar con mayor información MDT. Así, se han recopilado y generado modelos adicionales, con lo que se ha podido disponer de las siguientes informaciones:

Información	Resolución raster aproximada	Paso de malla	Extensión
Modelo Digital del Terreno 200	Escala 1:750.000	200 metros	Toda Cataluña
Modelo Digital del Terreno 90	Escala 1:350.000	90 metros	Toda Cataluña
Modelo Digital del Terreno 25	Escala 1:95.000	25 metros	Toda Cataluña
Modelo Digital del Terreno 10	Escala 1:40.000	10 metros	Zona de estudio

Tabla III. Modelos Digitales del Terreno recopilados o generados

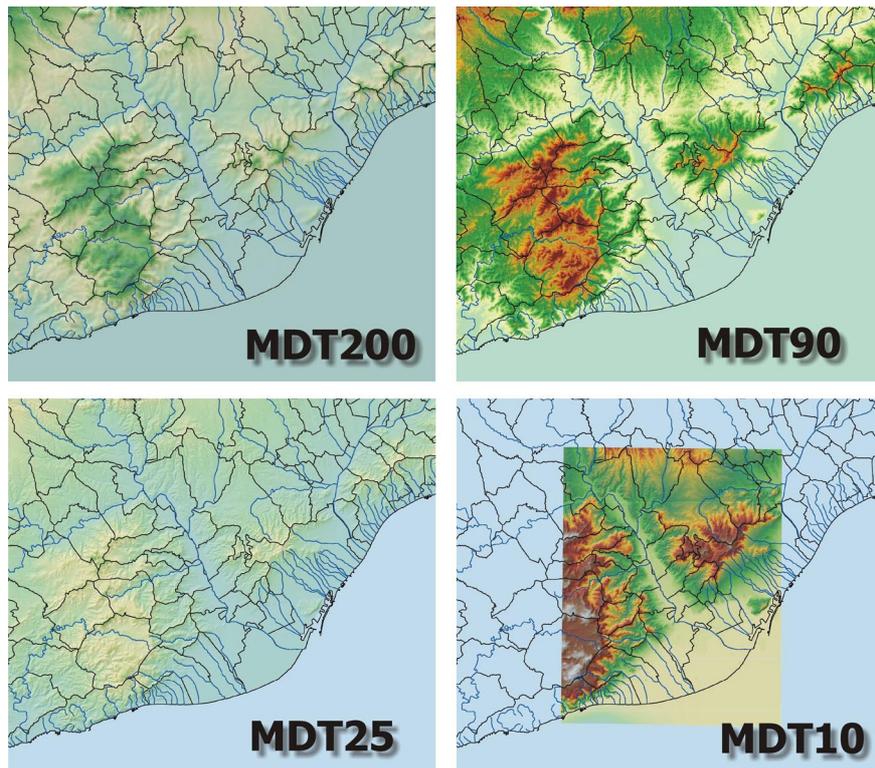


Figura XI. Modelos Digitales del Terreno recopilados o generados

Cabe destacar en este punto el proceso de generación del MDT con paso de malla de 10 metros. Éste ha sido generado gracias a la herramienta de geoprocésamiento de ArcGIS "Topo to Raster". Esta herramienta se encuentra enmarcada dentro de las herramientas de Herramientas de análisis 3D / Interpolación raster.

Para la generación del modelo se han indicado los siguientes parámetros:

- ❖ Datos de entrada
  - ⇒ Capa geográfica de Cotas del Terreno
    - Éstas corresponden a las extraídas del mapa topográfico digital 1:5.000 del Institut Cartogràfic de Catalunya.
  - ⇒ Capa geográfica de red hidrogràfica
    - Ésta corresponde a la red hidrogràfica digitalizada a escala 1:5.000 que ha facilitado la Agencia Catalana del Agua
- ❖ Datos de salida
  - ⇒ Superficie ráster de salida
    - Se ha indicado la extensión de la zona de estudio mediante una capa geográfica creada a tal efecto.
  - ⇒ Tamaño de celda de salida
    - Se ha indicado 10 metros
- ❖ Otros parámetros
  - ⇒ Forzar a la red hidrogràfica

- Se ha habilitado esta opción como positiva
- ⇒ Tipo primario de datos
  - Se ha habilitado esta opción como punto

A partir de la obtención de estos datos, se ha convenido generar igualmente capas geográficas de curvas de nivel. Para ello se ha utilizado la opción "Contour" de análisis de superficies de la extensión funcional de análisis espacial de ArcGIS Desktop.

Así, se han generado las curvas de nivel derivadas del MDT25 y del MDT10 con una equidistancia entre curvas de 25 y 10 metros, respectivamente.

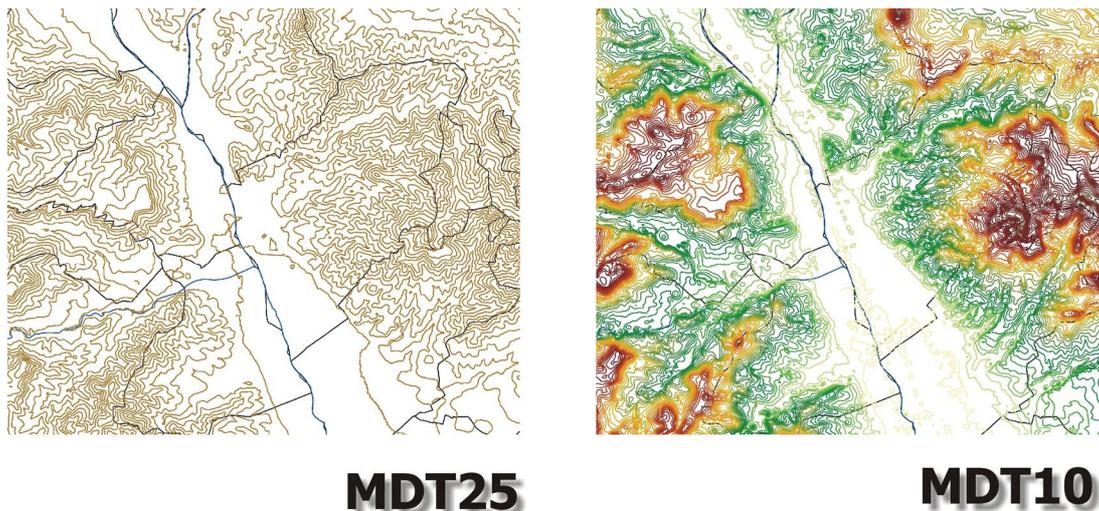


Figura XII. Capas geográficas de curvas de nivel generadas

Por último, se han recopilado desde el Institut Cartogràfic de Catalunya, las ortofotoimágenes correspondientes a la zona de estudio de las colecciones 1:5.000 y 1:25.000. Las imágenes obtenidas venían en formato MrSID, las cuales se cargan directamente en la versión 9.2 de ArcGIS Desktop sin necesidad de georeferenciación.

Todas estas informaciones se han añadido a un proyecto (fichero MXD) generado con ArcGIS Desktop para su trabajo. En este proyecto se han habilitado las extensiones de ArcGIS para el análisis espacial en 2D (Spatial Analyst) y en 3D (3D Analyst).

Así, se han cargado y agrupado las informaciones, tanto recopiladas como generadas, tal y como muestra la figura siguiente:

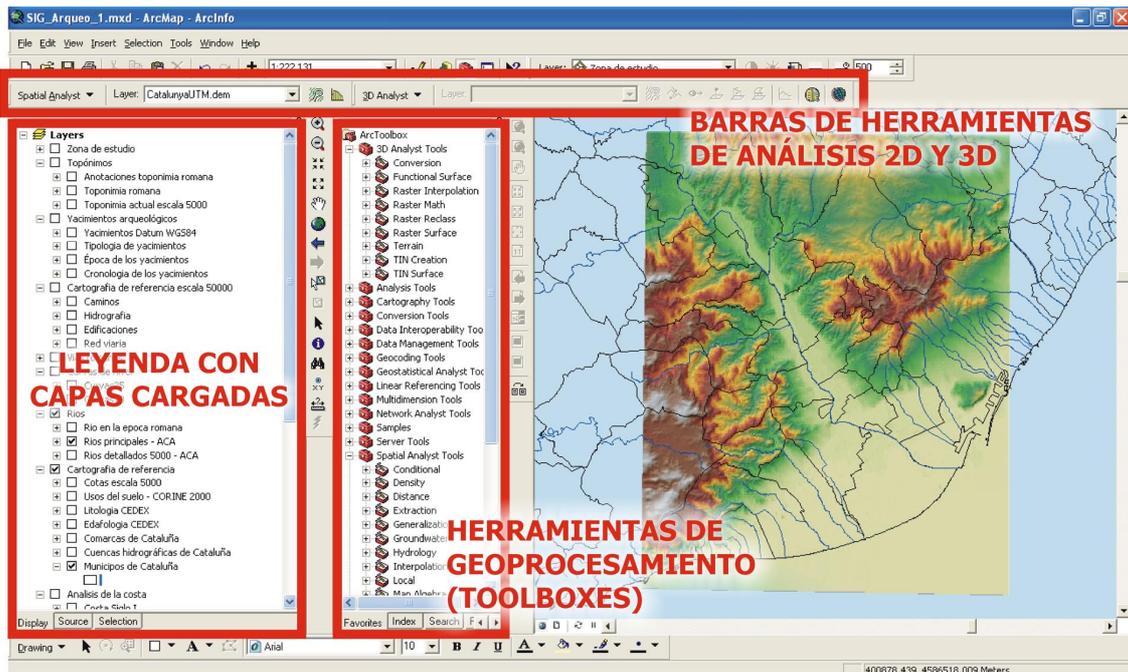


Figura XIII. Proyecto MXD de ESRI de trabajo

## 5.3 GENERACIÓN DE CARTOGRAFÍA TEMÁTICA

El trabajo de generación de cartografía temática se ha fundamentado en la confección de las dos capas geográficas requeridas, la de yacimientos arqueológicos y la del trazado del río Llobregat en la época romana.

### 5.3.1 CAPA DE YACIMIENTOS ARQUEOLÓGICOS

La fuente de información principal utilizada para la generación de esta capa geográfica ha sido el listado de yacimientos facilitados por la consultora. Este listado contiene la especificación de 110 yacimientos ubicados en la zona de estudio. La información aportada para cada uno de éstos ha sido:

- ❖ Municipio
  - ⇒ Corresponde al término municipal donde se encuentra el yacimiento
- ❖ Yacimiento
  - ⇒ Nombre descriptivo del yacimiento
- ❖ Coordenada X
  - ⇒ Se corresponde con la coordenada geográfica X del yacimiento en el sistema de proyección UTM.
- ❖ Coordenada Y
  - ⇒ Se corresponde con la coordenada geográfica Y del yacimiento en el sistema de proyección UTM.
- ❖ Coordenada Z
  - ⇒ Se corresponde con la altitud del yacimiento
- ❖ Tipología
  - ⇒ Se corresponde con el código de tipo de yacimiento según una tabla de referencia aportada de manera adjunta al archivo de yacimientos (Puente, vila, pedrera, indeterminado...)
- ❖ Cronología

- ⇒ Corresponde con una estimación del periodo o intervalo temporal en el que se cree que el yacimiento estuvo activo
- ❖ Ibérico
  - ⇒ Campo booleano que indica si el yacimiento puede catalogarse como de la época ibera
- ❖ Romano
  - ⇒ Campo booleano que indica si el yacimiento puede catalogarse como de la época romana
- ❖ Descripción
  - ⇒ Texto descriptivo de los rasgos más característicos del yacimiento
- ❖ Actuaciones
  - ⇒ Información acerca de las actuaciones realizadas en el yacimiento
- ❖ Bibliógrafo
  - ⇒ Se corresponde con la identificación de la persona o personas que han estudiado el yacimiento en detalle

Las actividades realizadas sobre los datos han sido:

### **5.3.1.1 REVISIÓN Y VALIDACIÓN DE LOS DATOS DE ORIGEN**

Esta información ha sido analizada en detalle para validar su consistencia tanto desde el ámbito histórico como geográfico, lo que ha motivado la realización de las siguientes actuaciones:

#### **5.3.1.1.1 Contenido histórico**

Según las indicaciones del consultor, cada uno de los alumnos del aula ha tenido que revisar y ampliar, si cabe, las informaciones de los yacimientos según una agrupación propuesta por la consultora.

Como resultado de esta revisión a partir de las informaciones aportadas por los compañeros y las consultas a recursos disponibles en Web (principalmente el inventario arqueológico del Departamento de Cultura de la Generalitat de Catalunya) se han ampliado las informaciones de los yacimientos con especial hincapié en los aspectos referentes a su cronología. De esta manera, se han creado los siguientes campos:

- ❖ Inicio
  - ⇒ Corresponde con el año inicial del intervalo en el que se cree que el yacimiento estuvo activo
- ❖ Fin
  - ⇒ Corresponde con el año final del intervalo en el que se cree que el yacimiento estuvo activo
- ❖ Cronología
  - ⇒ Texto descriptivo que aporta información de las épocas en las que el yacimiento estuvo activo

Un punto a destacar es el criterio aplicado para la cumplimentación de los campos creados. Así, existen yacimientos que pueden haber estado activos más allá de la época romana, abarcando periodos de actividad en la edad media por ejemplo. En estos casos, se ha obviado las referencias a otras épocas más tardías a la romana y se ha aportado exclusivamente el intervalo temporal comprendido entre las épocas íbera y romana.

