

Fases típicas de un proyecto SIG

Respaldo de la información  
Captura de la información  
de la información

organización raster y la creación de una base de datos. El resultado es un Modelo Digital de Terreno (MDT) a partir de un Modelo Digital de Elevaciones (MDE) que permite realizar análisis de superficies (pendientes, curvas de nivel, etc.), mapas de contorno (líneas de nivel) y mapas de curvas de nivel.

El MDT se genera a partir de un Modelo Digital de Elevaciones (MDE) que permite realizar análisis de superficies (pendientes, curvas de nivel, etc.), mapas de contorno (líneas de nivel) y mapas de curvas de nivel. El MDT se genera a partir de un Modelo Digital de Elevaciones (MDE) que permite realizar análisis de superficies (pendientes, curvas de nivel, etc.), mapas de contorno (líneas de nivel) y mapas de curvas de nivel.

El MDT se genera a partir de un Modelo Digital de Elevaciones (MDE) que permite realizar análisis de superficies (pendientes, curvas de nivel, etc.), mapas de contorno (líneas de nivel) y mapas de curvas de nivel. El MDT se genera a partir de un Modelo Digital de Elevaciones (MDE) que permite realizar análisis de superficies (pendientes, curvas de nivel, etc.), mapas de contorno (líneas de nivel) y mapas de curvas de nivel.

El MDT se genera a partir de un Modelo Digital de Elevaciones (MDE) que permite realizar análisis de superficies (pendientes, curvas de nivel, etc.), mapas de contorno (líneas de nivel) y mapas de curvas de nivel. El MDT se genera a partir de un Modelo Digital de Elevaciones (MDE) que permite realizar análisis de superficies (pendientes, curvas de nivel, etc.), mapas de contorno (líneas de nivel) y mapas de curvas de nivel.

El MDT se genera a partir de un Modelo Digital de Elevaciones (MDE) que permite realizar análisis de superficies (pendientes, curvas de nivel, etc.), mapas de contorno (líneas de nivel) y mapas de curvas de nivel. El MDT se genera a partir de un Modelo Digital de Elevaciones (MDE) que permite realizar análisis de superficies (pendientes, curvas de nivel, etc.), mapas de contorno (líneas de nivel) y mapas de curvas de nivel.

El MDT se genera a partir de un Modelo Digital de Elevaciones (MDE) que permite realizar análisis de superficies (pendientes, curvas de nivel, etc.), mapas de contorno (líneas de nivel) y mapas de curvas de nivel. El MDT se genera a partir de un Modelo Digital de Elevaciones (MDE) que permite realizar análisis de superficies (pendientes, curvas de nivel, etc.), mapas de contorno (líneas de nivel) y mapas de curvas de nivel.

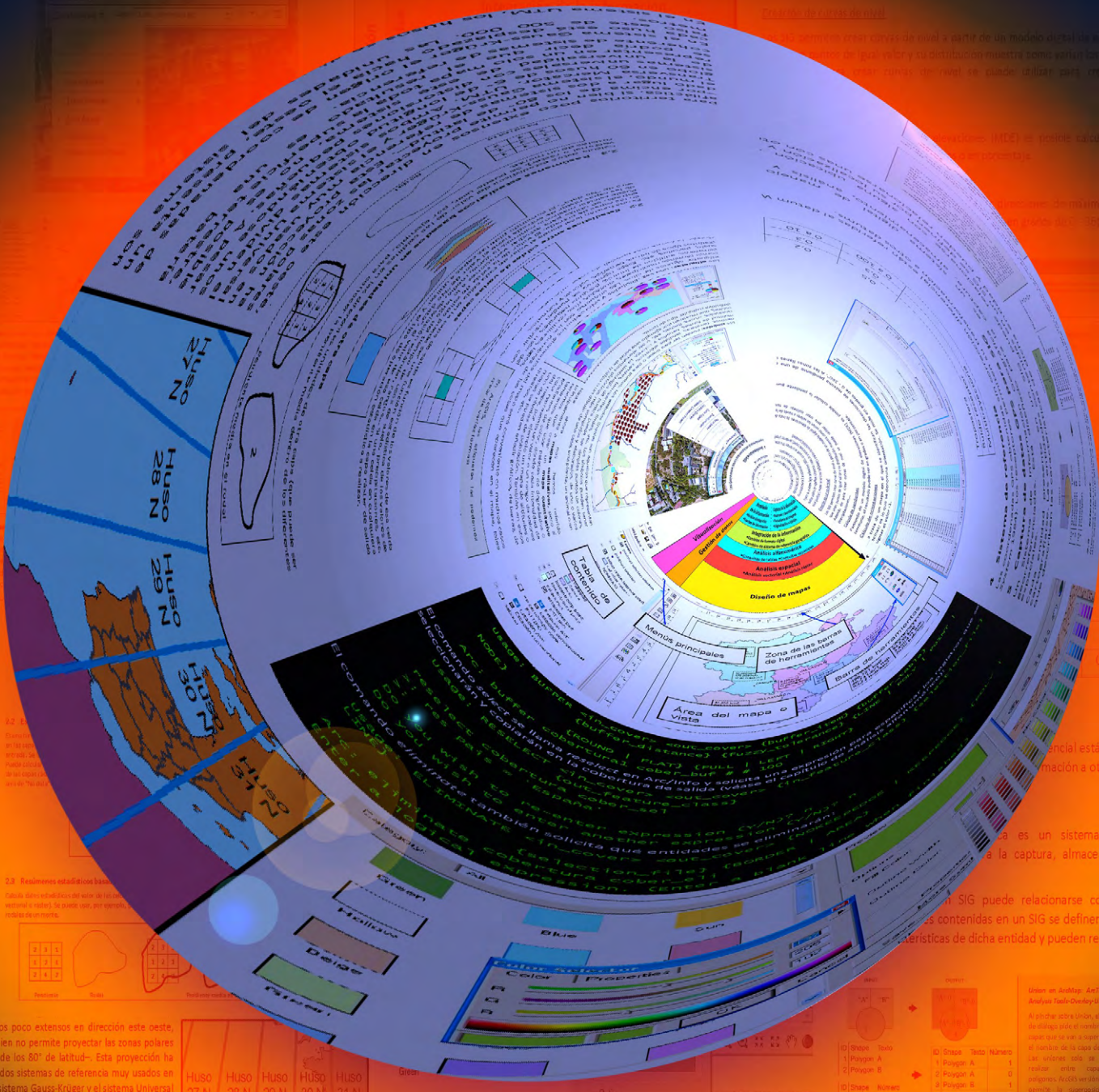
El MDT se genera a partir de un Modelo Digital de Elevaciones (MDE) que permite realizar análisis de superficies (pendientes, curvas de nivel, etc.), mapas de contorno (líneas de nivel) y mapas de curvas de nivel. El MDT se genera a partir de un Modelo Digital de Elevaciones (MDE) que permite realizar análisis de superficies (pendientes, curvas de nivel, etc.), mapas de contorno (líneas de nivel) y mapas de curvas de nivel.

El MDT se genera a partir de un Modelo Digital de Elevaciones (MDE) que permite realizar análisis de superficies (pendientes, curvas de nivel, etc.), mapas de contorno (líneas de nivel) y mapas de curvas de nivel. El MDT se genera a partir de un Modelo Digital de Elevaciones (MDE) que permite realizar análisis de superficies (pendientes, curvas de nivel, etc.), mapas de contorno (líneas de nivel) y mapas de curvas de nivel.

El MDT se genera a partir de un Modelo Digital de Elevaciones (MDE) que permite realizar análisis de superficies (pendientes, curvas de nivel, etc.), mapas de contorno (líneas de nivel) y mapas de curvas de nivel. El MDT se genera a partir de un Modelo Digital de Elevaciones (MDE) que permite realizar análisis de superficies (pendientes, curvas de nivel, etc.), mapas de contorno (líneas de nivel) y mapas de curvas de nivel.

El MDT se genera a partir de un Modelo Digital de Elevaciones (MDE) que permite realizar análisis de superficies (pendientes, curvas de nivel, etc.), mapas de contorno (líneas de nivel) y mapas de curvas de nivel. El MDT se genera a partir de un Modelo Digital de Elevaciones (MDE) que permite realizar análisis de superficies (pendientes, curvas de nivel, etc.), mapas de contorno (líneas de nivel) y mapas de curvas de nivel.

El MDT se genera a partir de un Modelo Digital de Elevaciones (MDE) que permite realizar análisis de superficies (pendientes, curvas de nivel, etc.), mapas de contorno (líneas de nivel) y mapas de curvas de nivel. El MDT se genera a partir de un Modelo Digital de Elevaciones (MDE) que permite realizar análisis de superficies (pendientes, curvas de nivel, etc.), mapas de contorno (líneas de nivel) y mapas de curvas de nivel.

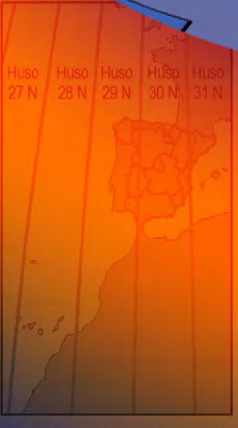


# LibroSIG: aprendiendo a manejar los SIG en la gestión ambiental

Para territorios poco extensos en dirección este oeste, cilíndrica, si bien no permite proyectar las zonas polares por encima de los 80° de latitud. Esta proyección ha sido usada en dos sistemas de referencia muy usados en el mundo, el sistema Gauss-Krüger y el sistema Universal Transversa Mercator, UTM. Ambos sistemas dividen el lobo en 60 husos de 6° de longitud obteniéndose unos sistemas universales con distorsiones pequeñas. A pesar de la universalidad de este sistema, no es posible presentar en un solo mapa toda la superficie terrestre, o podría decir que el resultado es una batería orientada de sistemas de referencia.

En el sistema Gauss-Krüger el origen de coordenadas de cada huso está desplazado hacia el oeste, presenta un seno este de 500 000. Las unidades del sistema son metros.

En el sistema UTM, los husos se dividen en dos mitades, norte y sur con respecto al ecuador, lo que incrementa el número de subsistemas de referencia a 120. El origen de coordenadas de los husos norte está en el ecuador, con un falso este de 500 000 y un falso norte de 0. Los husos sur tienen su origen también en el ecuador, con el mismo falso este y un falso norte de 10 000 000.



Adaptado de: Introducción al Software de Aplicación SIG en el Medio Ambiente, Ed. 2000, por el INIA.

Autores ordenados por volumen de contribución:

Santiago Mancebo Quintana

Emilio Ortega Pérez

Ana Cristina Valentín Criado

Belén Martín Ramos

Luis Martín Fernández

Coautores:

Alfredo Sánchez Vicente

Ana Pilar Espluga González de la Peña

Javier Catalán Herrero

Portada y contraportada realizadas por Valentín Criado, A. C.

1ª edición ®

© Los autores, 2008. Algunos derechos reservados.

Bajo licencia Creative Commons Reconocimiento-No Comercial-Sin Obra Derivada



(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/es/>)

Editado por los autores en Madrid, España

Como citar este libro:

Mancebo Quintana, S.; Ortega Pérez, E.; Valentín Criado, A. C.; Martín Ramos, B.; Martín Fernández, L. (2008) *LibroSIG: aprendiendo a manejar los SIG en la gestión ambiental*. Madrid, España, los autores.

Como citar un capítulo de este libro, e. g. el capítulo 5:

Martín Ramos, B.; Valentín Criado, A. C. (2008) *Gestión de datos*. En Mancebo Quintana, S.; Ortega Pérez, E.; Valentín Criado, A. C.; Martín Ramos, B.; Martín Fernández, L. (2008) *LibroSIG: aprendiendo a manejar los SIG en la gestión ambiental*. Madrid, España, los autores, cap. 5.