Igualmente, se han revisado el resto de informaciones, realizando únicamente modificaciones en el campo de tipología para indicar el texto descriptivo del tipo en vez del código existente.

#### **5.3.1.1.2 Contenido geográfico**

Tal como hemos visto, los datos de yacimientos tenían especificadas las coordenadas de la ubicación de los mismos. Ahora bien, no existía información sobre el sistema de referencia (Datum y sistema) de éstos datos pese a que podía deducirse fácilmente que el sistema de proyección era UTM.

A partir de la información aportada por la consultora en los foros del aula y de la revisión visual de los puntos de yacimientos colocados sobre el mapa, en relación a otras informaciones cargadas con sistema conocido, se ha podido comprobar que los datos, efectivamente, venían en el sistema de proyección UTM huso 31 Norte pero que existía cierta incertidumbre a la hora de especificar con claridad el Datum de las coordenadas aportadas.

Así, se ha comprobado que mientras existían puntos que se ajustaban perfectamente a la ubicación de lugares conocidos, identificables en la ortofotoimagen 5000 del ICC (caso del Pont del Diable en Martorell) otros estaban desplazados centenares de metros de su ubicación en la imagen. Tras la consulta realizada al departamento responsable de facilitar tales datos se ha podido contrastar que las coordenadas facilitadas son el resultado de un trabajo realizado a lo largo de los años por varias personas, lo que puede haber facilitado la inclusión de las mismas según datums diferentes, unas veces ED50 y otras WGS84.

El paso siguiente ha sido la reproyección de los datos según el supuesto de que la capa viene en ED50 UTM 31 Norte a WGS84 UTM 31 Norte. Igualmente, se ha supuesto a la inversa y se a reproyectado a ED50 suponiendo que la capa viene en WGS84. Con estas informaciones se ha pasado a revisar ocularmente las ubicaciones de los yacimientos. Del resultado de esta revisión se han realizado las siguientes acciones:

- ❖ Modificación de coordenadas para adecuar todas las ubicaciones al sistema ED50 UTM 31 Norte según:
  - ⇒ Datos reproyectados al Datum WGS84
  - ⇒ Nuevas informaciones aportadas por el consultor (caso del yacimiento de embacardor de Molins de Rei)
- ❖ Creación de campo en la capa yacimientos para registrar los cambios realizados y las coordenadas antiguas

### **5.3.1.2 GENERACIÓN Y SIMBOLIZACIÓN DE LA CAPA**

Una vez se han revisado con detalle los datos de yacimientos, se ha procedido a generar la capa de yacimientos arqueológicos. Para ello, se ha utilizado la herramienta "Add XY Data" de ArcGIS Desktop. El resultado ha sido una capa de entidades puntuales, a la cual se ha dotado de sistema de proyección ED50 UTM 31 Norte.

Posteriormente se han generado tres capas temáticas o "layers" según los siguientes aspectos característicos:

- ❖ Cronología de los yacimientos
  - ⇒ Se ha escogido el campo descriptivo "cronología" como valor único para simbolizar a los yacimientos
- ❖ Época de los yacimientos
  - ⇒ Se han escogido los campos booleanos "Ibero" y "Romano" como valores únicos y múltiples campos para simbolizar a los yacimientos
- ❖ Tipología de los yacimientos

⇒ Se ha escogido el campo descriptivo "tipología" como valor único para simbolizar a los yacimientos

Cabe destacar que para la capa temática de tipología se han generado iconos ex profeso para la simbolización de los valores. Estos iconos han sido almacenados en un fichero de estilo (extensión style) que usa el programa ArcGIS Desktop para guardar la simbolización de entidades. A continuación se muestra una tabla que muestra los valores únicos del campo Tipología y el icono característico:

Tipología	Icono	Tipología	Icono
Acueducto		Pedrera	
Embarcador		Poblado	
Enterramiento		Puente	
Horno		Silo	
Indeterminado		Termas	
Mina		Vía	
Necrópolis		Vila	

Tabla IV. Símbolos utilizados para la capa temática de Tipología de yacimientos

En las páginas siguientes se muestra la representación de las diferentes simbolizaciones temáticas a las que se ha dotado a la capa de yacimientos, la cual se presenta de manera detallada para una mejor comprensión de la información almacenada en la misma.

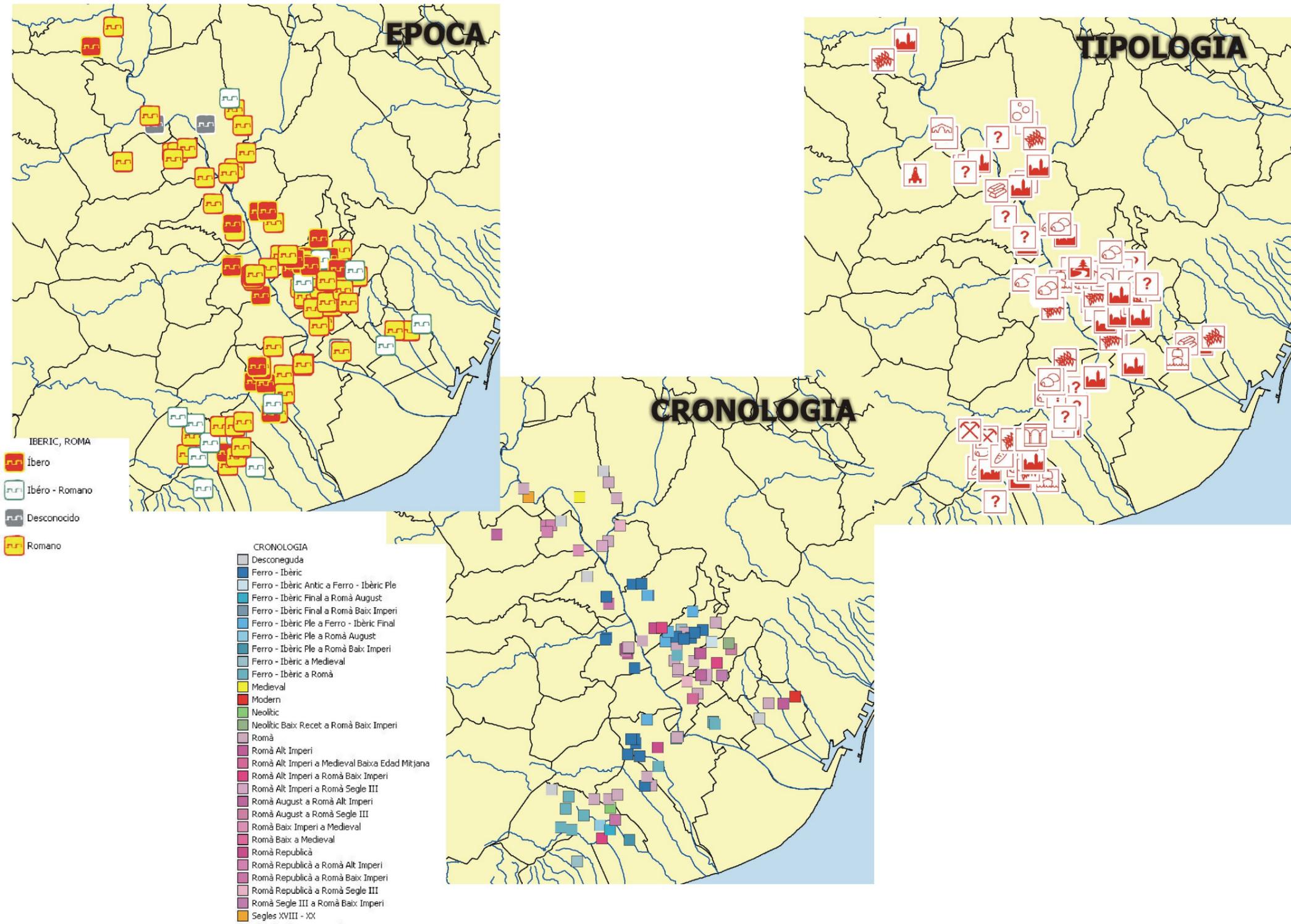
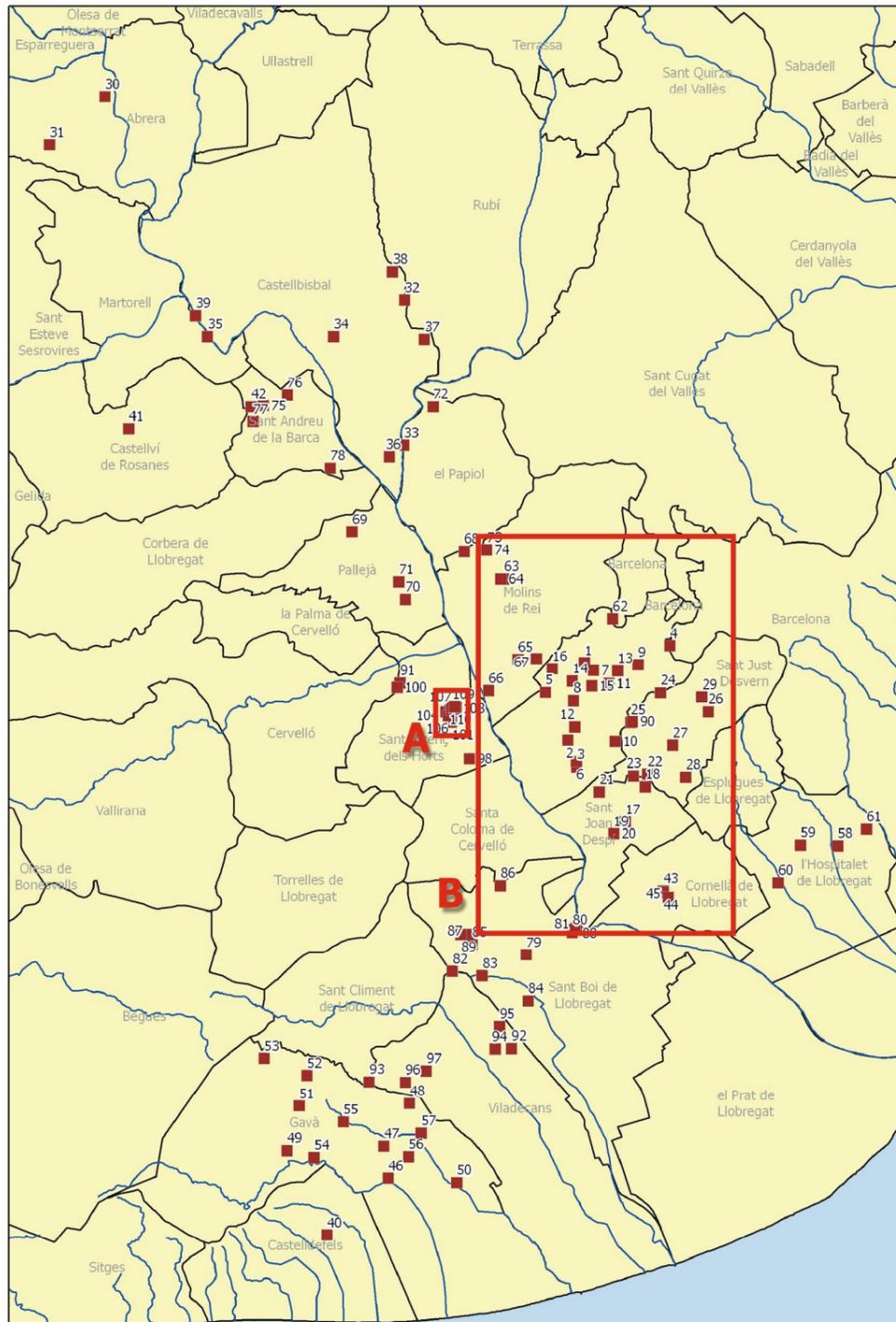
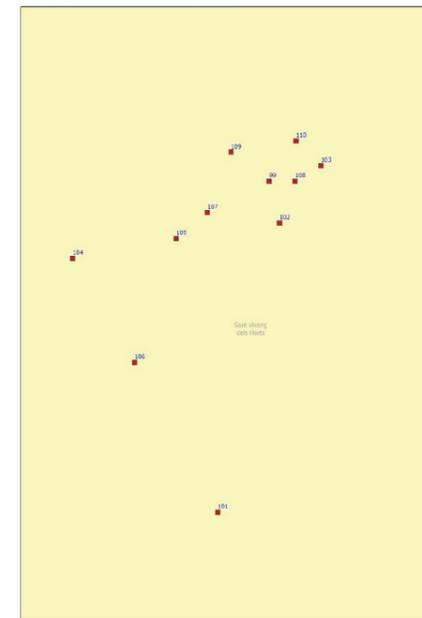


Figura XIV. Capas temáticas derivadas de la capa de yacimientos



ID	YACIMIENTO	ID	YACIMIENTO	ID	YACIMIENTO	ID	YACIMIENTO
1	Torre Abadal	28	Can Modolell	55	Can Torrents	82	St Ramón
2	Can Maginàs	29	La Riba	56	La Roca	83	Torrent de les Orioles
3	Ca l'Estanquer	30	Sant Hil·lari	57	St Pere de Gavà	84	Torre del Fonollar
4	Torre de Sta Margarida	31	Pol. Barcelonès	58	Sta Eulàlia de Provençana	85	Torre de Beniuere
5	Can Miano	32	Can Riquer	59	Can Picotí	86	Camí vell de Llor
6	Can Romagosa	33	Can Canals	60	La Marina	87	Crta. St. Climent
7	Camí de Can N'albareda	34	Castell de Castellbisbal	61	Sitja de la Torrassa	88	Can Barraquer
8	Can Cuiàs	35	Torre del Telègraf	62	Sta Creu d'Olorda	89	Font de les Golbes
9	Can Parellada	36	Can Pedrerol de Baix	63	Plaça Bruixes I	90	La Salut (Mas Lluhi)
10	El Forn	37	Ca n'Estaper	64	Plaça Bruixes II	91	Puig Castellar
11	Fàbrica Sanson	38	Can Campanyà	65	St Pere de Romaní	92	Sta Maria de Sales
12	Les Grasses	39	Pont del Diable	66	Riu de Llobregat	93	Can Tries
13	Masia de Can Marc	40	Castell de Castelldefels	67	Camí de St Pere	94	Torrent de la Torre Roja
14	Torrent del Duc	41	Torre de l'Homenatge	68	Les Argiles	95	Vinya del Torrent de Sales
15	Torrent del Sardanet	42	Vinya de Can Sunyer	69	Torrent del Bufador	96	Can Guardiola
16	Turó de la Garsa	43	Ajuntament de Cornellà	70	Ca l'Esplugu	97	Urbanització Albarosa
17	c/ Carril	44	c/ Ametller, 4	71	La Torroja	98	E.S. Las Palmeras
18	Pla del Vent	45	Castell de Cornellà	72	Can Tintorer	99	Can Peralts
19	Viatge	46	Serra d'en Valls	73	Can Rabella	100	Puig Castellar2
20	c/ Catalunya	47	Turó de Calamot	74	PuigMadrona	101	Can Mallol
21	Les Begudes	48	Mina de Can Tintorer	75	Sta Madrona del Palau	102	Plaça St. Jordi
22	3 Santos	49	Camí de la Sentiu	76	Can Puig	103	c/ del Riu
23	Urb. Torrelblanca	50	Les Sorres	77	Can Preses	104	Can Reverter
24	Penya del Moro	51	Coll Roig Est	78	Can Puigbó	105	C/ Ribot
25	Mas Lluhi	52	Rocabruna	79	La Muntanyeta	106	Poliesportiu Municipal
26	Can Biosca	53	Parc de Gavà	80	Casc Antic	107	La Vicentina
27	Can Sagrera	54	Can Llong	81	Termes Romanes	108	Mercat Vell
						109	c/ Francesc Moragas 17-19
						110	Plaça Catalunya

Ampliación zona A



Ampliación zona B

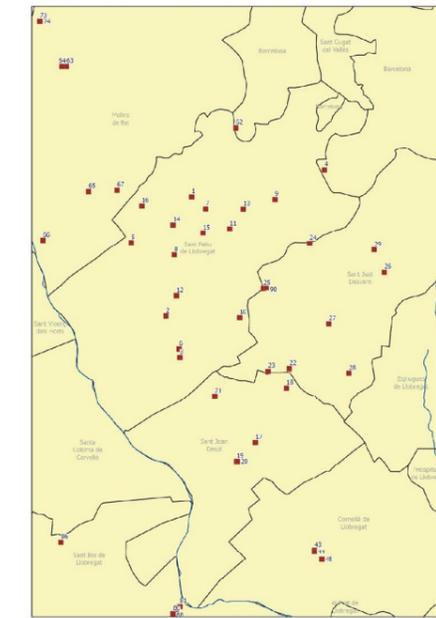


Figura XV. Capa geográfica de yacimientos

### 5.3.2 CAPA DE TRAZADO DEL RÍO LLOBREGAT

Para la generación de la capa geográfica que identifique claramente por donde pasaba el eje principal del río Llobregat en la época romana se ha contado con diversas informaciones de base que han aportado, en menor o mayor medida, pistas de los cambios que este cauce pudo haber sufrido en los últimos 2500 años.

Fundamentalmente, se ha trabajado con la siguiente información de base:

- ❖ Capa de yacimientos, con especial énfasis en aquellos yacimientos catalogados como “embarcadores”
- ❖ Red hidrográfica actual
- ❖ Modelo Digital del Terreno con paso de malla de 10 metros
- ❖ Capa geográfica de vías romanas facilitada por el consultor

Tras realizar el análisis conjunto de las diversas informaciones, se ha creído conveniente abordar un aspecto que se ha creído esencial para comprender la actividad de los yacimientos y su relación con el río, la situación de la línea de costa en aquellas épocas.

A partir de la lectura de diversos recursos obtenidos desde la Web, se ha podido comprobar de qué manera el Delta del Llobregat ha sufrido una modificación sustancial en su morfología en los últimos 2500 años. Por su influencia y relación con el tramo final del río, se han generado el trazado de las líneas de costa tal como deberían haber sido en los siglos I y VII. Para ello, se han tenido en cuenta esquemas obtenidos desde la Web (insertados en el proyecto de ArcGIS y convenientemente ortoreferenciados según puntos conocidos) y el trazado de la curva de nivel correspondiente a los 10 metros en la actualidad, la cual coinciden en afirmar gran parte de los estudios que era la línea de costa en la época romana.

La ubicación de los yacimientos ha servido para realizar finalmente una rectificación del trazado de la línea de costa del Siglo I. Se destaca en este punto la importancia del yacimiento de “Les Sorres” en Gavà, el cual ha sido estudiado en profundidad y del que se ha podido consultar documentación extensa.



Figura XVI. Evolución de la línea de costa en el Delta del Llobregat (Extraído de la página Web del ayuntamiento de Castelldefels)

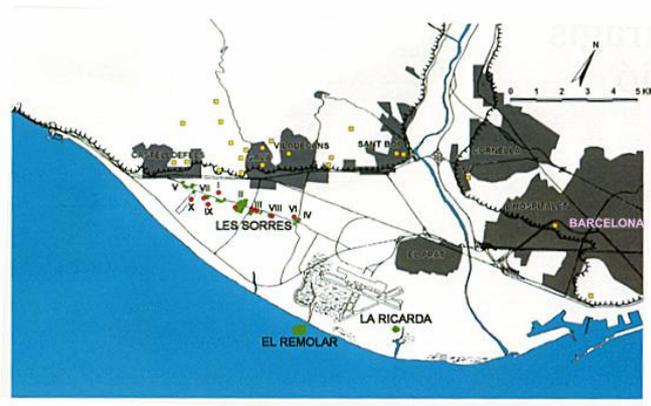


Figura XVII. Evolución histórica del yacimiento de “Les Sorres” (IZQUIERDO, PERE y SOLIAS, JOSEP MARIA)

Cabe destacar en este punto los estudios llevados a cabo por PERE IZQUIERDO y JOSEP MARIA SOLIAS fundamentados en el municipio de Gavá y del que se aporta una figura explicativa de la evolución histórica del yacimiento y su relación con la evolución del Delta del río Llobregat.

Así, el resultado obtenido ha sido:

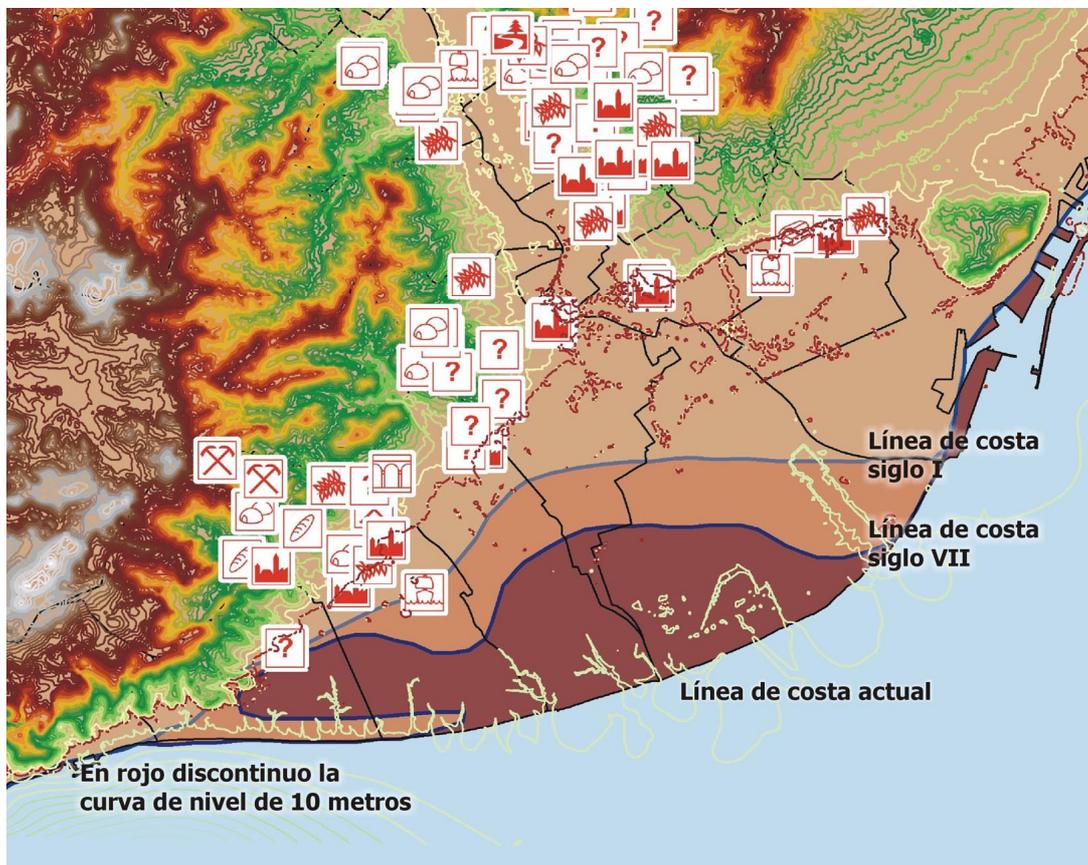


Figura XVIII. Capas geográficas generadas que muestran la evolución de la línea de costa en el Delta del Llobregat

Una vez estudiada la evolución de la línea de costa, se ha abordado con mayor seguridad la digitalización del trazado del río. Los puntos determinantes para su resolución han sido:

- ❖ Se ha estudiado con detalle la relación de los tres yacimientos catalogados como embarcadores con el entorno fluvial y marítimo. A partir de la evolución de la línea de costa estudiada, se ha convenido que el yacimiento de "Les Sorres" en Gavà correspondía a un embarcador marítimo mientras los otros dos eran fluviales.
- ❖ La capa geográfica de vías romanas facilitada por el consultor, identifica claramente las vías fluviales. En ella se distingue claramente el río Rubricatum (Llobregat), el cual coincide bastante con el trazado actual del río según la cartografía de la red hidrográfica obtenida de la ACA y el Modelo Digital del Terreno con paso de malla de 10 metros generado.
- ❖ La ubicación geográfica de los embarcadores fluviales, hace pensar que el ubicado en Molins de Rei se encontraba sobre el río Llobregat. Ahora bien, el ubicado en Hospitalet de Llobregat parece no tener relación con el río Llobregat ni con ningún afluente.

A partir de los razonamientos anteriores, se ha llevado a cabo la digitalización del río mediante las herramientas de edición de ArcGIS, en las que se ha especificado la opción de "Snapping" sobre los vértices de la capa de vías romanas.

El resultado del trazado es el que se muestra en la figura adjunta, en la que se ha querido mostrar la relación del trazado del río con la ubicación de los yacimientos de tipo embarcador, con la línea de costa que existía en el siglo I y las vías romanas.

Como se puede comprobar, se ha lanzado la hipótesis de que existía un curso fluvial presumiblemente de poco calado que desembocaba en el mar en el que se encontraría ubicado el yacimiento de la Marina de l'Hospitalet. Se ha lanzado tal hipótesis tras haber estudiado en profundidad la posibilidad de que el mar llegara hasta esta ubicación en la época romana, lo que se ha descartado y tras comprobar que no existe ningún afluente del río Llobregat cercano a esa ubicación.



Figura XIX. Trazado del río Llobregat en la época romana

## 5.4 TRABAJO CON LA INFORMACIÓN EN 3D

Este apartado detallará el trabajo realizado para aportar y analizar la componente tridimensional a la información generada o recopilada. Éste se ha fundamentado en la generación de vistas tridimensionales interactivas, perfiles del terreno y vuelos virtuales.

### 5.4.1 GENERACIÓN DE VISTAS TRIDIMENSIONALES

La generación de vistas tridimensionales ha contemplado la realización de dos actividades principales.

- ❖ La carga y simbolización de gran parte de las entidades recopiladas y generadas en la aplicación ArcGlobe de ESRI, dedicada a la representación en 3D de la información.
- ❖ El desarrollo de funcionalidad específica para permitir la presentación de la información relacionada con los yacimientos arqueológicos en forma de fichas

Así, en primer lugar se ha generado un nuevo proyecto de ArcGlobe de ESRI en el que se han cargado las siguientes cartografías:

- ❖ Cartografía temática
  - ⇒ Generada (Yacimientos arqueológicos, río Llobregat en la época romana y curvas de nivel con equidistancia de 25 metros)
  - ⇒ Recopilada (Ríos de Cataluña y municipios de Cataluña)
- ❖ Altimetría (Modelo Digital del Terreno con paso de malla de 25 metros)
- ❖ Imágenes (Ortofotomapas color a escala 1:25.000 e imagen simbolizada extraída del MDT)

Por defecto el programa ArcGlobe dispone de un modelo digital de elevaciones que cubre todo el globo terráqueo, aunque permite personalizar el MDT a utilizar. En este sentido, se ha convenido utilizar el MDT con paso de malla de 25 metros puesto que se ha considerado que era el óptimo para la visualización tridimensional por delante del análisis, objetivo de la actividad.