ISBN: 978-84-691-7370-1



# Introducción

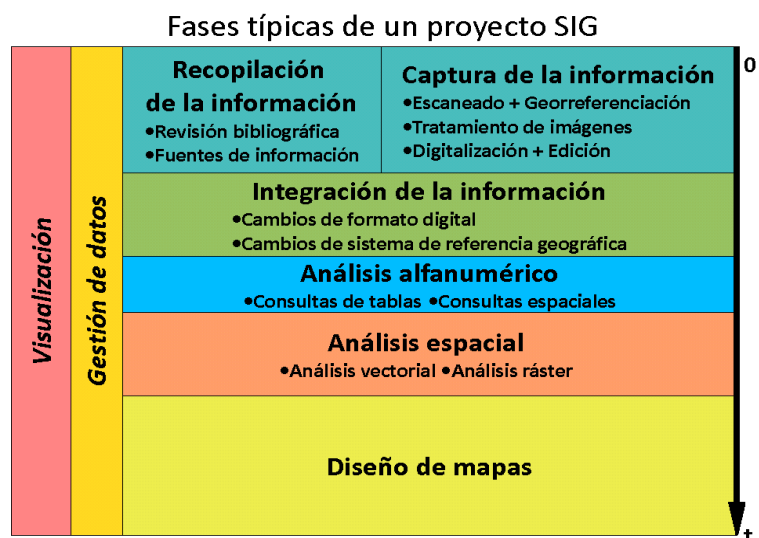
Este trabajo es el resultado de la recopilación de los apuntes de teoría asociados a las clases impartidas durante más de 10 años en los cursos de SIG del Departamento de Construcción y Vías Rurales de la Escuela de Montes de la Universidad Politécnica de Madrid. Estos cursos de postgrado comparten el objetivo de ofrecer unos conocimientos teórico-prácticos suficientes para poder realizar adecuadamente la cartografía ambiental presente en multitud de proyectos relacionados con la gestión ambiental. Aunque los cursos difieren en duración y perfil del alumno: estudiantes del último año de carrera, recién licenciados, desempleados y profesionales.

Al igual que en los cursos, el enfoque es eminentemente práctico, no se ha pretendido elaborar un libro teórico que abarque todos los aspectos de los SIG, sino que se trata de un material de apoyo para el aprendizaje de herramientas frecuentes en la gestión ambiental. Este libro se complementa con un libro de ejercicios que permite poner en práctica todas estas herramientas.

El SIG alrededor del cual han girado los cursos de los últimos años y este documento es ArcGIS, si bien, muchos de los conocimientos son extrapolables a otros SIG. Con el fin de facilitar este hecho, a lo largo del libro se ha usado el fondo blanco para redactar todo lo aplicable a cualquier SIG en general y un fondo verde para lo referente a ArcGIS (Desktop) en particular. Un tema que en los cursos se imparte en las últimas clases, el manejo de Arc/Info Workstation (paquete opcional de ArcGIS) se ha incluido desglosado en varios capítulos. En este SIG, las capacidades visuales son muy limitadas y la creación de mapas, la georreferenciación y la edición de capas son muy incómodas, por ello hemos optado por no incluirlas y sugerimos al lector que, tal y como hacemos nosotros, estos menesteres los realice con ArcGIS Desktop. Hemos optado por un fondo negro para redactar lo referente a Arc/Info Workstation.

Los capítulos están ordenados en parte por dificultad de aprendizaje y en parte por orden natural, y en su conjunto cubren todas las fases típicas de un proyecto SIG de gestión ambiental del territorio. El orden natural aparece en el gráfico, en el cual hemos intentado que la superficie de los recuadros sea proporcional al tiempo que se suele dedicar a cada tarea. Varios temas que aparecen en el esquema de proyecto cartográfico no están tratados en este documento: revisión bibliográfica, escaneado y tratamiento de imágenes; el estudio de este último se enmarca en una disciplina paralela, la teledetección.

- Capítulo 1: Los SIG y ArcGIS
- Capítulo 2: Visualización
- Capítulo 3: Diseño de mapas
- Capítulo 4: Análisis alfanumérico
- Capítulo 5: Gestión de datos
- Capítulo 6: Cambios de formato
- Capítulo 7: Sistemas de referencia
- Capítulo 8: Georreferenciación
- Capítulo 9: Digitalización y edición
- Capítulo 10: Digitalización con GPS-PDA
- Capítulo 11: Análisis vectorial
- Capítulo 12: Análisis ráster
- Capítulo 13: Análisis de redes
- Capítulo 14: Topología
- Capítulo 15: Fuentes de información



## Agradecimientos

Nos gustaría agradecer muy sinceramente a Isabel Otero Pastor el habernos dado la oportunidad y el apoyo que nos han permitido dar clase de SIG durante ya 10 años. Gracias también al Departamento de Construcción y Vías Rurales, a la ETSI de Montes y a la Universidad Politécnica de Madrid por potenciar la enseñanza de posgrado activamente, promocionando cursos, ofreciendo sus aulas y facilitando los trámites burocráticos.

Y también gracias a aquellos profesores que desviaron su carrera profesional en otras direcciones, pero cuyas ideas impregnan estos apuntes, Juan Marín Otero, Álvaro Sánchez de Medina Garrido, Sergio Fernández Balaguer y Mercedes García Domínguez.

Finalmente, y no menos importante, dedicar este libro a Doña Begoña, madre de Belén.

# Índice de contenidos

<b>Los SIG y ArcGIS</b> .....	<b>8</b>
1 Qué es un SIG.....	8
2 Tipos de SIG.....	8
3 Productos SIG en el mercado.....	9
4 Formatos digitales.....	10
5 Información alfanumérica.....	11
5.1 Sistemas de Gestión de Bases de Datos.....	11
6 ArcGIS.....	12
6.1 Primer contacto con ArcGIS.....	14
7 Arc/Info Workstation.....	15
7.1 Primer contacto con Arc/Info.....	15
<b>Visualización</b> .....	<b>17</b>
1 Visualización en ArcGIS.....	17
<b>Diseño de mapas</b> .....	<b>22</b>
1 Introducción.....	22
2 Preparación de las capas.....	23
3 El layout: diseño del mapa.....	25
<b>Análisis alfanumérico</b> .....	<b>29</b>
1 Consultas directas.....	30
2 Consultas gráficas.....	31
3 Consultas en la base de datos.....	32
4 Operaciones básicas de manejo de la base de datos en ArcGIS.....	34
5 Resumen de una tabla.....	35
6 Unir y relacionar tablas.....	36
7 Editar y modificar datos de una tabla en ArcGIS.....	37
8 Análisis alfanumérico con Arc/Info.....	40
<b>Gestión de datos</b> .....	<b>43</b>
1 Gestión de datos en ArcGIS: ArcCatalog.....	43
1.1 Estructura y funcionamiento.....	44
1.2 Elementos principales de una geodatabase que se pueden crear con ArcCatalog.....	45
<b>Cambios de formato</b> .....	<b>46</b>
1 Transformación de CAD a SIG.....	46
1.1 Transformación de CAD a SIG en ArcGIS.....	47
2 Transformación de otras capas SIG a ArcGIS.....	48
2.1 Transformación de archivos E00.....	48
2.2 Transformación de tablas a ArcGIS.....	48
2.3 Transformación de tablas de coordenadas a capas de puntos.....	49
2.4 Data Interoperability extension.....	49
<b>Sistemas de referencia</b> .....	<b>50</b>
1 Modelización de la superficie de la Tierra en dos dimensiones.....	50
1.1 Geoide y elipsoide.....	51
1.2 Datum.....	52
1.3 Proyección.....	52
2 Sistemas de referencia.....	53

2.1 Sistemas geodésicos.....	53
2.2 Sistemas proyectados.....	53
3 Cambios de sistema de referencia.....	55
3.1 Cambios de sistema de referencia en ArcGIS.....	56
4 Escala.....	57
4.1 Cambios de escala.....	57
5 Exactitud.....	58
<b>Georreferenciación.....</b>	<b>60</b>
1 Introducción.....	60
2 Pérdida de exactitud.....	60
3 Interpolación.....	61
4 Georreferenciación en ArcGIS.....	61
<b>Digitalización y edición.....</b>	<b>63</b>
1 Digitalización en ArcGIS 9.X.....	64
2 La digitalización modifica la exactitud.....	66
<b>Digitalización con GPS-PDA.....</b>	<b>67</b>
<b>Teoría GPS.....</b>	<b>68</b>
1 Introducción al GPS.....	68
1.1 Funcionamiento del GPS.....	68
2 Tipos de medición.....	70
3 Corrección diferencial (DGPS).....	72
4 Sistema de referencia.....	72
5 Captura de datos GPS para SIG.....	72
5.1 Esquema de un día de trabajo en campo con GPS.....	73
6 Bibliografía.....	74
6.1 Páginas web interesantes.....	74
<b>Digitalización con ArcPad.....</b>	<b>76</b>
1 Tabla de contenidos.....	76
2 Realizar mediciones.....	76
3 Configuración.....	76
4 Toma de posiciones con el GPS.....	78
5 Replanteo o Navegación.....	78
6 Crear capas nuevas.....	78
7 Captura de datos nuevos y edición.....	78
<b>Análisis Vectorial.....</b>	<b>80</b>
1 Análisis vectorial en ArcGIS: ArcToolbox.....	80
2 Algunas Herramientas para el análisis vectorial.....	81
2.1 Dissolve.....	81
2.2 Append y Merge.....	82
2.3 Clip.....	82
2.4 Union.....	83
2.5 Intersect.....	83
2.6 Buffer.....	84
3 Otros comandos de ArcGIS 9.x.....	84
3.1 Select.....	84
3.2 Eliminate.....	84
3.3 Near.....	85
4 Análisis vectorial con Arc/Info.....	86
<b>Análisis Ráster.....</b>	<b>88</b>
1 Conversión de formatos.....	89

1.1 Conversión vectorial a ráster.....	89
1.2 Conversión de ráster a vectorial.....	89
2 Operaciones estadísticas.....	89
2.1 Estadísticas entre celdas de una misma capa.....	89
2.2 Estadísticas entre celdas de varias capas.....	90
2.3 Resúmenes estadísticos basados en unidades de otra capa.....	90
3 Interpolación.....	90
4 Cálculo de densidades.....	91
5 Reclassificaciones.....	91
6 Operaciones de análisis.....	91
7 Cálculo de distancias.....	91
8 Análisis de superficies.....	92
9 Ráster en ArcGIS.....	93
9.1 Generalidades.....	93
9.2 Comandos.....	93
10 Análisis ráster en Arc/Info.....	94
10.1 Acceso al módulo ráster.....	94
10.2 Comandos.....	94
10.3 Operaciones de análisis.....	95
11 Análisis 3D.....	96
<b>Análisis de redes.....</b>	<b>97</b>
1 Cálculo con ArcGIS.....	98
2 Cálculo con Arc/Info.....	101
<b>Topología.....</b>	<b>102</b>
1 Topología en ArcGIS.....	102
2 Topología en Arc/Info.....	105
<b>Fuentes de información.....</b>	<b>106</b>
1 Búsqueda de recursos.....	106
2 Servidores WMS.....	107
3 Directiva INSPIRE.....	108

# Los SIG y ArcGIS

*Mancebo Quintana, S. (2008)*

## 1 Qué es un SIG

El término SIG o Sistema de Información Geográfica (*Geographic Information System, GIS*) se emplea para referirse a varios conceptos interrelacionados pero diferentes. Por una parte se utiliza para hacer referencia al programa o aplicación de ordenador que sirve para manejar mapas, y este es el sentido con el que se usará en estos apuntes.