Una vez se ha especificado la capa de referencia altimétrica, se han ido depositando (dejando caer sería más preciso) las diferentes cartografías. Para cada una de ellas se ha especificado, aparte de los más habituales en un escenario de 2 dimensiones, los siguientes aspectos determinantes:

- ❖ Extrusión
  - ⇒ Exageración de la componente vertical que se aplica de manera que los puntos se convierten en líneas, las líneas en planos y los polígonos en cubos. Aplicable a los datos vectoriales
- ❖ Disposición sobre el globo
  - ⇒ Equivalente al orden de apilamiento o dibujo sobre la vista
- ❖ Rasterización
  - ⇒ Posibilidad de especificar la forma de dibujar los datos vectoriales como datos raster, aportando valores ancho de celda.

Un punto determinante para la correcta visualización de la escena ha sido la configuración del cacheado de las capas. Este proceso permite disponer precargados de los datos necesarios para la renderización (o redibujo) de las diferentes capas a diferentes niveles de zoom. Tradicionalmente, este renderizado ha conferido al trabajo con 3 dimensiones de un aura de lentitud. Con esta configuración, el tiempo de

proceso destinado al redibujo de las capas que se distribuye durante el trabajo, se concentra al inicio de los trabajos, confiriendo agilidad a la visualización posterior.

A continuación se muestran tres escenas en 3D de la zona de estudio que muestran el resultado obtenido, según la ubicación de la figura adjunta.

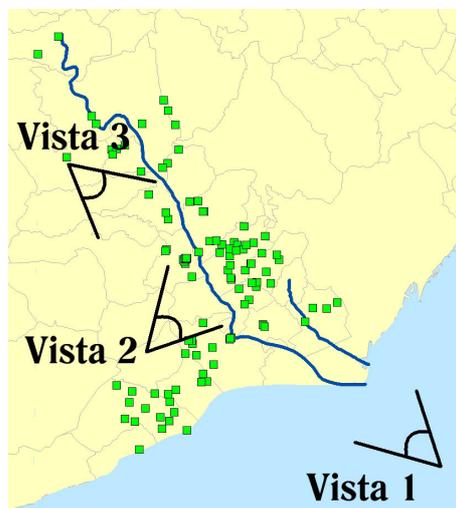


Figura XX. Ubicación de las vistas generadas

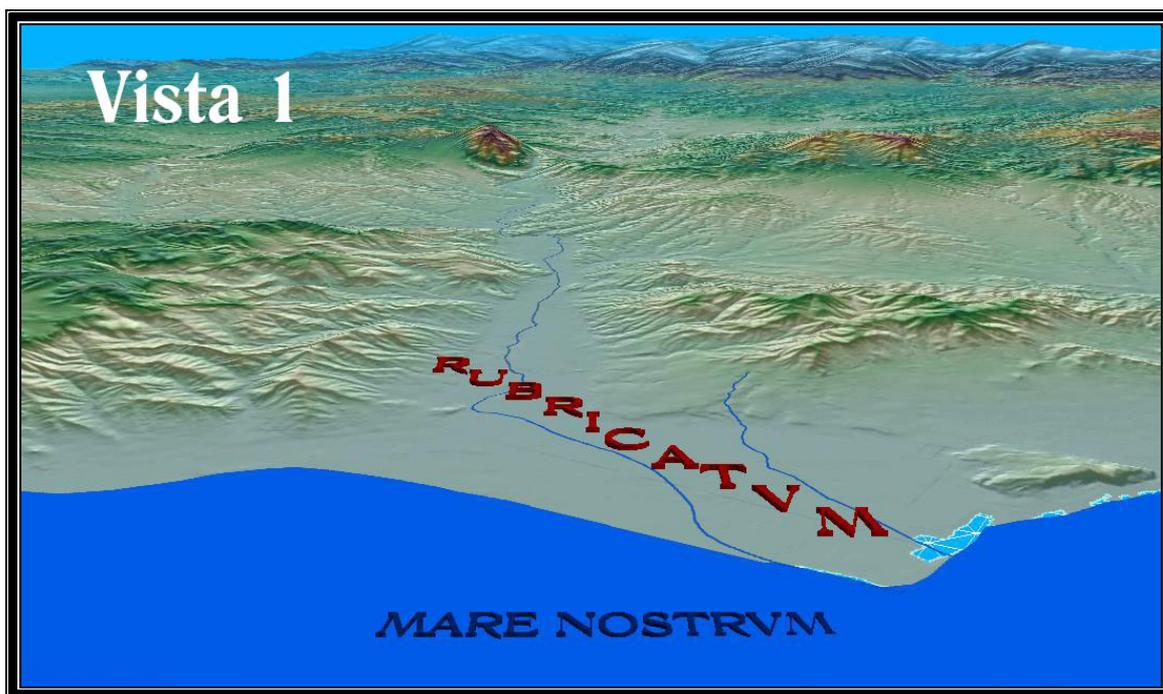


Figura XXI. Vista general en 3D de la zona de estudio (MDT y sombreado de 25 metros, línea de costa en el Siglo I y trazado del río en la época romana)

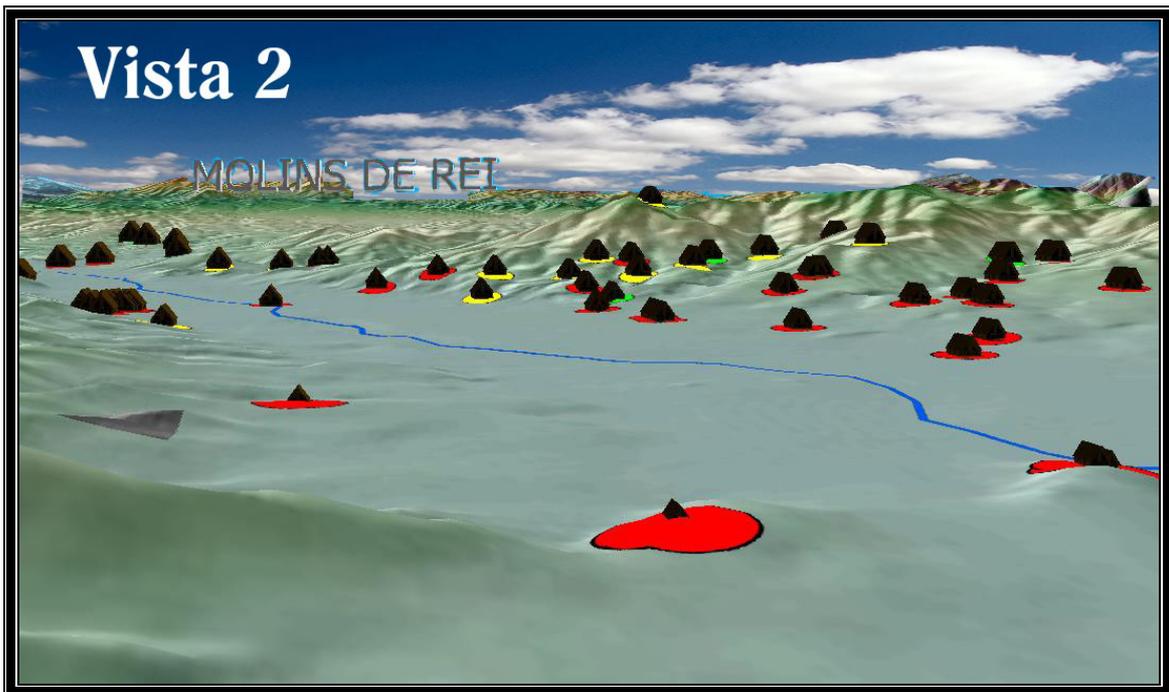


Figura XXII. Vista de detalle en 3D de la zona de estudio en Molins de Rei (Imagen MDT, río en la época romana y yacimientos arqueológicos, indicando época)

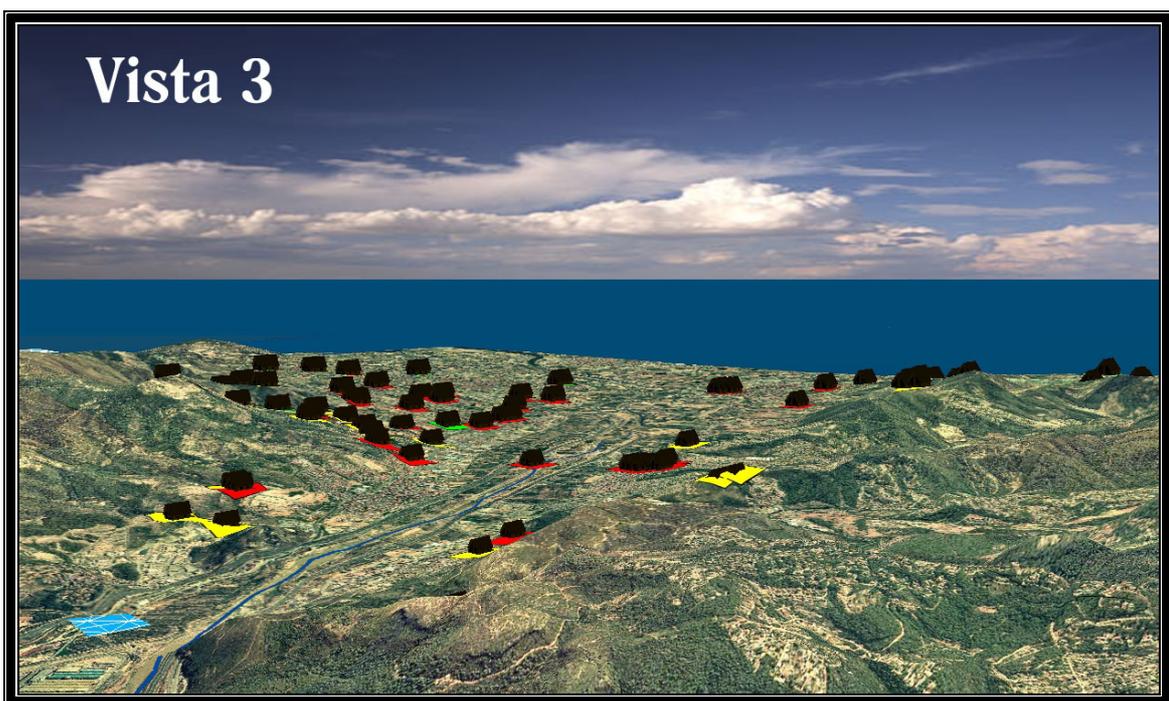


Figura XXIII. Vista de detalle en 3D de la zona de estudio en Sant Vicenç dels Horts (Ortofotomapas 25000 y yacimientos arqueológicos)

El desarrollo de la interactividad de la vista se ha efectuado mediante la programación en Visual Basic para Aplicaciones utilizando el modelo de programación de ESRI, llamado ArcObjects. De esta manera, se ha desarrollado un proceso que pasamos a detallar:

1. El programa ArcEditor permite la configuración de hipervínculos asociados a entidades que pueden estar asociados a un documento o fichero, una URL o una macro en VBA. Así, se ha generado uno de estos hipervínculos asociado a la entidad de yacimientos, el cual llama a una macro almacenada en un módulo del propio documento. En la llamada se pasa un argumento que permite identificar unívocamente el yacimiento consultado.
2. Una vez la llamada es recibida en el módulo, se procede a la conexión con la Geodatabase que almacena los datos de yacimientos. Esta conexión se realiza mediante el modelo de programación ADO (Acces Data Object) de Microsoft, el cual está orientado a la conexión con bases de datos.
3. A partir de que la conexión se ha realizado con éxito, se construye una sentencia en lenguaje SQL que filtra los datos del yacimiento deseado. Los datos se devuelven en un objeto recordset que almacena la información. En este momento, los datos ya están disponibles para su visualización.
4. La visualización se realiza mediante una página Web, construida en lenguaje HTML. Para construir esta página, el módulo genera cada vez un documento en una ubicación específica a partir de un modelo de página generado con un editor de páginas HTML (Microsoft Publisher). El módulo, a partir de este modelo, inserta los datos del yacimiento para configurar la página definitiva. Una vez confeccionada, se llama a una función de Windows (ShellExecute) para ejecutar el programa asociado al formato HTML y de esta manera mostrar la página.
5. Cabe destacar que se han extraído de la documentación aportada por la consultora unas cuantas imágenes, las cuales se muestran en la página igualmente de manera dinámica.