Algunos autores restringen el término SIG a los programas de ordenador capaces de, no solo permitir la visualización, consulta e impresión de los mapas, sino además realizar operaciones de análisis como superposiciones vectoriales o álgebra de mapas. A los programas de ordenador capaces de manejar mapas sin realizar análisis se les ha denominado también SIG de escritorio, *desktop GIS*, si bien el límite entre un SIG de escritorio y un SIG completo es muy difuso en la realidad.

Otros autores se refieren con el término SIG no solo al programa de ordenador, *software*, si no además a los ordenadores y periféricos, *hardware*, a los mapas y bases de datos y a las personas que los manejan.

Una última acepción muy común es la que engloba al programa, desde un SIG hasta un visualizador en un portal web, y a la información geográfica, mapas y bases de datos. En este sentido es habitual hablar de SIT o Sistema de Información Territorial. La página web que da acceso a información geográfica se denomina geoportal.

Otro término importante es el de “infraestructura de datos espaciales” o IDE. Las IDE están reguladas a nivel europeo bajo la directiva 2007/2/CE, por la que se establece una infraestructura de información espacial en la Comunidad Europea (*Inspire*). En esta directiva se define IDE como “metadatos, conjuntos de datos espaciales y los servicios de datos espaciales; los servicios y tecnologías de red; los acuerdos sobre puesta en común, acceso y utilización; y los mecanismos, procesos y procedimientos de coordinación y seguimiento establecidos, gestionados o puestos a disposición de conformidad con lo dispuesto en la presente Directiva”.

Finalmente, apuntar que existen grandes diferencias y analogías entre los SIG y los CAD (*Computer Aided Design*) ya que éstos últimos son programas de dibujo técnico con capacidad para crear, visualizar e imprimir planos, lo que explica su parecido, sin embargo, no son capaces de realizar gran parte de las operaciones involucradas en el manejo geográfico de cartografía como consultas, integración y análisis de la información. No obstante, cada vez es más frecuente la implementación de extensiones con herramientas SIG para los programas de CAD.

## 2 Tipos de SIG

Los SIG pueden ser de dos tipos principales según el método usado para modelizar la realidad geográfica. Es decir, cómo los aspectos del medio o territorio (vegetación, geología, edafología, temperatura, precipitación, altitud, carreteras, ciudades, ríos, divisiones administrativas...) quedan representados gráficamente.

Imaginemos un mapa en papel, un mapa topográfico. El equivalente digital consta de un conjunto de capas (o temas o coberturas) y de un conjunto de gráficos (textos, leyendas, marcos...).



Cada capa de información de un mapa presenta información sobre un aspecto del territorio, en nuestro ejemplo, carreteras, ríos, ferrocarriles, poblaciones, límites administrativos, curvas de nivel, vegetación...

Según la forma en que estas capas se transforman en información digital, se tienen los tipos de capas y, por extensión, de SIG (aquí solo se describen los dos más importantes hoy en día):

- **Capa ráster:** Consiste en una malla rectangular de celdillas cuadradas o píxeles. En cada celdilla hay un número. Este número porta la información necesaria para modelizar un aspecto del medio.  
  
Son perfectos para modelizar aspectos del medio muy variables, que generalmente son cuantitativos. Así los factores fisiográficos (altitud, pendiente, orientación), atmosféricos (temperatura, precipitación, contaminación) y otros se deben modelizar siguiendo esta estructura de datos. Esto no significa que no pueda modelizarse cualquier tipo de aspecto del medio. Cuando la capa representa algún aspecto cualitativo, la malla de números se complementa con una tabla en la que figura la correspondencia entre cada número y el tipo de entidad, así, por ejemplo, en una capa de vegetación el 1 podría ser pinar, el 2 encinar, etcétera.
- **Capa vectorial:** Utilizan un conjunto de puntos, líneas o polígonos que modelizan un aspecto del medio. Estos puntos, líneas o polígonos se conocen, de manera genérica, como objetos o características o entidades (*features*). Constan de una información gráfica o, más bien, geográfica, la localización, y de una información alfanumérica que describe determinadas características de las entidades. La información alfanumérica o atributos se encuentra en una tabla. A cada entidad le corresponde un registro (fila) en la tabla y viceversa. Dentro de la tabla, cada campo (columna) describe un aspecto de las entidades de la capa.
  - Los puntos se reducen a pares de coordenadas latitud-longitud o x-y, que marcan la posición de lo modelizado sobre la superficie de la tierra. Así, los pozos, fuentes, manantiales, puntos contaminados... pueden quedar representados con esta estructura vectorial.
  - Las líneas o polilíneas son una serie ordenada de puntos denominados vértices, los puntos inicial y final se llaman nodos. Cuando se visualizan consisten en segmentos rectos entre los vértices. Permiten modelizar carreteras, ríos, curvas de nivel...
  - Los polígonos son líneas cerradas que delimitan superficies. Modelizan vegetaciones, suelos, geologías, montes, provincias, países...

Los SIG vectoriales son más adecuados para modelizar aspectos poco variables, generalmente cualitativos. Véanse los ejemplos citados para los puntos, líneas y polígonos. Esto no significa que no pueda modelizarse cualquier tipo de aspecto del medio. Los polígonos funcionan de forma similar a una capa ráster si se han realizado clases (intervalos) de cualquier aspecto cuantitativo. Las líneas también pueden representar aspectos cuantitativos en la forma de isolíneas (curvas de nivel o isohipsas, isotermas, isoyetas...)

Hay que reseñar que, hoy en día, buena parte de los SIG disponibles en el mercado son capaces de manejar tanto información ráster como vectorial.

### 3 Productos SIG en el mercado

A continuación se enumeran algunos de los SIG más importantes del mercado:

- ArcGIS ([www.esri.com](http://www.esri.com)) SIG ráster y vectorial
- Autodesk MapGuide ([www.autodesk.com](http://www.autodesk.com)) SIG vectorial
- Geomedia ([www.intergraph.com](http://www.intergraph.com)) SIG vectorial y ráster
- Grass ([grass.itc.it](http://grass.itc.it)) SIG ráster
- Idrisi ([www.clarklabs.org](http://www.clarklabs.org)) SIG ráster
- Manifold ([www.manifold.net](http://www.manifold.net)) SIG vectorial

- Mapinfo ([www.mapinfo.com](http://www.mapinfo.com)) SIG vectorial
- Microstation Geographics ([www.bentley.com](http://www.bentley.com)) SIG vectorial
- Smallworld ([www.gesmallworld.com](http://www.gesmallworld.com)) SIG vectorial
- Spring ([www.dpi.inpe.br/spring](http://www.dpi.inpe.br/spring)) SIG ráster

## 4 Formatos digitales

Existen infinidad de formatos digitales para almacenar información cartográfica, perteneciendo algunos al grupo ráster y otros al vectorial. Seguidamente se enumeran algunos de los más conocidos, incluyendo los usados para imágenes o dibujos ya que, aunque no son formatos creados para contener información cartográfica, sí pueden contenerla y se usan muy habitualmente para contener tanto mapas ráster como vectoriales.

- Formatos de dibujo vectorial
  - .DGN (*Design*): formato nativo del CAD Microstation.
  - .DWG (*Drawing*): formato nativo de AutoCad.
  - .DXF (*Drawing Interchange Format*): formato CAD de intercambio.
  - .DXN (*Data Exchange Navigator*): formato CAD de intercambio.
- Formatos de dibujo ráster
  - .PNG (*Portable Network Graphics*): formato estándar.
  - .EMF (*Enhanced Metafile*): formato nativo de Microsoft Windows.
  - .EPS (*Encapsulated PostScript*): formato diseñado para imprimir en impresoras *PostScript*.
  - .GIF (*Graphics Interchange Format*): formato estándar.
  - .JPG (*Joint Photographers expert Group*): formato estándar.
  - .TIF (*Tagged Image Format*): formato estándar.
- Formatos SIG vectoriales
  - .E00 (*Interchange File*): formato de intercambio de Arc/Info
  - .MID (*MapInfo Interchange Data*): formato nativo de Mapinfo.
  - .MIF (*MapInfo Interchange Format*): formato nativo de Mapinfo
  - .SHP (*Shapefile*): formato nativo de ArcView y ArcGIS
  - Cobertura (*Cover*): formato nativo de Arc/Info
  - *Geodatabase* o .MDB (*Microsoft DataBase*): formato nativo de ArcGIS.
- Formatos SIG ráster
  - ASCII *Grid*: formato estándar
  - BIL (*Band Interleaved by Line*): formato estándar
  - BIP (*Band Interleaved by Pixel*): formato estándar
  - BSQ (*Band Sequential*): formato estándar
  - *Grid (ESRI Grid)*: formato nativo de ArcView, ArcGIS y Arc/Info

## 5 Información alfanumérica

La información alfanumérica se almacena en forma de tabla (*table*). Las tablas se almacenan digitalmente de forma individual o en conjuntos organizados llamados bases de datos (*databases*). Si bien, el término base de datos también se emplea para referirse a los programas que los manejan, llamados, más apropiadamente, Sistemas de Gestión de Bases de Datos (SGBD, *DBMS*).

Las tablas que manejan los SGBD presentan una estructura. Las columnas se llaman campos (*fields*) y las filas se llaman registros (*records*). Los campos admiten solo el tipo de información que se haya predefinido en cada uno de ellos. Los tipos de información que admiten los campos varían con cada SGBD, siendo comunes los siguientes tipos:

- Texto (*Text, String*). En los campos de texto, además, se predefine el número de caracteres máximo que se pueden introducir. Típicamente los SGBD no admiten más de 255 caracteres.
- Número entero (*Byte, Integer, Longint*). Admiten números sin decimales.
- Número real (*Float, Single, Double*). Admiten números con decimales.
- Fecha (*Date*). Admiten fechas y horas.
- Binario (*Boolean*). Admiten solo dos posibilidades, verdadero o falso (*True, False*).

ArcGIS utiliza los siguientes tipos generales:

- *Short integer*: números enteros entre -32.768 y 32.767, usan 2 bytes.
- *Long integer*: números enteros entre -2.147.483.648 y 2.147.483.647, usan 4 bytes
- *Float*: números reales con 7 cifras significativas, usan 4 bytes
- *Double*: números reales con 15 cifras significativas, usan 8 bytes
- *Text*: textos hasta 254 caracteres, ocupan un byte por carácter
- *Date*: fechas y horas

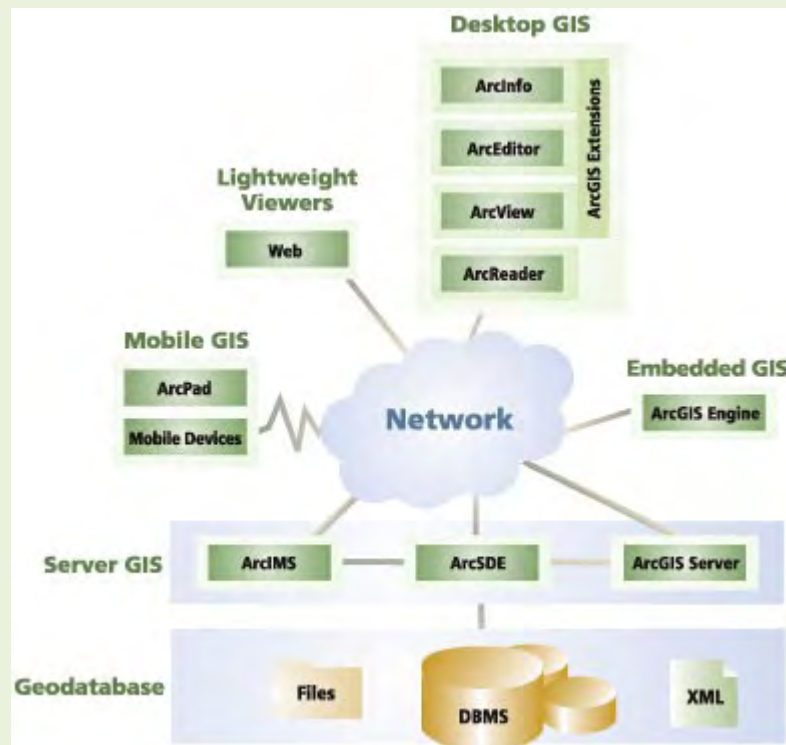
### 5.1 Sistemas de Gestión de Bases de Datos

Existen multitud de sistemas, algunos muy conocidos son:

- dBase, más conocido por su formato de tablas consistente en un solo archivo de extensión .dbf.
- Microsoft Access, que almacena las bases de datos en un solo archivo con extensión .mdb. (.accdb en Access 2007).
- Base, parte del paquete de acceso libre OpenOffice, utiliza también un solo archivo con extensión .odb.
- Sistemas corporativos, que proporcionan acceso a varios ordenadores o clientes, como Microsoft SQL Server, Oracle, Informix y, de acceso libre, MySQL y PostgreSQL.