A continuación se incluye el código generado, comentado convenientemente para una mejor comprensión:

```

'Declaración de variables públicas
Public DATOS As New ADODB.Connection
Public strConexionDATOS As String
Public UbicacionDATOS As String
Public Ruta As String
Public strYacimiento As String

'Declaración de function ShellExecute de la API de Windows
Private Declare Function ShellExecute Lib "shell32.dll" Alias _
"ShellExecuteA" (ByVal hwnd As Long, ByVal lpOperation As String, _
ByVal lpFile As String, ByVal lpParameters As String, _
ByVal lpDirectory As String, ByVal nShowCmd As Long) As Long

'Procedimiento inicial tras recibir el clic del usuario
Sub Inicio()
    '=====
    Ruta = TrataTextoRuta(ThisDocument.VBProject.FileName)    'Se guarda la ruta relativa del archivo VB
    UbicacionDATOS = Ruta & "/Vectorial/SIGARQ.mdb"
    If ConectaDATOS = True Then
        'Se intenta conectar a la Geodatabase con los datos de yacimientos
        Call Consulta    'En caso positive se inicia la consulta
    Else
        MsgBox "ERROR DE CONEXIÓN","No se ha podido conectar a la base de datos",vbCritical    'Mensaje de error y fin de programa
    End If
End Sub
    '=====

'Procedimiento que realiza la consulta de los datos
Sub Consulta()
    '=====
    Dim rsSelectAux As New ADODB.RecordSet
    Dim Texto As String
    Dim Entrada(539) As String
    Dim nCanalOUT As Integer
    Dim nCanalIN As Integer
    Dim LineaTexteIN As String
    'Construcción de la sentencia de consulta con el parámetro de nombre de yacimiento

```

```

rsSelectAux.Open "SELECT * FROM Jaciments WHERE JACIMENT="" & strJaciment & """, DATOS, adOpenKeyset, adLockOptimistic
'Se obtiene un número de canal libre para la lectura de archivo HTML modelo
nCanalIN = FreeFile
'Apertura del archivo HTML modelo
Open Ruta & "Pagina\indexBase.htm " For Input As nCanalIN ' Intentar la apertura
For i = 0 To 539 'Se recorre todo el fichero modelo
    Line Input #nCanalIN, LineaTexteIN
    Entrada(i) = LineaTexteIN 'Almacenamiento de las líneas del fichero en una matriz
Next i
Close 'Cierre del fichero modelo
'Se obtiene un número de canal libre para la escritura del fichero HTML nuevo
nCanalOUT = FreeFile ' Obtener un número de canal libre
'Apertura del archivo HTML nuevo
Open Ruta & "Pagina\Jaciment.html" For Output As nCanalOUT ' Intentar la apertura
'Se recorre la matriz con las líneas del fichero modelo y se escribe en el fichero nuevo, modificando con los valores del registro obtenido
las líneas específicas
For i = 0 To 539
    Select Case i
        Case 16
            Print #nCanalOUT, "<title>" & "Ficha del yacimiento " & rsSelectAux.Fields("JACIMENT").Value & "</title>"
        Case 205
            Print #nCanalOUT, "<p class=MsoTagline><span style=language:ES-MODERN'>" & "Yacimiento " & rsSelectAux.Fields("JACIMENT").Value &
"</span></p>"
        Case 280
            Print #nCanalOUT, "font-family:"; Trebuchet; MS; ";language:ES-MODERN'>INFORMACIÓN DE YACIMIENTOS</span></p>"
        Case 388
            Print #nCanalOUT, "<v:imagedata src=" & Chr(34) & "index_archivos/" & rsSelectAux.Fields("IMAGEN").Value & ".jpg" & Chr(34) & " o:title=" &
Chr(34) & "1" & Chr(34) & "/>"
        Case 393
            Print #nCanalOUT, "left:24px;top:672px;width:" & rsSelectAux.Fields("ANCHO").Value & "px;height:" & rsSelectAux.Fields("ALTO").Value &
"px"></span><![endif]><!--[[if gte vml 1]]><![if mso | ie]><v:shapetype"
        Case 425
            Print #nCanalOUT, "font-variant:small-caps;language:ES-MODERN'>Nombre del yacimiento</span></p>"
        Case 431
            Print #nCanalOUT, "language:ES-MODERN'>" & rsSelectAux.Fields("JACIMENT").Value & "</span></p>"
        Case 439
            Print #nCanalOUT, "font-variant:small-caps;language:ES-MODERN'>Ubicacion</span></p>"
        Case 445
            Print #nCanalOUT, "language:ES-MODERN'>" & "Coordenada X: " & rsSelectAux.Fields("X").Value & " / Coordenada Y: " &
rsSelectAux.Fields("Y").Value & " / Coordenada Z (Altitud): " & rsSelectAux.Fields("Z").Value & "</span></p>"
        Case 453
            Print #nCanalOUT, "font-variant:small-caps;language:ES-MODERN'>Municipio</span></p>"
        Case 459
            Print #nCanalOUT, "language:ES-MODERN'>" & rsSelectAux.Fields("MUNICIPI").Value & "</span></p>"
        Case 467
            Print #nCanalOUT, "font-variant:small-caps;language:ES-MODERN'>Tipología</span></p>"
        Case 473
            Print #nCanalOUT, "language:ES-MODERN'>" & rsSelectAux.Fields("TIPOLOGIA").Value & "</span></p>"
        Case 481
            Print #nCanalOUT, "font-variant:small-caps;language:ES-MODERN'>Cronología</span></p>"
        Case 487
            Print #nCanalOUT, "language:ES-MODERN'>" & rsSelectAux.Fields("CRONOLOGIA").Value & " / (" & rsSelectAux.Fields("Inici").Value & " - " &
rsSelectAux.Fields("Fi").Value & ")" & "</span></p>"
        Case 495
            Print #nCanalOUT, "font-variant:small-caps;language:ES-MODERN'>Descripción</span></p>"
        Case 501
            Print #nCanalOUT, "language:ES-MODERN'>" & rsSelectAux.Fields("DESCRIPCIÓN").Value & "</span></p>"
        Case 509
            Print #nCanalOUT, "font-variant:small-caps;language:ES-MODERN'>Actuaciones</span></p>"
        Case 515
            Print #nCanalOUT, "language:ES-MODERN'>" & rsSelectAux.Fields("ACTUACIONES").Value & "</span></p>"
        Case 523
            Print #nCanalOUT, "font-variant:small-caps;language:ES-MODERN'>Bibliografo</span></p>"
        Case 529
            Print #nCanalOUT, "language:ES-MODERN'>" & rsSelectAux.Fields("BIBLIOGRAF").Value & "</span></p>"

```

```

        Case Else
            Print #nCanalOUT, Entrada(i)
        End Select

    Next i
    Close
    Dim res As Long
'Se lanza la apertura del fichero con su programa mediante la función ShellExecute
    res = ShellExecute(Application.hwnd, "Open", Ruta & "Pagina\Jacimiento.html", vbNullString, vbNullString, 1)
    MsgBox res
    rsSelectAux.Close
End Sub
=====

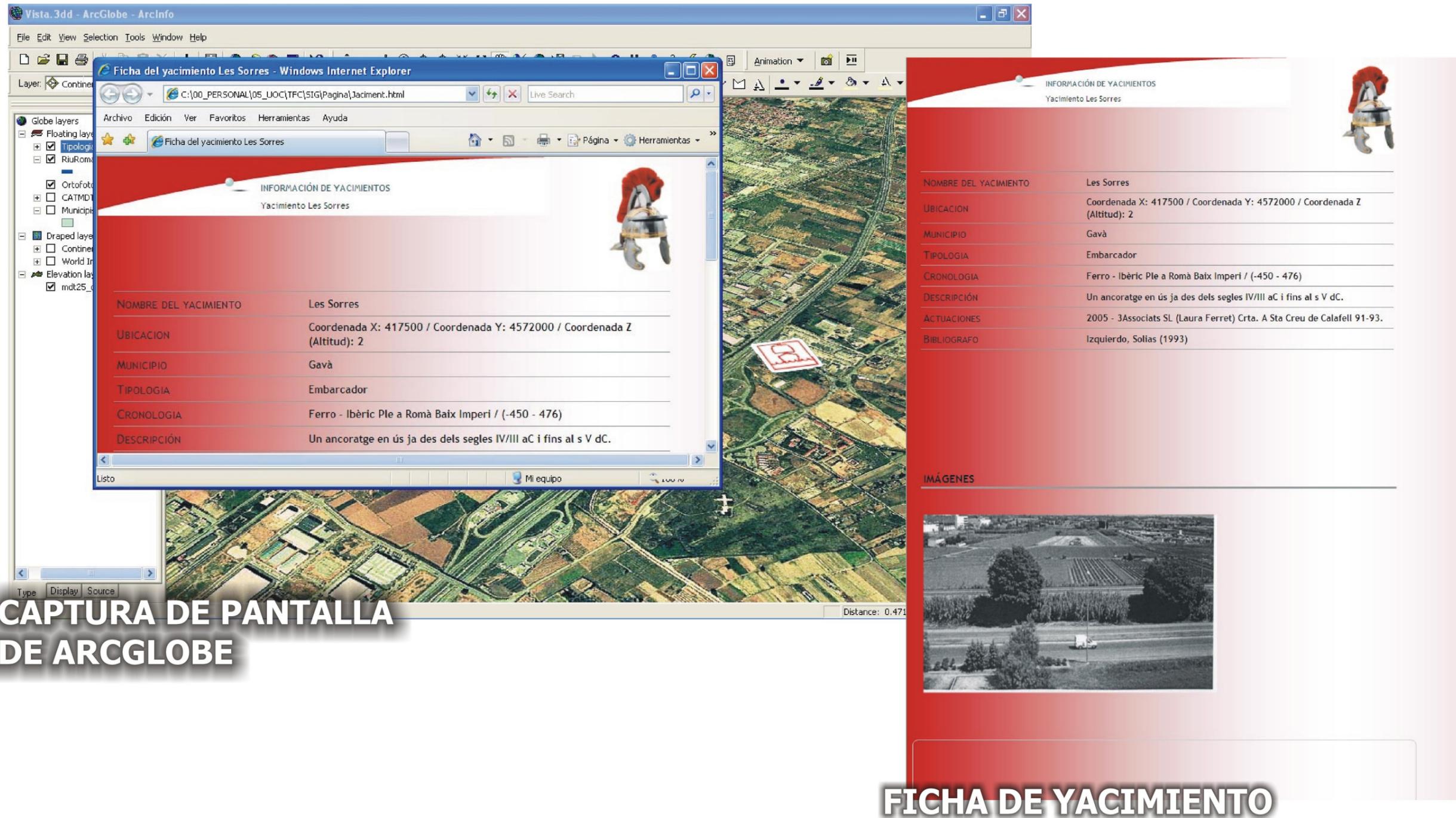
'Función específica para realizar el tratamiento de un texto y obtener la ruta relativa del fichero VB
Function TrataTextoRuta(strRuta)
    Dim i As Integer
    TrataTextoRuta = strRuta
    For i = 0 To Len(strRuta)
        If Mid(strRuta, Len(strRuta) - i, 1) = Chr(92) Then
            TrataTextoRuta = Mid(strRuta, 1, Len(strRuta) - i)
            Exit Function
        End If
    Next i
End Function
=====

'Función específica de conexión a la base de datos Access mediante ADO de Microsoft
Function ConectaDATOS()
    On Error GoTo da
    If DATOS.State = adStateClosed Then
        strConexionDATOS = "Provider=Microsoft.Jet.OLEDB.4.0;Data Source=" & UbicacionDATOS
        DATOS.Open strConexionDATOS
    End If
    ConectaDATOS = True
    Exit Function
da:
    ConectaDATOS = False
End Function
=====

'Procedimiento de captura del clic del usuario mediante la función Hiperlink de ArcObjects
Sub Hiperlink(pLink, pLayer)
    Dim pHyperlink As IHyperlink
    Set pHyperlink = pLink
    strJacimiento = pHyperlink.Link
    Dim pFLayer As IFeatureLayer
    Set pFLayer = pLayer
    Call Inicio
End Sub
=====

```

El resultado del proceso es el que se muestra en la figura adjunta.



**CAPTURA DE PANTALLA DE ARCGLOBE**

**FICHA DE YACIMIENTO**

Figura XXIV. Interactividad de las vistas en 3D. Ficha de yacimiento dinámica

## 5.4.2 GENERACIÓN DE PERFILES DEL TERRENO

La generación de los perfiles del terreno se ha llevado a cabo gracias a la extensión funcional 3D Analyst de ArcGIS de ESRI. Esta dispone de una funcionalidad específica para solventar esta problemática.

Esta herramienta fundamenta el resultado en la especificación de un modelo digital de elevaciones de referencia. En este caso, se ha habilitado el MDT con paso de malla de 10 metros, el cual nos aportará la máxima resolución de la coordenada Z (altura).

A continuación se muestra un mapa que localiza sobre la zona de estudio los tres perfiles realizados.

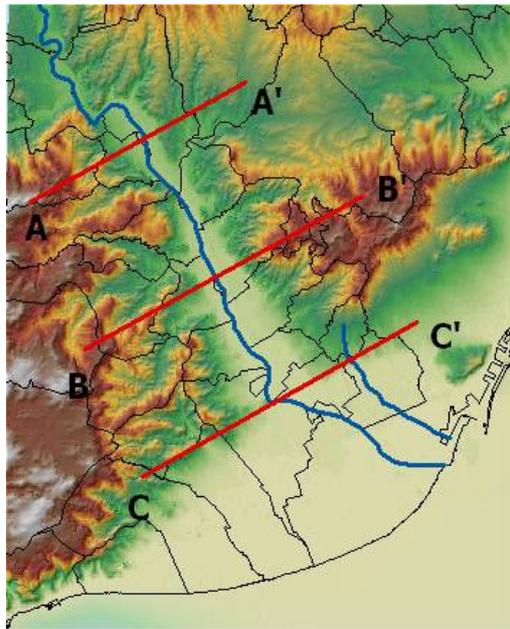


Figura XXV. Localización de los perfiles del terreno generados sobre la zona de estudio

Igualmente, a continuación se muestran los perfiles del terreno generados.