## 6 ArcGIS

El último producto comercializado por la empresa ESRI (*Environmental Systems Research Institute*) es el SIG ArcGIS. Este nombre se usa tanto para designar al conjunto de aplicaciones SIG de esta empresa (ArcGIS System) como a parte de sus productos (ArcGIS Desktop). El esquema que ofrece la compañía es el siguiente:



Fuente: Página web de ESRI

SIG antiguos de esta compañía:

- Arc/Info (hasta la versión 7.x): lanzado en 1981, este SIG es famoso internacionalmente por su capacidad de manejo y análisis de mapas vectoriales. Hoy en día se comercializa como parte del producto ArcGIS con el nombre de Arc/Info Workstation (Arc/Info 8.x y siguientes).
- ArcView: (hasta la versión 3.x): lanzado en 1992, nació como SIG de visualización y consulta sin capacidades de análisis. Las versiones 3.x, sin embargo, ya disponían de módulos de análisis. Este SIG se convirtió en el número uno del mercado y es el que evolucionó en el ArcGIS moderno.

ArcGIS nace en 2001 con la versión 8.1, como evolución natural de ArcView y, opcionalmente, incorporando Arc/Info con el apellido de Workstation. Complicando las cosas, la compañía ofrece tres versiones del mismo producto ArcGIS (Desktop):

- ArcGIS versión ArcView: versión básica del software.
- ArcGIS versión ArcEditor: incluye la capacidad de edición y digitalización de capas vectoriales.
- ArcGIS versión ArcInfo: incluye toda la funcionalidad del programa más Arc/Info Workstation.

ArcGIS en sus diferentes versiones es principalmente un SIG vectorial, sin embargo, existen multitud de extensiones que completan sus capacidades. Las más relevantes son:

- Spatial Analyst: funcionalidad ráster
- 3D Analyst: funcionalidad 3D
- Geostatistical Analyst: operaciones de estadística espacial

- Survey Analyst: funcionalidad topográfica clásica, estaciones totales
- Tracking Analyst: funcionalidad para topografía moderna, GPS
- Network Analyst: análisis de redes (desde la versión 9.1)

Otros productos que forman parte del conjunto ArcGIS (System) son:

- ArcReader: Visualizador de proyectos generados con ArcGIS tanto localmente como a través de Internet.
- ArcSDE: Intermediario (*middleware*) entre ArcGIS Desktop y bases de datos corporativas como Oracle, Microsoft SQL Server, IBM DB2 o Informix.
- ArcIMS: Permite ofrecer información a través de Internet.

Cada versión de ArcGIS (Desktop 8.x) incluye tres aplicaciones principales: ArcMap, ArcCatalog y ArcToolbox. Desde la versión 9.0 ArcToolbox desaparece como aplicación independiente, integrándose dentro de ArcMap y ArcCatalog.

- ArcMap. Funciones:

Operaciones con mapas:

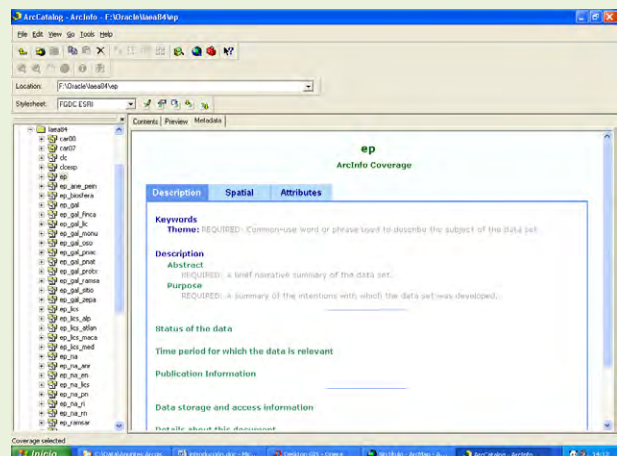
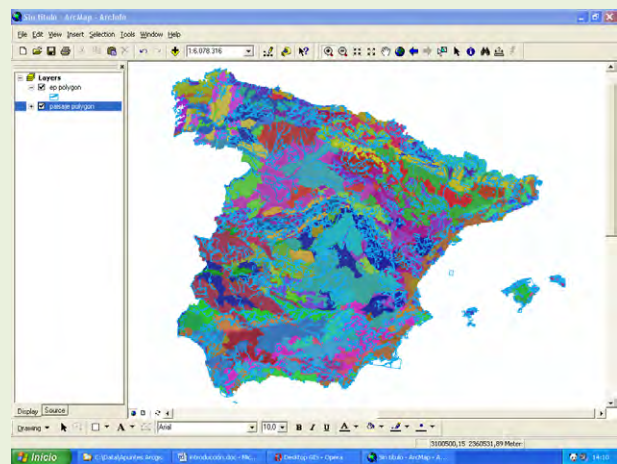
- Visualización
- Edición (de *shapefiles* y *geodatabases*)
- Selecciones gráficas
- Análisis (de *shapefiles*, *geodatabases* y *grids*)
- Diseño de mapas

Operaciones con bases de datos:

- Consultas
- Informes
- Estadísticas
- Resúmenes

- ArcCatalog, proporciona un acceso al disco duro, puede decirse que es una aplicación semejante al explorador de Windows. Permite:

- Crear datos (geográficos)
- Gestionar datos
- Crear metadatos
- Realizar conexiones con bases de datos externas





- ArcToolbox se utiliza para:
  - Conversión de formatos
  - Definir proyecciones y reproyectar capas
  - Gestión de datos
  - Análisis
  - Crear herramientas personalizadas (programación)


## 6.1 Primer contacto con ArcGIS


Una vez instalado ArcGIS Desktop, en el grupo de programas de ArcGIS aparecerán los accesos directos a los programas disponibles, que variarán en función del nivel de licencia.

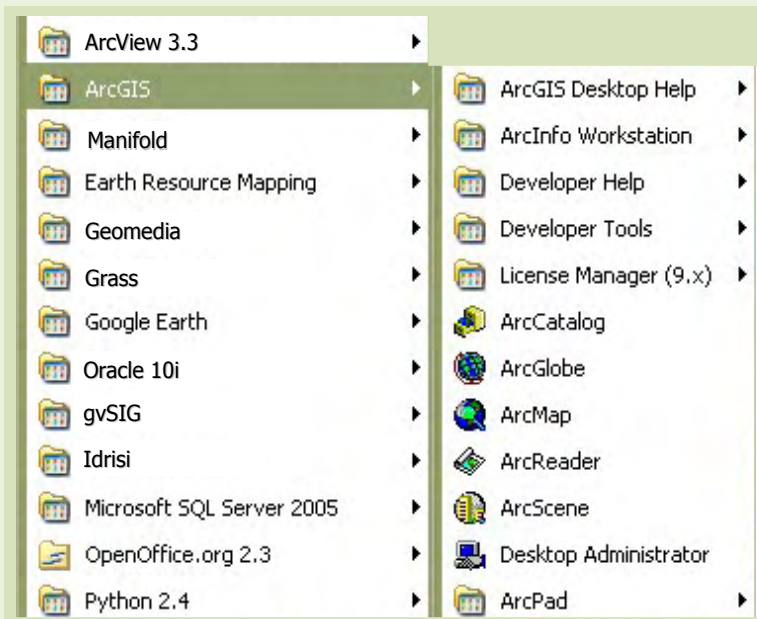
En ArcGIS 9.x encontraremos, al menos, ArcMap y ArcCatalog. En ArcGIS 8.x tendremos, además, ArcToolbox.

Tanto en ArcMap como en ArcCatalog, la mayor parte de su funcionalidad no está presente de forma predeterminada. Los distintos comandos se agrupan de forma estructurada en barras de herramientas que se pueden ver, desplazar y ocultar (*View – Toolbars*).

Las barras de herramientas de las extensiones de ArcGIS pueden visualizarse, si bien, los comandos no estarán activos hasta que no se active la extensión correspondiente (*Tools–Extensions*).

En ArcGIS 9.x se accede a los comandos de ArcToolbox activando la ventana (*Window – ArcToolbox* ).

Tanto en ArcMap como en ArcCatalog existe una ventana llamada línea de comandos (*Window – Command Line* ) que permite escribir y ejecutar muchos comandos evitándose la apertura de ventanas.



## 7 Arc/Info Workstation

La gran capacidad de este SIG para manejar eficientemente grandes cartografías justifica que no haya desaparecido del mercado y conviva con ArcGIS Desktop. Actualmente es, probablemente, el mejor SIG para la gestión ambiental de grandes provincias, regiones o comunidades autónomas y países. La velocidad a la hora de realizar algunas operaciones de análisis vectorial, ráster y de tablas llega a ser decenas y cientos de veces superior a la de ArcGIS Desktop.

Un pequeño número de comandos de análisis de este SIG está disponible dentro de ArcToolbox, por lo que su manejo es análogo al del resto de comandos propios de ArcGIS Desktop. Si bien, gran parte de la funcionalidad solo está disponible a través de las interfaces propias de Arc/Info.

### 7.1 Primer contacto con Arc/Info

Al programa se accede desde el grupo de programas de *ArcGIS – ArcInfo Workstation–Arc*. Y se puede acceder desde la consola de comandos de Windows (*Accesorios–Símbolo del sistema*) con el comando *arc*:

```
c:\>arc
```

También existe una interfaz de ventanas *ArcGIS–ArcInfo Workstation–ArcTools*, si bien no la hemos tratado en estos apuntes.

#### Consola de comandos

La consola de comandos exige la escritura manual de los comandos seguida de los parámetros que necesita dicho comando. Los comandos y parámetros se escriben literalmente, sin errores y todos van separados por espacios. Se pueden usar indistintamente mayúsculas o minúsculas:

```
Arc: union c:\capas\cobertura1 c:\capas\cobertura2 c:\capas\cober_union
```

Arc/Info proporciona información sobre la sintaxis de un comando escribiendo el comando tras la palabra *usage* o simplemente el comando (siempre que éste no tenga ninguna función sin parámetros):

```
Arc: usage union
Usage: UNION <in_cover> <union_cover> <out_cover> {fuzzy_tolerance}
      {JOIN | NOJOIN}
```

Los parámetros obligatorios se especifican con los símbolos <> y los opcionales con los símbolos {}, estos símbolos no se escriben. Cuando el parámetro es el nombre de una cobertura o de una tabla o de un campo o cualquier otro valor que debe especificarse, en la sintaxis aparece en minúsculas. Por ejemplo, <in\_cover> se refiere al nombre de una de las coberturas que se unirán. Cuando en la sintaxis el parámetro aparece en mayúsculas, hay que especificar literalmente una de las opciones:

```
Arc: union c:\capas\cob1 c:\capas\cob2 c:\capas\cob_union 0.1 join
```

Por defecto, Arc/Info utiliza la notación inglesa para los números, el separador decimal es el punto.