Figura XXVI. Perfil del terreno entre los puntos A y A'



Figura XXVII. Perfil del terreno entre los puntos B y B'

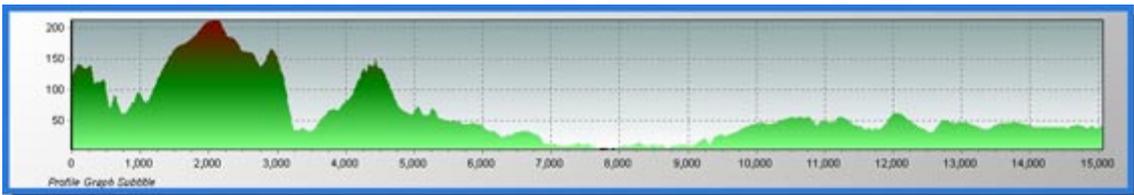


Figura XXVIII. Perfil del terreno entre los puntos C y C'

### 5.4.3 GENERACIÓN DE VUELOS VIRTUALES EN LA ZONA DE ESTUDIO

Dentro de las actividades relacionadas con el tratamiento de la información en 3 dimensiones, se ha llevado a cabo la confección de un vuelo virtual de la zona de estudio. Ésta es una de las opciones que tiene disponible el software 3D utilizado, ArcGlobe.

En este sentido, la herramienta dispone de diversas maneras de acometer esta función. Por un lado se puede indicar la generación del vuelo a partir del dibujo de una línea o sendero sobre el mapa, a la que se acompañará de la preceptiva configuración relacionada con la altitud del vuelo, el ángulo de inclinación y otros parámetros. La opción escogida ha sido la que permite simular el vuelo de un pájaro sobre el terreno. De esta manera, el usuario puede controlar en todo momento la altura, la velocidad y la dirección del vuelo.

El resultado se ha almacenado como un video, el cual se adjunta como entregable de este trabajo final de carrera.

## 5.5 ANÁLISIS CONJUNTO DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO LLOBREGAT Y LA UBICACIÓN DE LOS YACIMIENTOS

El análisis de la cuenca hidrográfica del río Llobregat objeto de este trabajo se centra principalmente en la identificación de las láminas de inundación del río en la época romana, en la zona de estudio (ver capítulo 6.1 – Consideraciones generales) para poder posteriormente contrastar los resultados obtenidos con la función y ubicación de los yacimientos arqueológicos.

La manera de abordar esta problemática se ha fundamentado en la adopción de una metodología de trabajo largamente utilizada para la delimitación de estas láminas a partir del análisis conjunto de aspectos meteorológicos, geomorfológicos e hidrológicos.

### 5.5.1 DETALLE DE LA METODOLOGÍA EMPLEADA

La guía metodológica empleada para la resolución de este trabajo es idéntica a la utilizada por la Agencia Catalana del Agua para el desarrollo del proyecto de "Delimitación de zonas inundables para la redacción del Plan de emergencias de inundación de Cataluña (INUNCAT)" redactado en el año 2.001. Este proyecto trata en detalle aspectos metodológicos esenciales como son el estudio de la hidrología e hidráulica de los cauces, la geomorfología de las cuencas y los puntos críticos.

Para la resolución de nuestro caso, se ha convenido centrarnos en las siguientes actividades:

- ❖ Estudio hidrológico para la determinación de los caudales de avenida
- ❖ Estudio hidráulico y geomorfológico de delimitación a escala 1:10.000 de las zonas inundables del tramo bajo del río Llobregat

A continuación se presenta el diagrama de proceso que representa la metodología empleada:

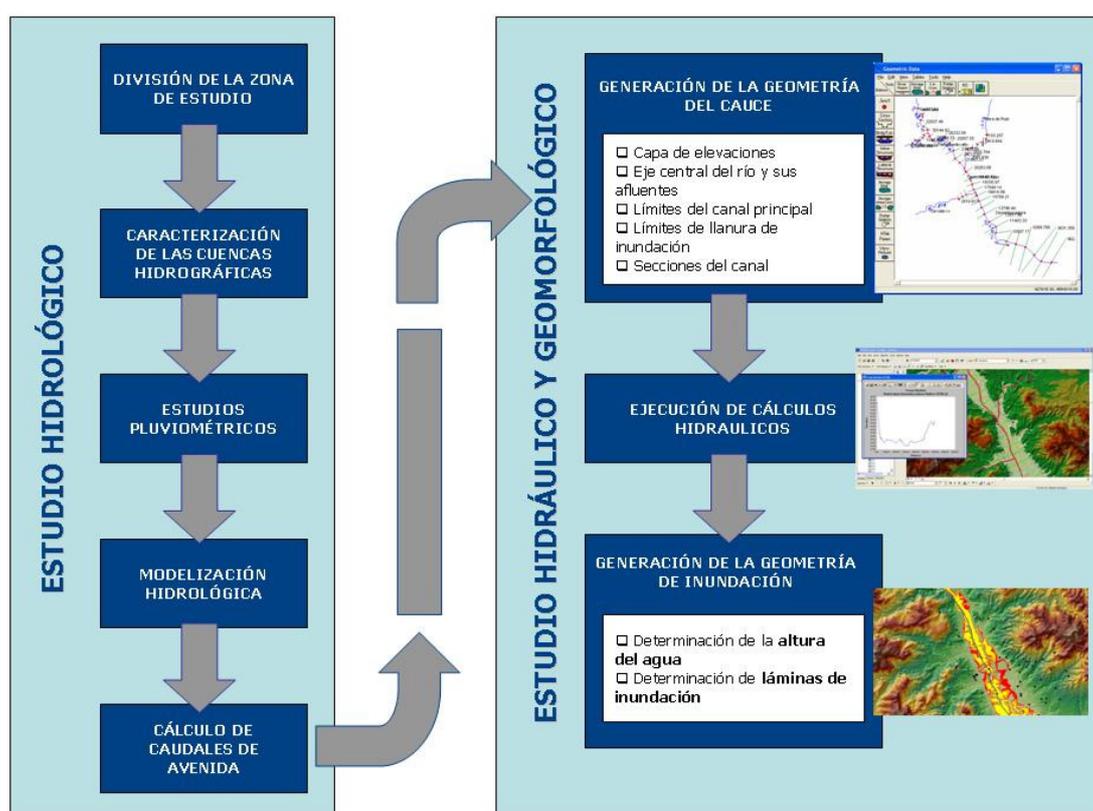


Figura XXIX. Diagrama de proceso de la metodología empleada para la determinación de las láminas de inundación

#### 5.5.1.1 ESTUDIO HIDROLÓGICO

Este estudio tiene por objeto determinar los caudales de avenida representativos de la zona de estudio para diversos periodos de retorno. Se entiende por caudal máximo de avenida correspondiente a un período de retorno de T años, aquél volumen de agua registrado en un momento instantáneo que sólo es superado una vez cada T años.

La realización de este estudio conlleva la ejecución de tareas de complejidad elevada que requieren de la disponibilidad de abundante información específica. Ante la imposibilidad de disponer de la información con el nivel de detalle deseado que garantice la ejecución de estas tareas en un tiempo breve para cumplir los plazos del presente trabajo, se ha convenido adoptar los resultados obtenidos por el proyecto citado con anterioridad. Con todo, éstos han sido modificados según la formulación de hipótesis que persiguen acercar las condiciones del estudio al estado que podrían tener en la época romana.

Para una mejor comprensión de los resultados y las modificaciones propuestas, se aporta una breve explicación del proceso seguido para la determinación de los caudales de avenida:

- ❖ División de la zona de estudio
  - ⇒ Las cuencas internas de Cataluña se dividen en 288 subcuencas, englobando completamente las pertenecientes a la zona de estudio
- ❖ Caracterización de las cuencas
  - ⇒ Se caracterizan las subcuencas para prever su comportamiento ante episodios de lluvia intensa. El objetivo último es calcular variables como la escorrentía superficial que puede definirse como la parte del agua de precipitación que discurre por la superficie de la tierra hacia corrientes u otras aguas superficiales y el tiempo de concentración que puede definirse como el tiempo necesario para que el agua de lluvia caída en el punto más alejado de la sección de desagüe de una cuenca llegue a dicha sección. Los parámetros estudiados para la realización de estos cálculos son:
    - Superficie
    - Pendiente
    - Geología
    - Uso del suelo
    - Edafología
    - Cubierta vegetal
- ❖ Estudios pluviométricos
  - ⇒ Se persigue la caracterización cuantitativa del régimen de lluvias para lo que se consideran los siguientes aspectos:
    - Los valores de la precipitación máxima en 24 horas en función del periodo de retorno
    - La intensidad de las lluvias en función de su duración
    - Generación de histogramas característicos o de cálculo
- ❖ Modelización hidrológica de las cuencas y cálculo de caudales de avenida
  - ⇒ Se usa un modelo de simulación para el cálculo de caudales de avenida basado en el programa de cálculo HEC-HMS, desarrollado y mantenido por el Centro de Ingeniería Hidrológica del ejército de los Estados Unidos

Así, analizando la documentación del proyecto INUNCAT, se han determinado los puntos a los que se han asociado **valores de caudales de avenida que son representativos de la zona de estudio**. Igualmente, se ha determinado utilizar los **periodos de retorno de 25, 100 y 500 años** por ser éstos suficientemente representativos en función del objetivo del presente trabajo.

Finalmente, se ha aplicado un factor de corrección a los caudales, **incrementando estos un 50%** a partir de las siguientes consideraciones:

- ❖ Los caudales obtenidos por el estudio han sido calculados tomando en consideración el periodo histórico de lluvias que abraza buena parte del siglo XX. Se ha asumido, a partir de las hipótesis de cambio climático, que el régimen de lluvias en el periodo romano era mayor en volumen al actual.
- ❖ Igualmente, la ocupación del suelo ha cambiado sustancialmente desde la época romana. Así, se ha trabajado con la hipótesis de que un porcentaje mucho más alto del suelo que el actual estaba ocupado por bosques frondosos, pastos y terreno agrícola.
- ❖ Al hilo de lo anterior, se ha dado por sentado la inexistencia de las infraestructuras hidráulicas existentes en la actualidad (embalses, puentes, azudes, derivaciones...) en la época romana. Ésta quizás es la hipótesis de mayor impacto sobre la corrección adoptada puesto que la ausencia de infraestructuras modifica considerablemente los parámetros hidráulicos del cauce que condicionan enormemente la velocidad del agua.

A continuación se muestra la tabla de los caudales de avenida ya modificados, según los periodos de retorno adoptados:

Código de referencia de punto INUNCAT	Tramo	Periodo de retorno de 25 años	Periodo de retorno de 100 años	Periodo de retorno de 500 años
LLO.A.5	Llobregat hasta Anoia	2193.9	4025.7	7853.1
10088	Anoia completo	100.8	204.45	368.25
Llob 16	Llobregat entre Anoia y Rubi	2187.15	4025.25	7834.5
10091	Rubí completo	231.75	377.4	581.4
Llob 17	Llobregat entre Rubi y Cervello	2263.8	4245	8253.75
10093	Cervello completo	166.8	307.35	516.6
Desembocadura	Llobregat hasta desembocadura	2319.15	4477.95	8844

Tabla V. Caudales máximos de avenida usados para la determinación de zonas de inundación. Valores en metros cúbicos por segundo

### 5.5.1.2 ESTUDIO HIDRÁULICO Y GEOMORFOLÓGICO

El objetivo de este estudio es determinar geográficamente las zonas adyacentes al cauce principal del río Llobregat que son susceptibles de ser ocupadas por el agua en episodios de avenida o crecida según los periodos de retorno determinados. Este estudio, a diferencia del anterior más teórico y basado en el análisis de datos estadísticos, se fundamenta en mayor medida en el **análisis de la componente espacial y el terreno** por lo que se ha hecho un uso intensivo de las herramientas SIG, incluyendo los modelos matemáticos HEC-RAS y HEC-GeoRAS (ver apartado 5.2)

A continuación se detalla el proceso llevado a cabo para la realización del estudio:

- ❖ Generación de capas geográficas RAS con el componente HEC-GeoRAS
  - ⇒ La herramienta HEC-RAS necesita de la definición de los elementos geométricos que delimitan la zona y el cauce a estudiar. De esta manera, se han definido diversas entidades geométricas

mediante la herramienta HEC-GeoRAS para su posterior exportación a un fichero de intercambio entendible por HEC-RAS:

- Capa de elevaciones
  - Esta entidad será la que determinará en gran medida la sensibilidad de los cálculos geomorfológicos. Para el caso que nos ocupa se ha convenido utilizar el Modelo Digital de Elevaciones de mayor definición generado, el de paso de malla de 10 metros. Siguiendo las recomendaciones del programa GeoRAS, se ha convertido el MDE a *TIN* o Red de Triangulos Irregulares (ver capítulo 3.3.1.1) mediante el uso de herramientas propias de ArcGIS Spatial Analyst
- Eje central del río principal y sus afluentes
  - Se ha convenido usar como entidad de base la digitalizada que representa el río en la época romana. A partir de ésta, se ha generado una nueva entidad tramificada para adecuar la geometría a la disponibilidad de datos de caudal de avenida obtenidos del estudio hidrológico. Así, se han obtenido cuatro tramos para el cauce principal del río Llobregat (alto, medio-alto, medio-bajo y desembocadura) y tres afluentes principales (Anoia, Riera de Rubí y Riera de Cervelló)
  - Posteriormente y mediante las herramientas propias de GeoRAS, se ha asignado al río de codificación y nomenclatura a la vez que se le ha dotado de topología y se han obtenido las distancias necesarias para permitir cálculos posteriores.
- Límites del canal principal del cauce
  - Estos límites son utilizados para diferenciar claramente entre el canal principal por donde discurren normalmente las aguas de la llanura de inundación. De esta manera, se han digitalizado estos límites con la ayuda del TIN generado y las ortofotos color de escala 1:25.000, tanto para la margen derecha como la izquierda de los cauces identificados.
- Límites de la llanura de inundación
  - Al hilo de la entidad anterior, se han digitalizado los límites de la llanura de inundación que normalmente se encuentra adyacente al canal principal del río.
- Secciones
  - Un punto determinante para la realización de los análisis posteriores es la obtención de las **secciones transversales del cauce**. Con la herramienta GeoRAS este trabajo se realiza automáticamente a partir de la digitalización de las líneas en planta que determinan la ubicación de estas secciones.

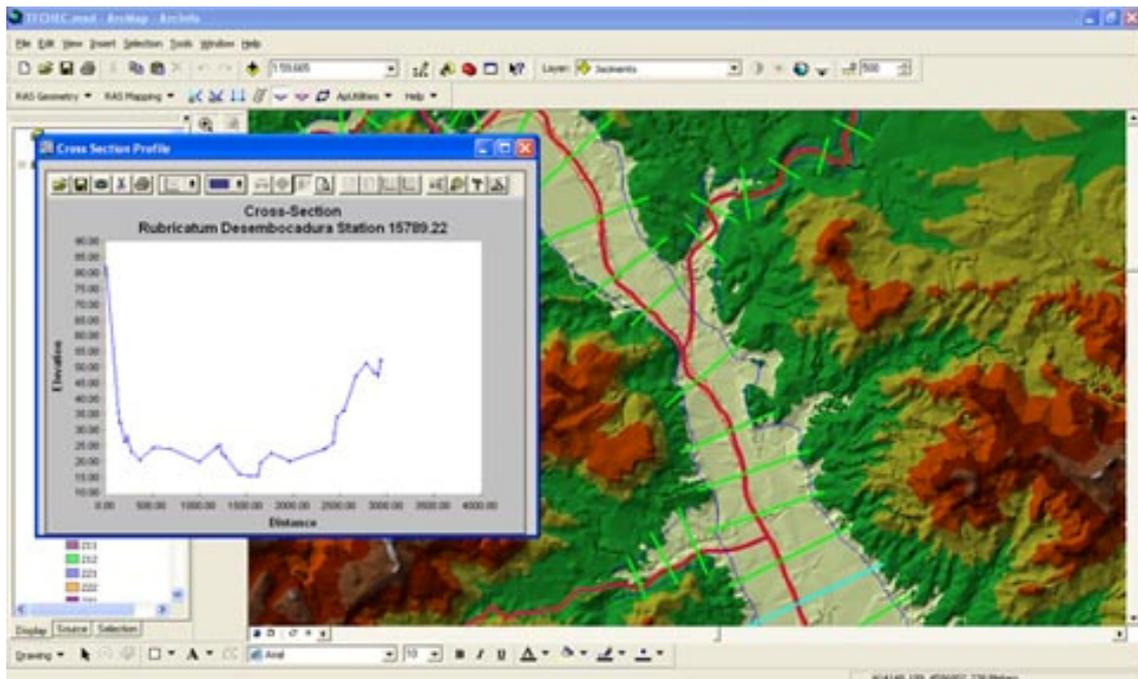


Figura XXX. Secciones delimitadas con la herramienta HEC-GeoRAS

- Estas secciones son tratadas para adjudicarles la codificación que las relacione a los cauces, las ubique espacialmente de manera correcta y les agregue información relativa a la posición del canal principal y la llanura de inundación. Un punto importante en este paso es la generación de la entidad Secciones 3D, derivada de secciones y que se utilizará en los análisis posteriores, gracias a la adición de la altura a su definición.
- Como último paso previo a la exportación de la geometría, se ha asignado el coeficiente de Manning a cada uno de las secciones. Este coeficiente quiere determinar el índice de rugosidad de la sección, es decir, cuanta resistencia encontrará el agua para fluir libremente a su paso por la sección. Éste se ha calculado a partir de la modificación de la cartografía de usos del suelo obtenida del CORINE Land Cover del año 2000 según hipótesis de uso en la época romana.

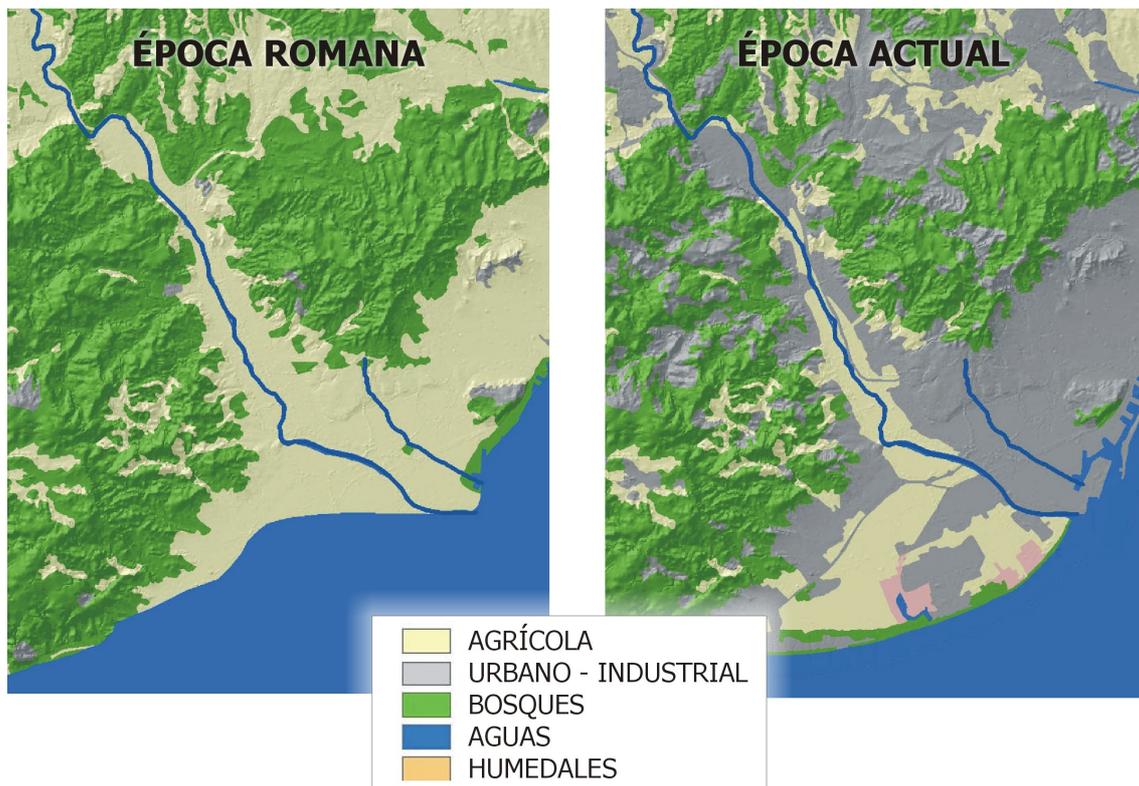


Figura XXXI. Hipótesis de cambio en los usos del suelo desde la época romana hasta la actualidad  
 Cabe destacar en este punto que la herramienta permite la definición de otras entidades igualmente valiosas (Puentes, áreas de inundación no efectivas, obstáculos...) pero no necesarias en el caso que nos ocupa.

❖ Ejecución de **cálculos hidráulicos con HEC-RAS**

- ⇒ A partir de la importación de la geometría de los cauces a estudiar, esta herramienta es la encargada de generar las variables y los análisis pertinentes para conjugarla con la componente hidráulica.
  - Revisión de la geometría importada
  - Especificación de la información de flujo y las condiciones de contorno
    - Se han introducido las variables obtenidas del estudio hidrológico, especificando los caudales de avenida asignados a cada tramo para cada uno de los periodos de retorno. Adicionalmente, se ha indicado la pendiente normal de la zona de estudio (0.001)
  - Ejecución del análisis
    - Para la ejecución del análisis se ha indicado un régimen uniforme de flujo subcrítico, por ser éste el más común y menos complejo para este tipo de estudios.

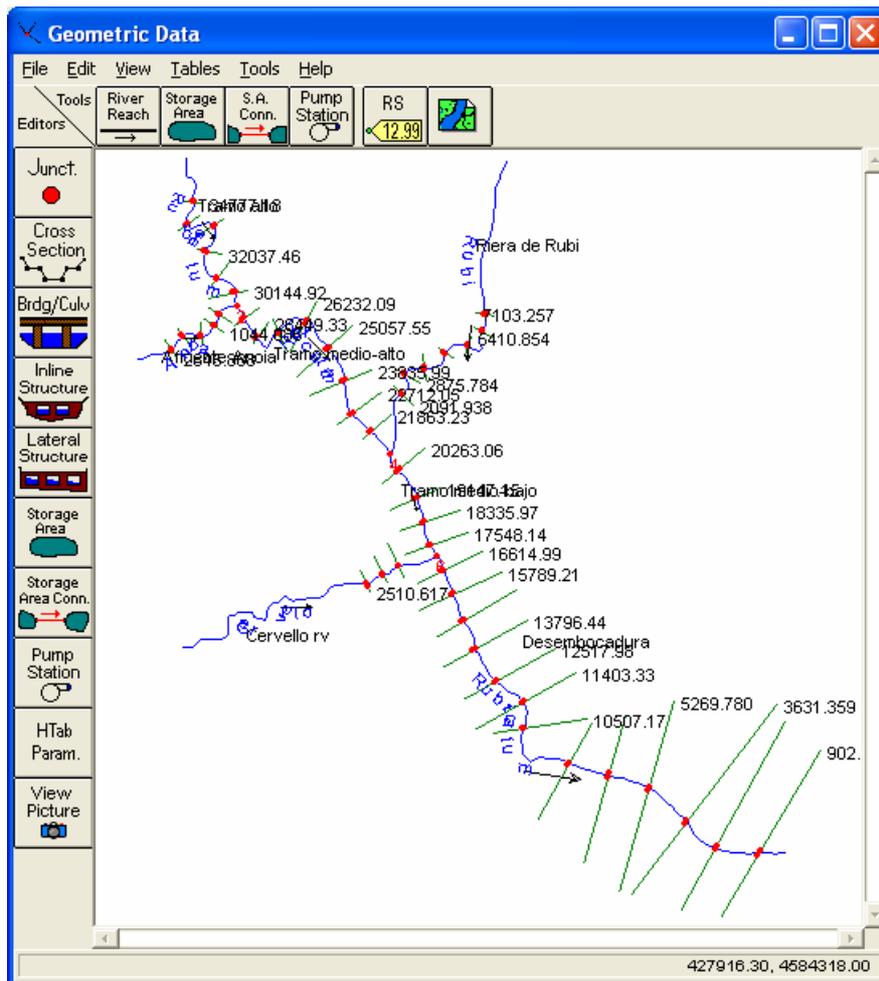


Figura XXXII. Geometría del cauce importada en HEC-RAS

- Exportación de fichero de resultados a HEC-GeoRAS
- ❖ Generación de **geometría de inundación con HEC-GeoRAS**
  - ⇒ Este programa es el responsable de generar las geometrías relativas a los resultados obtenidos con HEC-RAS.
    - Determinación de la altura del agua
      - Como paso previo a la generación de láminas de inundación, se obtiene la capa geográfica que representa la altura del agua en relación a la extensión total de la llanura de inundación para cada uno de los periodos de retorno.
    - Determinación de las láminas de inundación
      - Una vez se conoce la altura del agua, el programa calcula mediante su análisis conjunto con la altitud del terreno (TIN), las diferentes zonas que quedarían por debajo de la altura máxima que alcanza el agua en cada punto del terreno. Con esto se obtienen diferentes polígonos para cada uno de los periodos de retorno.

## 5.5.2 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

A continuación se muestra un mapa que muestra la extensión de las láminas de inundación para cada uno de los periodos de retorno y la ubicación de los yacimientos.