Si un parámetro opcional no se especifica, el comando usará el valor por defecto. Si hay varias opciones, el valor por defecto suele ser la primera de ellas. Si se quiere dejar por defecto un parámetro opcional y especificar el siguiente, es necesario usar el símbolo #:

```
Arc: union c:\capas\cob1 c:\capas\cob2 c:\capas\cob_union # join
```

Muchos comandos, para facilitar su escritura, se pueden acortar, en estos apuntes usaremos habitualmente las formas acortadas.

#### Directorio de trabajo

La especificación de las capas en los comandos de Arc/Info exige la introducción del nombre completo y localización de la capa, e. g. *c:\capas\cobertura*, a no ser que dicha capa se encuentre en el directorio de

trabajo de Arc/Info o *workspace*. Por esta razón, es habitual tener todas las coberturas con las que se va a trabajar en el mismo directorio y asignar en Arc/Info el *workspace* de trabajo a este directorio. Esto se realiza con el comando *w* (*workspace*), cuya sintaxis es:

```
Usage: workspace {workspace}
```

Por ejemplo, para cambiar el directorio de trabajo a otro llamado *s:\capas*:

```
Arc: w s:\capas
```

Si no se introduce el parámetro opcional {workspace} Arc/Info nos informa del directorio actual de trabajo:

```
Arc: w  
Current location: s:\capas
```

Cuando abrimos Arc/Info desde el grupo de programas de ArcGIS, el directorio de trabajo en el que se comienza es el que se especificó en la instalación del programa, habitualmente, *c:\workspace*.

Existen varios comandos muy útiles para listar los nombres de las capas que hay en un directorio:

- *lc* para las coberturas
- *lg* para los *grids*
- *lt* para los *tins*
- *li* para las imágenes
- *dir info* para las tablas

### Cierre de la aplicación

Para salir del programa tenemos el comando *q* (*quit*):

```
Arc: q
```

Y para cerrar la consola de comandos, *exit*:

```
c:\>exit
```

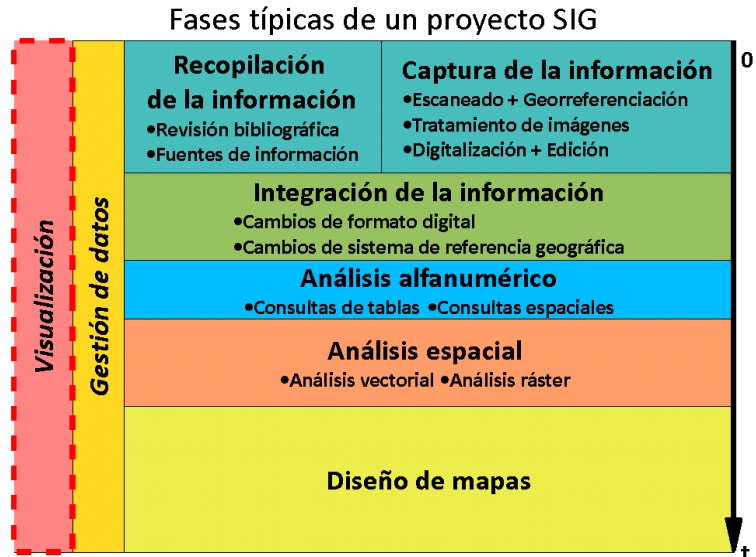
# Visualización

Martín Fernández, L. (2007) y Mancebo Quintana, S. (2008)


La visualización de la información se realiza continuamente a lo largo del proyecto. Cada SIG permite la visualización directa de cierto número de formatos; otros formatos se podrán visualizar usando herramientas de conversión; y algunos no se podrán visualizar. En el ámbito de la visualización, existe un conjunto de herramientas prácticamente universales, como son los *zooms*, que permiten variar la escala de visualización y el *pan*, que permite desplazar la ventana que vemos en cualquier dirección.

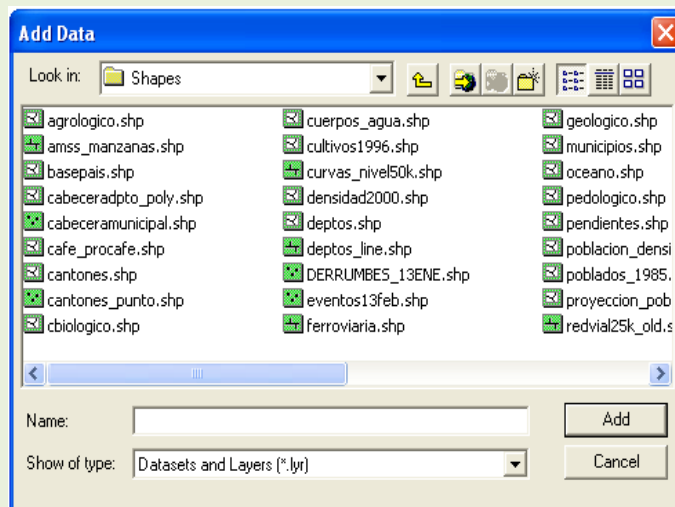
Otra herramienta muy común es la tabla de contenido o leyenda, que nos permite seleccionar qué capas tener visibles, su orden de visualización y la simbología con que se muestran los distintos elementos de cada capa.

Las herramientas básicas de visualización dependen de cada SIG. A continuación se describen algunas de las que tiene ArcGIS. El manejo de la simbología se describe en el siguiente capítulo, diseño de mapas.

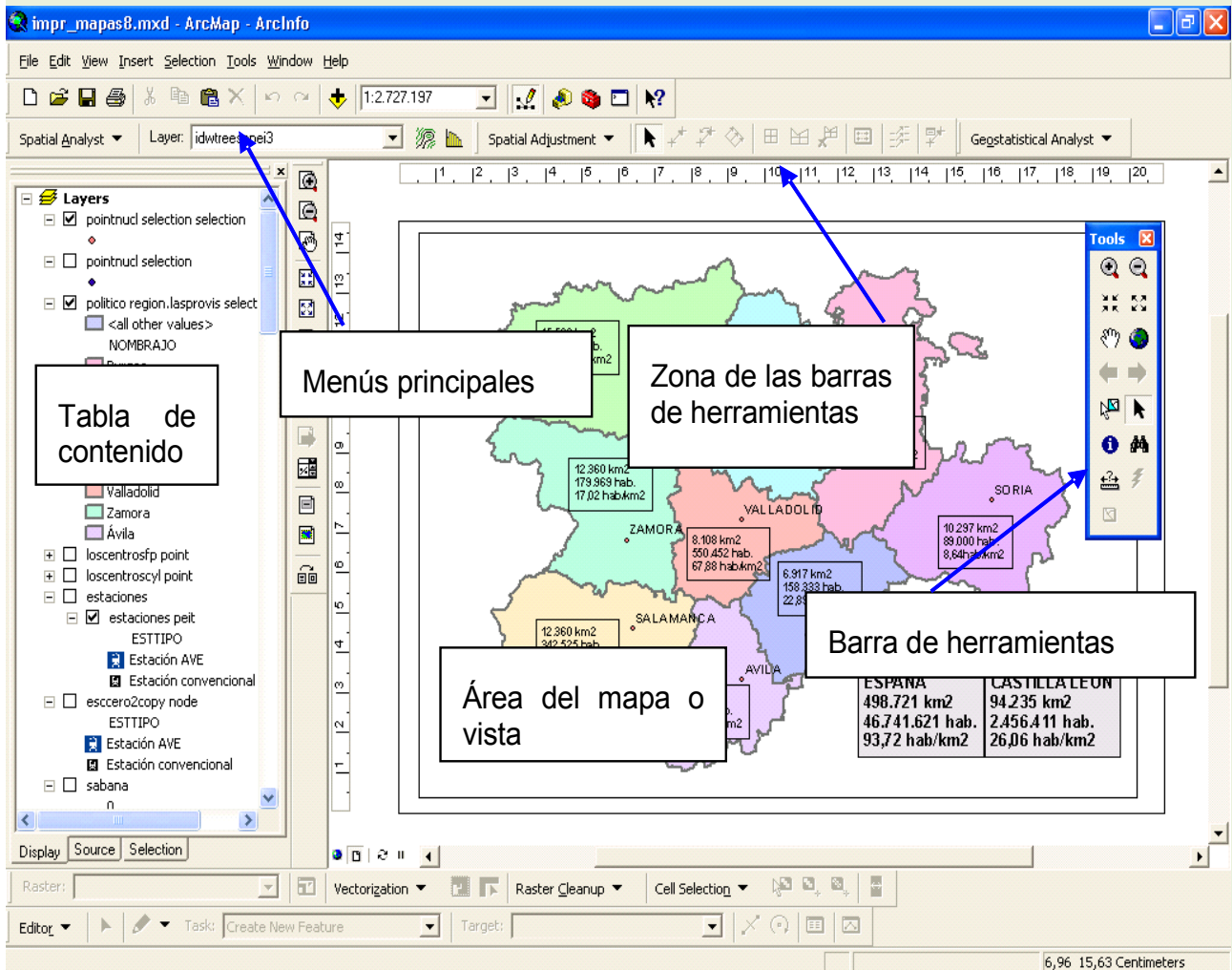


## 1 Visualización en ArcGIS

Dentro de ArcGIS, la visualización se realiza, principalmente, en ArcMap, si bien, ArcCatalog también permite una previsualización rápida, pestaña *preview*. Otras aplicaciones como ArcGlobe o ArcScene permiten visualizar mapas en 3D. Para añadir información hay que pulsar el botón **Add Data** , y navegar hasta el documento que se quiera añadir:



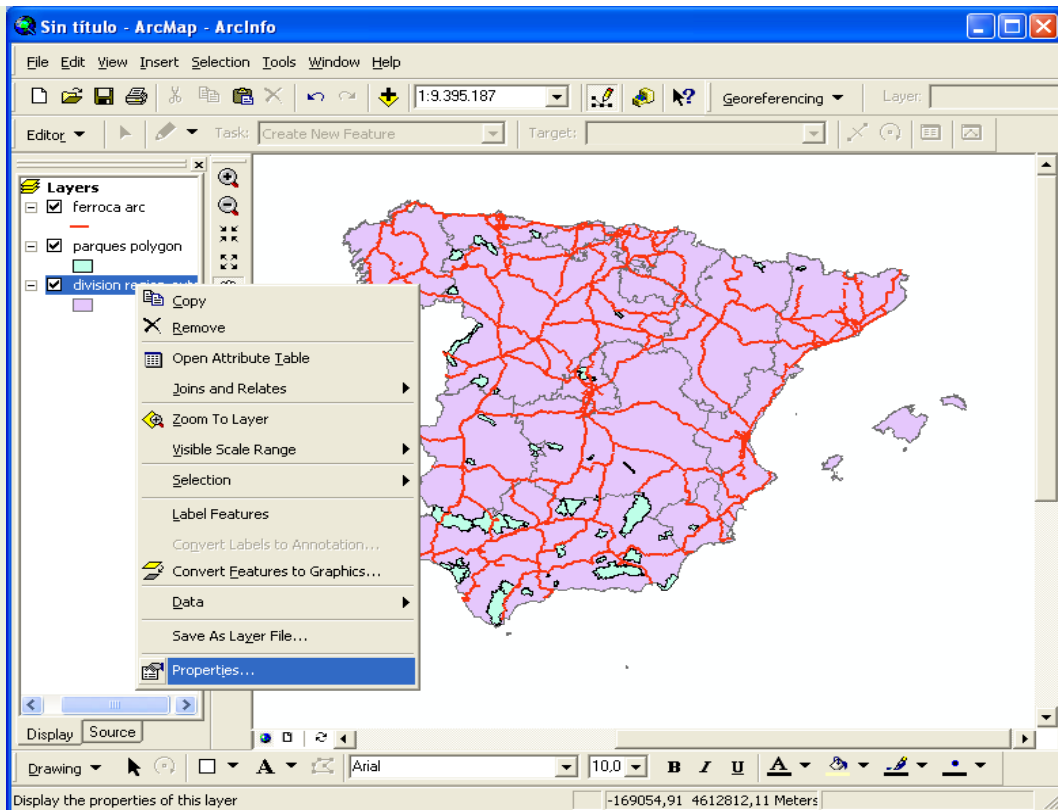
La pantalla principal de ArcMap es la siguiente:



En la tabla de contenido aparecen los nombres de las capas de información geográfica presentes en el mapa, así como su simbología o leyenda.