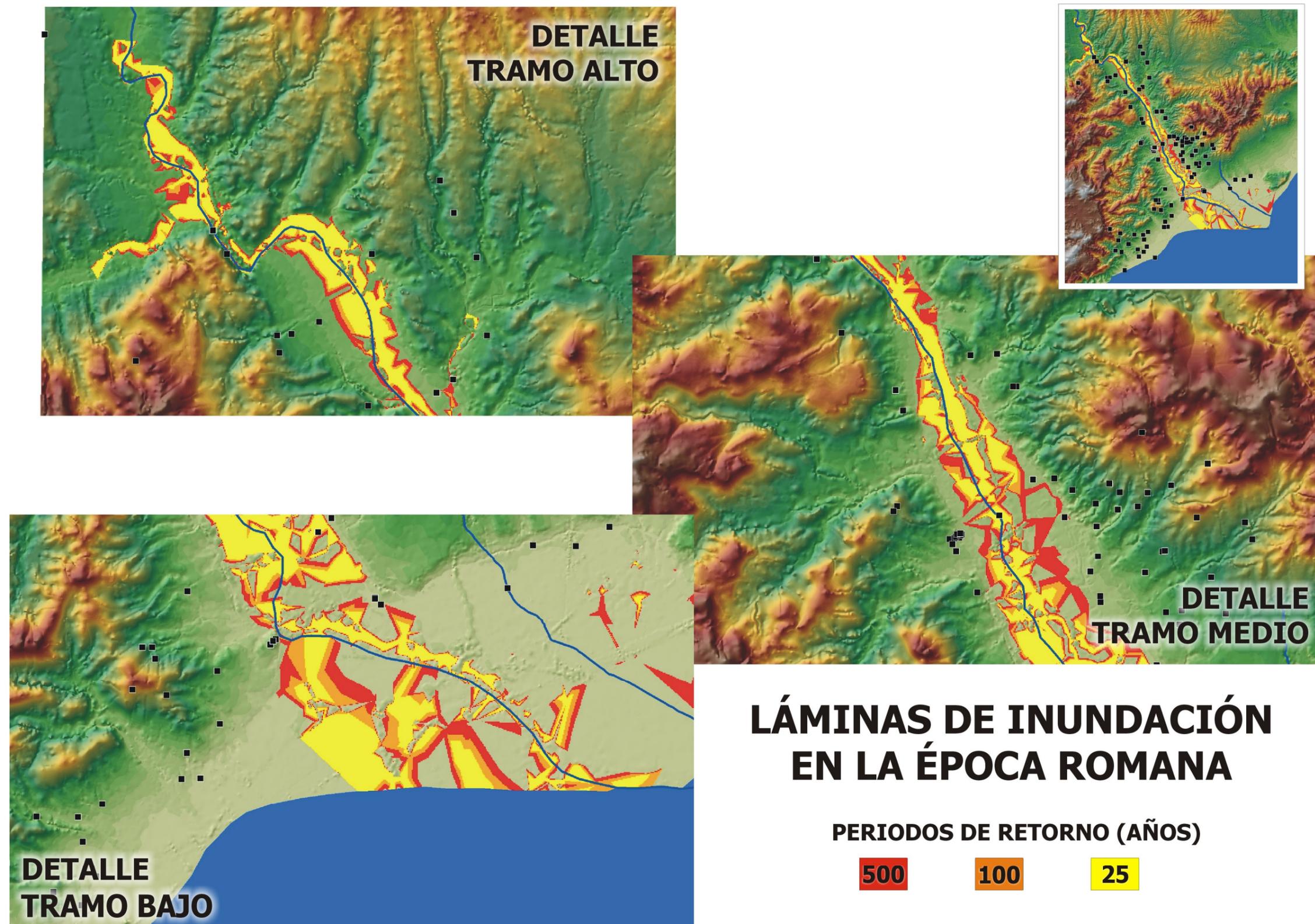


Figura XXXIII. Extensión de las láminas de inundación y ubicación de los yacimientos

Así, se ha llevado a cabo el análisis conjunto de la extensión total de las láminas obtenidas con respecto a la ubicación y función de los yacimientos arqueológicos generados durante el desarrollo del trabajo.

Las **conclusiones obtenidas** han sido:

- ❖ Existen cuatro yacimientos que se encuentran dentro del área de influencia de posibles inundaciones cada 25 o 100 años.
  - ⇒ Dos son evidentes, el puente del Diablo en Martorell y el embarcador del río Llobregat de Molins de Rei
  - ⇒ Los otros dos están ubicados en el municipio de Sant Joan Despí, dentro de la llanura de inundación del río. Éstos son por un lado la ermita de la Mare de Deu del bon viatge, tipificada como villa romana y el yacimiento cercano de la calle Cataluña, tipificada como silo. Se entiende que estos yacimientos estaban muy ligados a la realización de tareas agrícolas en la zona, muy indicada para el cultivo.
- ❖ Según las láminas obtenidas, podría existir un quinto yacimiento que se encuentra dentro del área de influencia de posibles inundaciones cada 500 años. Con todo, se ha comprobado que éste es el yacimiento de la Torre del Telégrafo de Castellbisbal a una altura de 150 metros sobre el nivel del mar, lo que de la impresión de deberse a un error provocado por la georeferenciación del punto o por la altimetría utilizada.
- ❖ El resto de yacimientos se encuentra fuera del área de influencia de las láminas de inundación obtenidas. **De esta manera, se ha podido comprobar como la ubicación general de los yacimientos más cercanos al río se encuentra en zonas elevadas más allá de la llanura de inundación.** Este es un punto muy a tener en cuenta si consideramos que casi el 50% de los yacimientos (50 de 100) se encuentran a menos de 1.500 metros del eje central del río en la época romana.
- ❖ Por lo que parecen apuntar las evidencias anteriores, los romanos eran conocedores del comportamiento del río y de sus crecidas. Así, optaban por asentarse en lugares que no se vieran afectados por posibles avenidas pero que se encontraran relativamente cerca del río, un vía importante para ellos a la hora de desplazarse y potenciar el comercio.

Además, durante la realización de los trabajos de delimitación de las láminas de inundación, se han sacado otro tipo de conclusiones más ligadas a la bondad de la metodología empleada. Estas son:

- ❖ Los resultados obtenidos dependen en gran medida de la calidad y el grado de detalle de los datos de altimetría. Cabe destacar que en estudios reales de delimitación de zonas inundables es imprescindible disponer de un levantamiento ex profeso de modelos digitales del terreno de los cauces a estudiar mediante el sistema LIDAR (*Light Intensity Detection Air Ranging*). Ésta es una tecnología que permite determinar la distancia desde un emisor láser a un objeto o superficie utilizando un haz láser pulsado. Al igual que ocurre con la tecnología radar, donde se utilizan ondas de radio en vez de luz, la distancia al objeto se determina midiendo el tiempo de retraso entre la emisión del pulso y su detección a través de la señal reflejada. Los sistemas LIDAR registran datos de posición (x, y) y de elevación (z) en intervalos predefinidos. Los datos resultantes dan lugar a una red de puntos muy densa, típicamente a intervalos de 1 a 3 metros.
- ❖ En nuestro caso se ha utilizado una altimetría basada en un MDE con un paso de malla de 10 metros, generado a partir de una malla de, no excesiva densidad, de cotas extraídas de la cartografía 1:5.000 del Instituto Cartográfico de Cataluña. De esta manera, la fiabilidad de las láminas obtenidas han de

ser evaluada desde la óptica de la aplicación de un proceso metodológico más que como un resultado en si

- ❖ Por último, se quiere ahondar en la gran distancia existente entre la ejecución de trabajos reales de este tipo y la aproximación metodológica a los mismos que representa esta memoria. En la actualidad esta temática se encuentra en plena efervescencia debido a la reciente publicación de la Directiva Europea relativa a la evaluación y gestión de riesgos de inundación, lo que ha provocado que en la actualidad se este desarrollando el Sistema nacional de cartografía de zonas inundables (SNCZI) liderado por el Ministerio de medio Ambiente, medio rural y marino del Gobierno Español.

# 6

## CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

---

Los objetivos marcados al inicio del trabajo, tanto generales como específicos, han sido alcanzados con éxito. En este sentido y como seguramente se desprenderá de la lectura detallada de la presente memoria, se ha puesto un especial énfasis en la resolución detallada de las actividades prácticas específicas, lo que ha derivado frecuentemente en labores de documentación, análisis e interpretación de conceptos diversos de SIG, cartografía y otras materias asociadas.

Se quiere dejar constancia en este apartado por un lado de la ventaja que ha supuesto disponer de conocimientos previos de Sistemas de Información Geográficos acumulados durante mi experiencia laboral. Frecuentemente, estos conocimientos han permitido obtener una mayor agilidad a la hora de definir y enfocar los trabajos técnicos, lo que ha supuesto un tiempo precioso para realizar pruebas y versiones diferentes a la hora de afrontar una misma problemática.

Por otro lado, se considera que el uso (previa petición a la consultora) de la herramienta de SIG ArcGIS Desktop de ESRI, en vez del programa GEOMEDIA Professional distribuido por la consultora, ha evitado el encontrar los errores de programa con los que se han encontrado otros compañeros de curso. Así, se ha podido seguir con la planificación prevista sin contratiempos técnicos, ni cambios de objetivos a medio trabajo.

Brevemente, se remarcan a continuación las principales conclusiones obtenidas durante el desarrollo del trabajo:

- ❖ Se ha vuelto a comprobar el enorme potencial que tiene la tecnología SIG en el escenario tecnológico actual. Su asombrosa capacidad de análisis geoespacial, sus posibilidades de integración con otras tecnologías y su capacidad gráfica, son solo algunos aspectos que confieren a esta tecnología de un valor añadido no equiparable por ninguna otra. En este sentido, se considera al SIG como un perfecto elemento vertebrador de los sistemas de información de una organización al poder actuar como una verdadera puerta de entrada y marco de trabajo de las múltiples tecnologías que con él pueden integrarse.
- ❖ Tampoco dejara nunca de sorprender la vertiginosa evolución de Internet como fuente inagotable de información. Pese a que posiblemente cada día es necesario destinar mayor tiempo a discriminar esta información, el elevado ratio coste-beneficio es hoy por hoy incuestionable.
- ❖ A nivel técnico, se puede afirmar que ArcGIS Desktop es, en general, una muy buena herramienta. Gracias a la experiencia en el manejo de ésta y la tecnología GEOMEDIA, y pese a que se ha decidido trabajar con los productos del fabricante ESRI, se considera que ambos productos cumplen sobradamente los requisitos técnicos necesarios para abordar problemáticas como las expuestas. Con todo, el trabajo con la componente en 3D ha evidenciado que, todavía hoy, el uso de la tecnología SIG requiere un análisis previo de capacidad hardware para evitar engorrosas esperas provocadas por los tiempos de proceso de algunos análisis geográficos.

La propuesta de nuevos trabajos que representen la evolución de los detallados en la presente memoria, se ha llevado a cabo desde la óptica de una mejora continua de la información, de la visualización y de los análisis que se deriven de estas acciones. Así, se propone a grandes rasgos la consolidación de los trabajos realizados por delante de la identificación de nuevos que abarquen otras subáreas de conocimiento, tanto tecnológicas (SIG) como científicas (arqueología).

Las tareas propuestas son:

- ❖ Campaña de campo de replanteo de coordenadas de yacimientos
  - ⇒ Se fundamenta en obtener un mayor grado de detalle de los yacimientos en cuanto a la rigurosidad de su ubicación geográfica. Éste ha sido un aspecto que ha generado cierta incertidumbre a la hora de analizar los resultados obtenidos de la determinación de las láminas de avenida.
- ❖ Reprogramación de la interactividad de las vistas 3D
  - ⇒ Más que reprogramación se trataría del rediseño de la arquitectura tecnológica y funcional de la interactividad desarrollada en las vistas en 3 dimensiones, con el objetivo de profundizar en las capacidades de visualización que permite ArcGIS Desktop. Con esto, mejoraría sustancialmente toda tarea de difusión y divulgación de los datos.
- ❖ Profundización en la determinación de las láminas de avenida.
  - ⇒ Se propone realizar las siguientes acciones:
    - Revisión de los datos de base (usos del suelo, paleoclimatología...) mediante una labor intensa de documentación y análisis
    - Obtención y carga de un modelo digital de elevaciones LIDAR
  - ⇒ De esta manera, se aumentaría considerablemente la rigurosidad técnica del estudio. Con todo, se propone igualmente realizar un análisis económico previo para evaluar los beneficios que se obtendrían en relación de los previsible altos costes, principalmente en la obtención del MDE LIDAR.

# 7

## BIBLIOGRAFÍA

---

A continuación se relaciona la bibliografía consultada para la realización de la presente memoria:

- ❖ *Universitat Oberta de Catalunya. Planificación de proyectos.* Barcelona, Universitat Oberta de Catalunya, 2008.
- ❖ *Universitat Oberta de Catalunya. Indicaciones para la redacción de la memoria.* Barcelona, Universitat Oberta de Catalunya, 2008.
- ❖ *Real Academia Española de la Lengua. Diccionario de la lengua española Vigésima segunda edición* [<http://www.rae.es/rae.html>. Mayo 2008]
- ❖ *Varios autores. Wikipedia, the free encyclopedia* [<http://en.wikipedia.org/>, Mayo de 2008].
- ❖ *ESRI. The guide to Geographic Information Systems* [<http://www.gis.com/>, Mayo de 2008].
- ❖ *Ortiz, G. Sistemas de Información Geográfica: recursos y la mejor comunidad de usuarios* [<http://recursos.gabrielortiz.com/>, Mayo de 2008]
- ❖ *ICC Institut Cartogràfic de Catalunya* [<http://www.icc.cat/>, Mayo de 2008].
- ❖ *Ministerio de Fomento. Instituto Geográfico Nacional* [<http://www.ign.es/>, Mayo de 2008]
- ❖ *Ministerio de Fomento. Centro Nacional de Información Geográfica* [<http://www.cnig.es/>, Mayo de 2008]
- ❖ *The University of Melbourne DEM Theory* [<http://www.sli.unimelb.edu.au/gisweb> Mayo de 2008]
- ❖ *Tinoco Guevara, Roberto Definición y algunas aplicaciones de los sistemas de información geográfica* [<http://www.monografias.com> Mayo de 2008]
- ❖ *INETER – Instituto Nicaragüense de estudios territoriales Nociones de cartografía* [<http://www.ineter.gob.ni/Direcciones/Geodesia/> Mayo de 2008]
- ❖ *Nuñez Andrés, Amparo Definición y objetivos de un SIG* [<https://upcommons.upc.edu/revistes/bitstream/2099/1729/1/papersdelacatedra8-3.pdf> Mayo de 2008]
- ❖ *Bosque Sendra, Joaquín Sistemas de Información Geográfica* Madrid. Ediciones RIALP. Septiembre de 1997