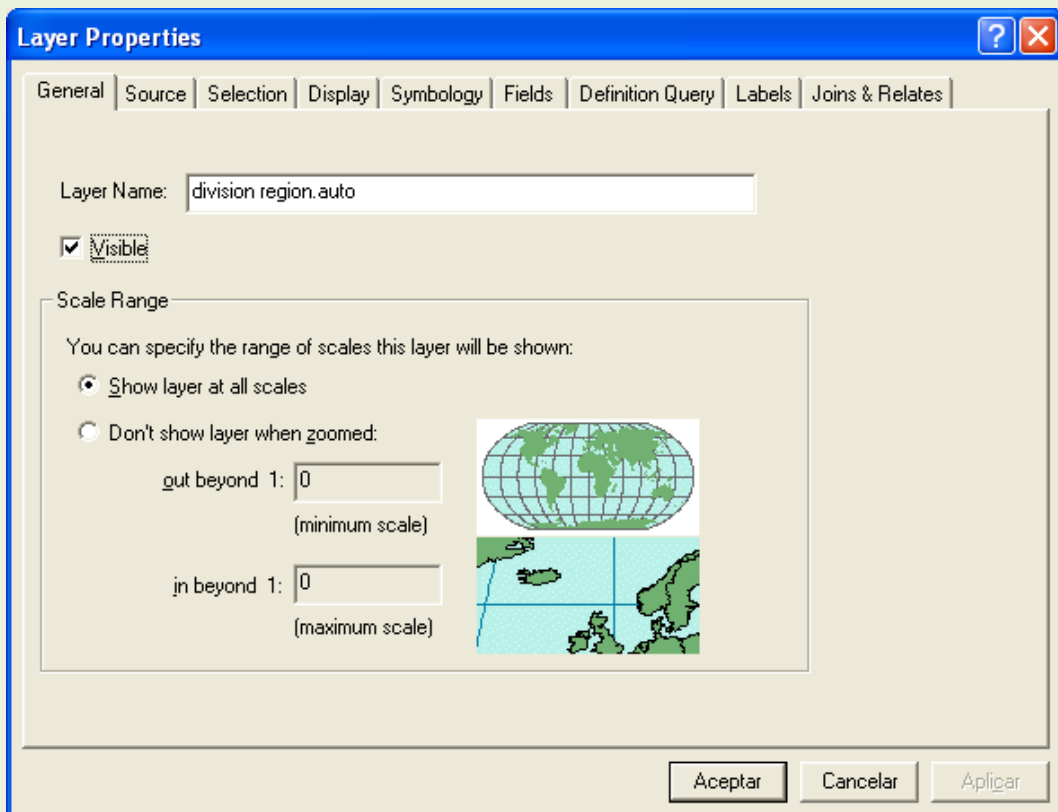
En el área del mapa o vista se visualizan los datos geográficos. El orden de visualización de las capas corresponde al mismo orden en el que aparecen en la tabla de contenido. Las capas de polígonos y las imágenes se suelen situar debajo para permitir la visualización de líneas y puntos. El orden se puede modificar arrastrando el nombre de la capa a la posición deseada. Asimismo, la visualización de cualquier capa presente en la tabla de contenido puede activarse y desactivarse marcando o desmarcando el cuadrado presente a la izquierda del nombre de la capa.





Cada capa de información geográfica tiene unas propiedades, a las que se accede pulsando el botón derecho sobre la capa, eligiendo la entrada *Properties* del menú contextual (o pinchando dos veces sobre la capa).

La ventana de propiedades es la siguiente:



En las diferentes pestañas podremos modificar el nombre de la capa, la forma de visualización, la simbología o leyenda con la que se representa la información que contiene, la forma y el tipo de etiquetado que se usa para esa capa, así como obtener información sobre los campos de la base de datos asociada y de las bases de datos o tablas que se hayan unido o relacionado con la capa.

Para visualizar la información gráfica se dispone de las siguientes herramientas (barra de herramientas *Tools*):



Son los botones que nos permiten desplazarnos dentro de la vista de un mapa.



**Zoom in**

Acercamiento a un área de un mapa haciendo una caja con el ratón.



**Zoom out**

Alejarse de un área de un mapa haciendo una caja con el ratón.



**Fixed Zoom in**

Acercamiento en base al centro de la vista



**Fixed Zoom out**

Alejarse en base al centro de la vista.



**Pan**

Mover la vista sin cambiar de escala.



**Full Extent**

Ajusta la vista para que contenga toda las capas.



**Go Back To Previous Extent**

Despliega la vista anterior mostrada (si existe).



**Go to Next Extent**

Despliega la vista próxima mostrada (si existe).



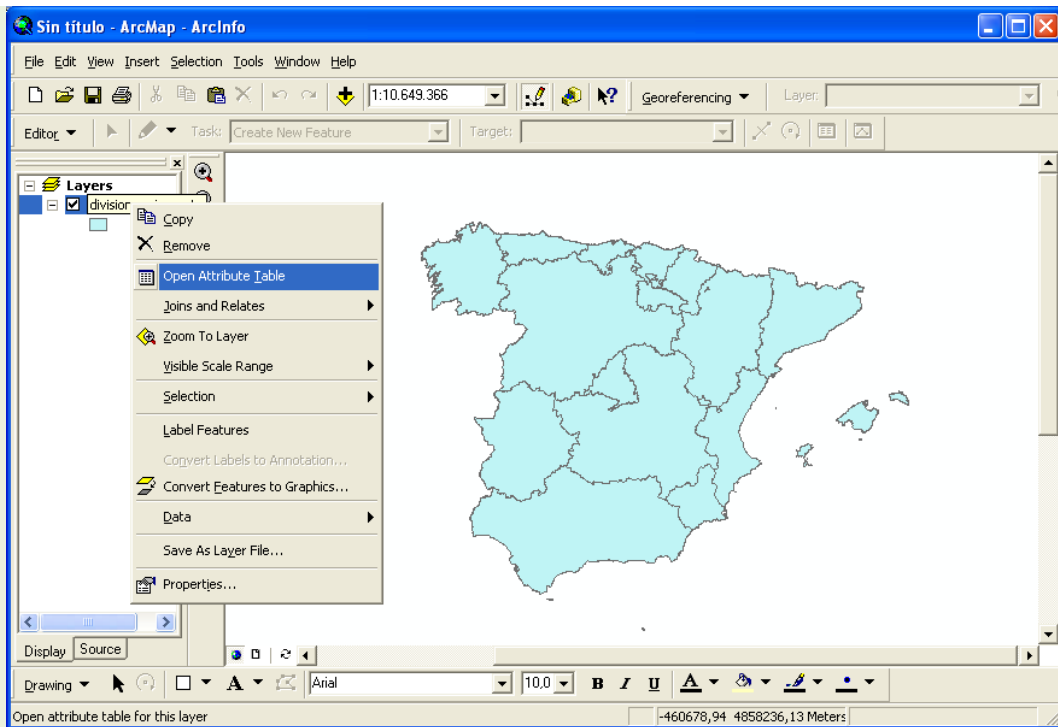
**Zoom To layer**

Desde el menú contextual de cualquier capa se dispone de *Zoom To Layer*, que ajusta la vista para poder ver toda la capa.



**Open Attribute Table**

Para visualizar la base de datos asociada, se accederá llevando el ratón encima del nombre de la capa, pulsando el botón derecho del ratón, eligiendo la entrada *Open Attribute Table* del menú contextual:



Con esto se abrirá la base de datos asociada a la capa que hemos seleccionado, donde podremos consultar y realizar operaciones con la información contenida en los campos de la base de datos:

Attributes of division region.auto

FID	Shape	AREA	PERIMETER	AUTO#	AUTO-ID	COMUNID	NOMBRE
1	Polygon	87612124073,75	1903432,098699	1	1	15	ANDALUCIA
2	Polygon	11311167948,87	683451,132070	2	2	16	MURCIA
3	Polygon	23266436163,68	1308184,278733	3	3	12	COMUNIDAD VALENCIANA
4	Polygon	32204656841,10	1370503,113901	4	4	7	CATALUNA
5	Polygon	8023093687,542	727936,131635	5	5	10	MADRID
6	Polygon	79412641435,82	2244055,991103	6	6	11	CASTILLA LA MANCHA
7	Polygon	41679974482,57	1305703,101791	7	7	14	EXTREMADURA
8	Polygon	94222658154,86	2664011,710511	8	8	8	CASTILLA-LEON
9	Polygon	29459591531,75	2008394,958932	9	9	1	GALICIA
10	Polygon	10611426671,45	814480,649963	10	10	2	ASTURIAS
11	Polygon	5318749325,292	694186,908158	11	11	3	CANTABRIA
12	Polygon	7230032643,128	877091,742876	12	12	4	PAIS VASCO
13	Polygon	10384718194,29	765886,018952	13	13	5	NAVARRA
14	Polygon	47730778085,37	1479663,367424	14	14	6	ARAGON
15	Polygon	5042338393,713	564258,536312	15	15	9	LA RIOJA
16	Polygon	33651836,73792	50194,288038	16	16	18	CEUTA Y MELILLA
17	Polygon	5017913108,298	1001287,245049	17	17	13	COMUNIDAD BALEAR
18	Polygon	7773710225,157	1279013,406540	18	18	17	COMUNIDAD CANARIA

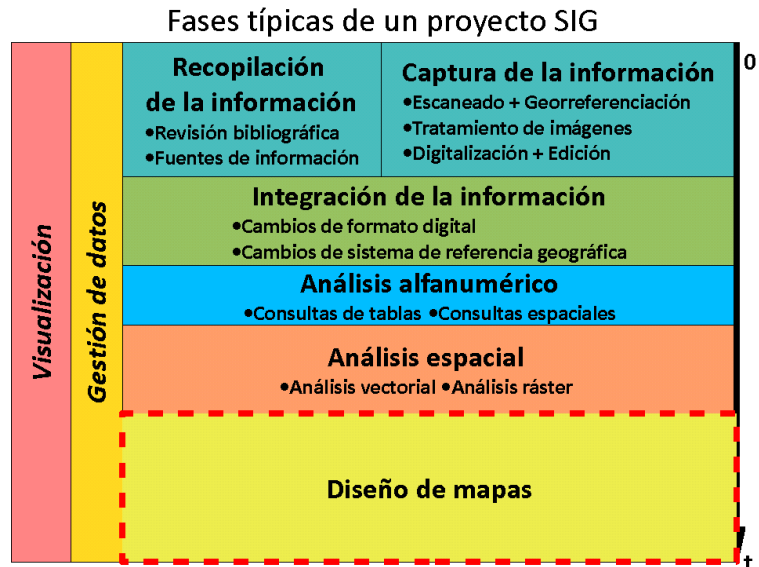
Record: 1 Show: All Selected Records (0 out of 18 Selected.) Options

# Diseño de mapas

Valentín Criado, A. C. y Martín Ramos, B. (2007)

## 1 Introducción

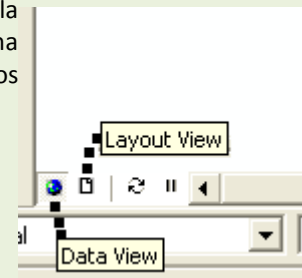
El último paso de un proyecto de SIG es diseñar los mapas. Podemos dividir este proceso en dos fases: preparación de las capas para su correcta visualización gráfica y diseño del mapa propiamente dicho con todos aquellos elementos necesarios para la mejor comprensión e interpretación de las capas. La importancia del diseño de mapas es elevada debido a dos factores fundamentales: por un lado los resultados de todo el trabajo del proyecto deben verse reflejados en los mapas (salidas gráficas), y por otro, el tiempo necesario para realizar esta labor correctamente no debe menospreciarse, dado que es largo en comparación con las demás fases.



En ArcGIS, la fase de preparación de las capas se suele hacer trabajando sobre la vista del mapa (*Data View*), y el diseño del mapa se hace trabajando en la ventana del layout (*Layout View*). Podemos pasar de una ventana a otra utilizando los botones de acceso que aparecen en la esquina inferior izquierda.

Las capas propias de ArcGIS son:

Shapefiles	Coberturas	Geodatabase
Puntos	Puntos	Puntos
Líneas	Líneas	Líneas
Polígonos	Polígonos	Polígonos



Para ordenar correctamente las capas, y que no se tapen unas a otras, en la tabla de contenidos selecciona la pestaña **Display**. Entonces arrastra con el ratón cada una de las capas a la posición que hayas decidido.

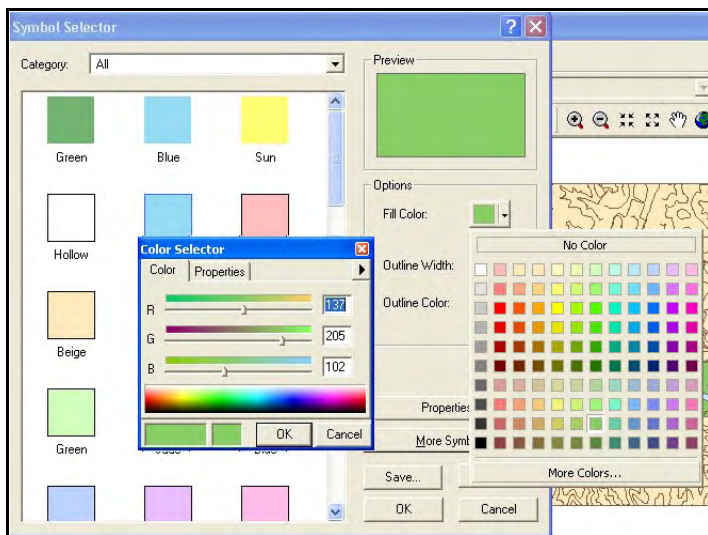
Para fijar la escala, en primer lugar, selecciona en las propiedades generales del **Data Frame** las unidades del mapa. Después, en la pestaña **Data Frame** podrás elegir la escala y fijarla. Esto bloquea las opciones de zoom.

## 2 Preparación de las capas

El mapa estará formado por un número de capas (*layers*) que pueden ser de distintos tipos y orígenes. Una de las primeras decisiones que se tomarán es qué capas van a formar parte de nuestro mapa. Algunas serán capas resultado de nuestro proyecto particular y otras (límites administrativos, hidrografía, vías, altimetría, etc.) serán capas complementarias para poder ubicar correctamente los datos del proyecto. Habrá que ordenar dichas capas para que no se tapen unas a otras, y por orden de prioridad.

Tenemos que conocer la **escala** a la que vamos a representar (imprimir) el mapa, y trabajaremos con esa escala de referencia para que los grosores y tamaños de la simbología de las capas permanezcan estables con relación a esa escala. Tendremos además que asegurarnos de que la escala y el tamaño del **papel** (A4, A3, A2,...) que queremos usar son compatibles, es decir, el mapa cabe holgado en el papel. Si usamos tamaños grandes de papel (A0, A1) hay que saber sus inconvenientes: es difícil encontrar impresoras con capacidad para grandes papeles, estos tamaños además son difíciles de manipular. Una opción si tenemos un mapa muy extenso es dividirlo en varias hojas. Se puede hacer un paginado de mapas, existen herramientas específicas para automatizar esta tarea. Para ArcGIS hay una aplicación de acceso libre llamada MapBook.

Los **colores** con los que representemos cada uno de los elementos deben diferenciarse bien unos de otros.

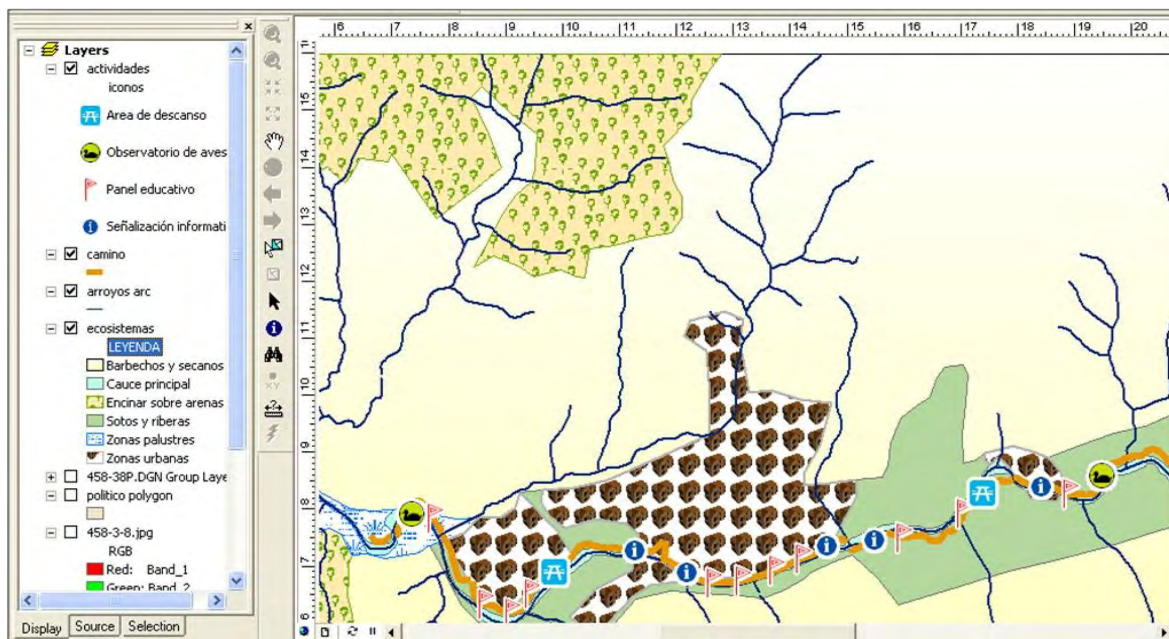


Nos es más fácil distinguir tonalidades rojizas, las gamas de azules no se suelen emplear por esta razón. Hay que tener una cierta estética en el diseño o nuestros mapas resultarán desagradables o sosos. Evitar colores muy chillones o demasiado apagados, y contrastes muy bruscos entre elementos del mapa. Para la elección de los colores no hay una regla fija y todo dependerá de la finalidad del mapa, de nuestras pretensiones o de los gustos de nuestro jefe. Este tema puede llevarnos mucho tiempo, eligiendo y probando colores, sobre todo cuando tenemos que representar muchos elementos distintos en un mismo mapa. Si tenemos más de 8-10 colores en una misma capa estos se empiezan a distinguir

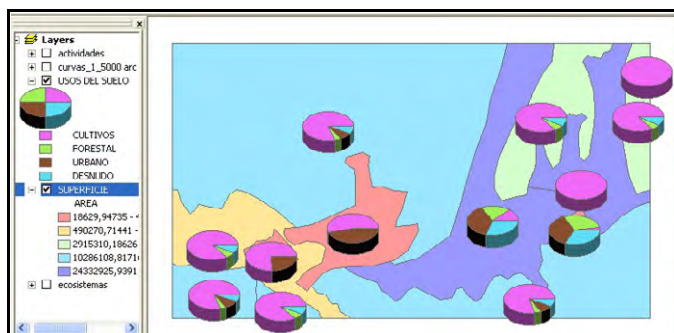
mal y será conveniente poner etiquetas complementarias sobre los colores, como es el caso de los mapas de suelos o usos y vegetación.

Las **tramas**: además de colores sólidos para pintar polígonos también se pueden usar tramas, de rayas, puntos, símbolos o incluso imágenes, de uno o más colores, sólidas o transparentes, etc. Las combinaciones, tamaños y formas son múltiples, y nos permiten superponer dos capas de polígonos si a la de abajo le damos un color sólido y a la de encima una trama transparente.





Los **símbolos**: pueden ser para líneas o para puntos. Los símbolos lineales son aquellos que representan caminos, carreteras, tendidos eléctricos, canales, ferrocarriles, lindes, etc. Los símbolos pueden tener multitud de formas, tamaños y colores. La simbología de puntos puede ser simples puntos de colores, cuadrados, cruces, flechas, etc. o ser elementos pictóricos más complejos y elaborados, de uno o varios colores, que muestren por ejemplo una señal de tráfico o un dibujo de una casa, una planta, un animal o en definitiva cualquier tipo de icono.



Hasta ahora nos hemos referido principalmente a **mapas cualitativos**, pero si tenemos que crear un **mapa cuantitativo** tendremos que usar paletas de degradados o gradientes de color, donde cada intensidad de color representa un valor o un rango de valores del mapa, por ejemplo un mapa de altitudes o uno de niveles de población. También en estos mapas se pueden añadir gráficos, de barras, de quesitos, etc.

Las **etiquetas**: una vez dibujados y coloreados los elementos del mapa será conveniente en muchos casos etiquetar algunos de ellos. Las etiquetas son los nombres de las cosas que aparecen en el mapa, tales como: términos municipales, ciudades, ríos, cordilleras, lagos, carreteras, edificios de interés, parques naturales, usos del suelo, parcelas, etc. Estos nombres se pueden escribir con distintos tipos de letras, tamaños, colores y formatos.

Quizás, la forma más versátil de crear etiquetas, aunque más compleja y no disponible en todos los SIG, son las **annotations**, que se caracterizan por ser una capa más del mapa. Las ventajas son múltiples: sus elementos (cada una de las etiquetas) están georreferenciadas, se pueden editar manualmente, tenemos acceso a la tabla o base de datos, y podemos ordenar nuestras etiquetas creando una capa de **annotations** para cada característica del mapa, por ejemplo una para ríos, otra para ciudades, otra para carreteras, etc. Una vez creadas estas capas de etiquetas podemos quitarlas y

En ArcGIS, las etiquetas las podemos crear de varias formas:

- como una capa de etiquetas *annotation*, esta opción no es posible cuando se etiquetan capas en formato *shapefile*
- como propiedad de una capa *label*, accesibles sólo desde el documento mapa de ArcMap, \*.mxd
- como gráficos independientes

ponerlas fácilmente, sin peligro de perder la información, y usarlas para otros mapas a la misma escala o similar (este es uno de los inconvenientes, que si cambiamos de escala no nos valen).

Las **labels**, etiquetas que se crean directamente sobre la vista del mapa, pueden ser manuales o automáticas, son similares a las *annotations* pero es el programa el que se encarga de administrarlas guardándolas en un archivo al que no tenemos acceso, no podemos ver la tabla y solo podemos hacer cambios, visualizarlas y guardarlas desde el documento mapa. Las *labels* automáticas las podemos transformar a *annotations* y así las podremos manipular a nuestro gusto, borrarlas, cambiarlas, etc.

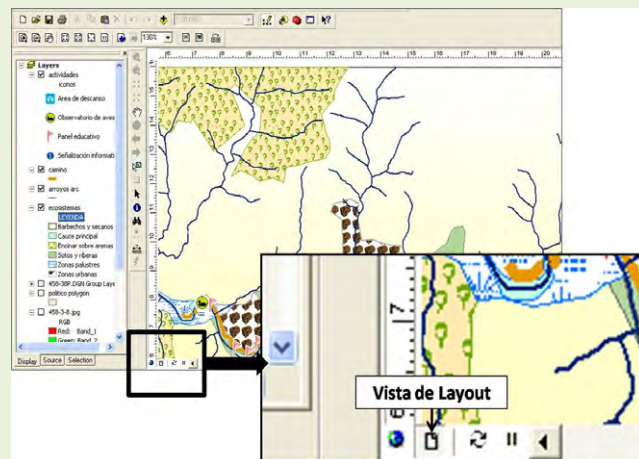
Si creamos etiquetas usando la herramienta de gráficos sobre el *layout*, éstas no se comportarán de la misma manera que las creadas sobre la vista del mapa aunque las coloquemos aparentemente sobre el mapa, serán simples **gráficos**, no estarán georreferenciadas, su colocación es relativa a la hoja, son poco seguras, no tenemos el control total, las podemos mover o borrar por accidente, y no hay posibilidad de guardarlas en un archivo independiente de gráficos, solo se pueden guardar como parte del documento.

### 3 El *layout*: diseño del mapa

En el *layout* se deben definir e incorporar todos o algunos de los siguientes elementos:

- Orientación y tamaño de la hoja, márgenes
- Título, textos, información cartográfica
- Leyendas, simbología
- Escala gráfica, escala numérica
- Rosa de los vientos
- Cajetines con información del proyecto, logotipo de la empresa
- El *grid* o malla de coordenadas geográficas

Cuando entramos en *layout*, pulsando el botón *Layout View* aparece una barra de herramientas que nos permite hacer zooms a la hoja sin modificar la escala de impresión. En el *layout* sólo aparecerán las capas que sean visibles en la vista del mapa.



#### Orientación y tamaño de la hoja, márgenes

La orientación y tamaño del papel es el primer paso que hay que dar antes de empezar a diseñar el *layout*. El tamaño del papel y, por lo tanto, la escala a la que imprimiremos nuestro mapa es un dato que debemos estudiar y conocer desde el comienzo de nuestro trabajo o proyecto. Conviene bloquear la escala cuando trabajemos en el *layout* y así nos despreocupamos de posibles errores accidentales.

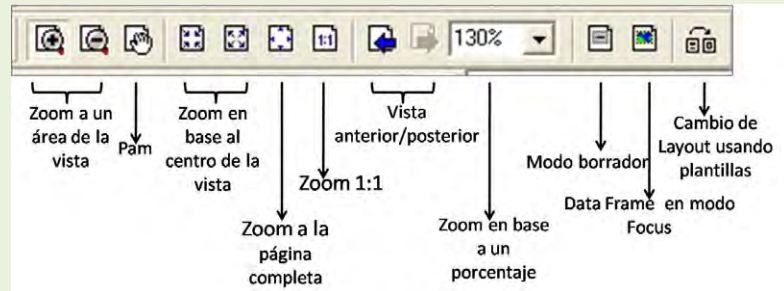
La orientación y tamaño del papel se define en las propiedades del *layout*, en *Page and Print Setup*.

La simbología y etiquetado de cada capa se modifican entrando en las propiedades de la misma. Para ello pincha dos veces sobre el nombre de la capa o bien, pincha el botón derecho y elige *Properties*.

Dentro de las propiedades, elige la pestaña *Symbology* para controlar la simbología o bien la pestaña *Labels* para controlar las etiquetas.

Para convertir las etiquetas en *annotations*, pincha con el botón derecho encima del nombre de la capa y elige *Convert Labels to Annotation*. Una vez desplegado el cuadro de diálogo, podrás elegir si las conviertes sobre el mapa (*In the map*) o si creas una nueva capa georreferenciada (*In a database*).

Recuerda que no se recomienda convertir a gráfico ningún elemento del mapa (leyenda, escala, etc.), a no ser que no exista otra alternativa de diseño, ya que se pierde la interrelación con las propiedades del mapa.



## Leyendas, simbología

Después de colocar y centrar el mapa en la página a la escala adecuada podemos continuar insertando la leyenda. La leyenda se puede configurar en multitud de aspectos: nº de columnas, capas que queremos que aparezcan representadas, formato de símbolos y letras, tamaño, etc. Si una vez creada no ha quedado bien podemos reconfigurarla hasta que quede a nuestro gusto. La leyenda, como otros elementos del *layout*, es interactiva, esta gran ventaja permite que los cambios que hagamos en las capas del mapa se representen en la leyenda, cada vez que hacemos un cambio la leyenda se actualiza. A veces puede interesarnos hacer más de una leyenda con distintas capas representadas en cada una.

Elementos especiales de la barra de herramientas *layout*:

- *Toggle Draft Mode* (modo borrador): Cada elemento del mapa se representa por su nombre. Es útil cuando se quiere trabajar rápido, puesto que no es necesario que se carguen los gráficos.
- *Focus Data Frame*: con el *data frame* en modo *focus*, los gráficos y textos que añadimos formarán parte de la vista del mapa, y no de la hoja, por lo que se podrán ver y modificar en la vista normal.

## Título, textos, información cartográfica

Es posible añadir un título o un texto al mapa. El título, por defecto aparece situado centrado en la parte superior de la hoja, aunque al igual que un texto se puede desplazar y situar en cualquier posición.

## Escala gráfica, escala numérica

La escala es un elemento imprescindible en cualquier mapa. La escala gráfica podemos usarla siempre sin problemas, ya que al ser una escala relativa la relación con el mapa no se ve afectada si al imprimir varía la escala absoluta que inicialmente habíamos establecido. La escala numérica o absoluta (1:5 000, 1:250 000, etc.) también se debe poner en todos aquellos mapas importantes de un proyecto, con la precaución de imprimir en los formatos adecuados. Es conveniente comprobar una vez impreso el mapa que la escala no ha sido deformada, si cometemos un error en este punto las consecuencias pueden ser muy negativas para el desarrollo del proyecto al que va destinado el mapa.

## Rosa de los vientos

La rosa de los vientos es un elemento orientativo que no debe faltar en un mapa. No es vistoso que este elemento destaque especialmente dentro de la composición y sin embargo se tiende a hacer muy grande, hay que evitar esto. La rosa puede colocarse en la hoja dentro o fuera del mapa, en una esquina o junto a la escala, pero todo dependerá de los gustos o preferencias del diseñador cartográfico.

## Cajetines con información del proyecto

La mayoría de las veces nos encontramos proyectos con mapas en los que no aparece ninguna información cartográfica, con lo cual no sabemos en qué tipo de coordenadas está definido o cual es su proyección, su datum, la equidistancia de las curvas de nivel, etc. Si queremos que nuestro mapa esté completo debemos poner un pequeño recuadro con esta información.

Hay que destacar que los SIG no ofrecen cajetines prediseñados en los que añadir la información del mapa, nombre de la empresa, número de mapa, fecha, etc. Lo recomendable es crear un cajetín en el *layout* dibujando gráficos del tipo líneas o recuadros. Para dibujar con precisión nos podemos ayudar de reglas o guías de dibujo horizontales y verticales. Una vez creado el cajetín o cartela se añade dentro la información como texto y el resto de elementos requeridos.

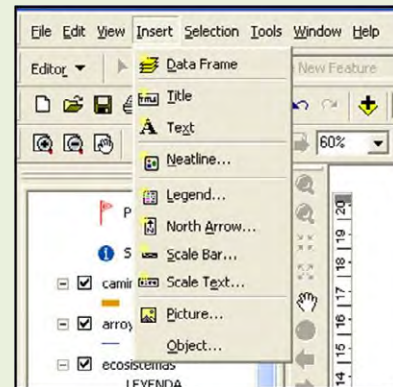
## Grid o malla de coordenadas geográficas

El *grid* o malla de coordenadas es otro elemento fundamental, sin él nos será prácticamente imposible averiguar las coordenadas de un punto o localizar un elemento dadas sus coordenadas. Sin el *grid* un mapa queda desnudo y falto de sentido. Suele ser conveniente, una vez creado el *grid*, definirle un origen de coordenadas redondeado conforme al intervalo definido, para que las cifras de la malla también se redondeen. También podemos definir la cantidad de decimales que queremos que aparezca en la numeración.

Por la general es conveniente añadir los distintos elementos como ofrece el programa por defecto (caso de la leyenda, *grid* y escala gráfica) y posteriormente modificarla entrando en sus propiedades.

Para entrar en las propiedades de cada elemento pincha dos veces encima de él, o bien pincha encima con el botón izquierdo (se activa el elemento), y después con el derecho. Se desplegará un menú contextual y en él aparecerán las propiedades en último lugar (*Properties*).

Para incluir todos los elementos en las salidas gráficas, pulsa en el menú *Insert* para desplegar las opciones que el programa facilita.



ArcMap permite la creación de plantillas (*templates*, con extensión *.mxt*) que nos permiten emplear un mismo diseño en múltiples mapas.

Para activar las guías de dibujo hay que activar *Guides-Snap to Guides*, o *Grid-Snap to Grid*.

## Acabado e impresión

Finalmente, se pueden añadir objetos o archivos en el *layout*, como imágenes, documentos de texto, dibujos.

Antes de dar por acabado el mapa, habrá que hacer pequeños cambios o retoques antes de darlo por concluido, ya que tendremos que hacer algunas comprobaciones:

- Ver cuáles son los márgenes de nuestra impresora y comprobar que el diseño queda dentro de estos márgenes.
- Si el mapa lleva agujeros para la encuadernación o algún margen especial, asegurarnos de que hemos dejado el espacio adecuado para este propósito.
- Hacer una prueba de impresión y observar si los colores son los deseados y si hay problemas entre colores muy similares que no se distingan bien al imprimir. Evaluar también la estética del mapa, los tamaños de las letras, si se leen bien o quedaron demasiado grandes. Todo esto es necesario ya que lo que vemos en la pantalla no siempre se corresponde con la realidad del papel.

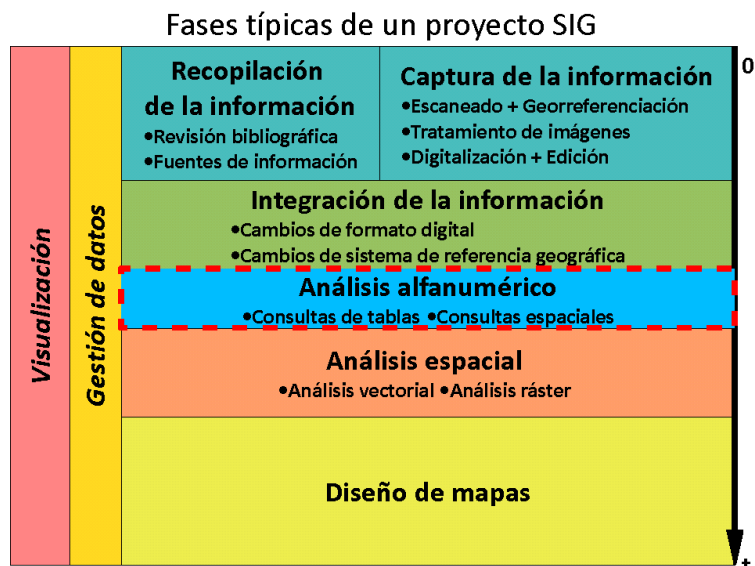
Por último, si no vamos a imprimir directamente desde el programa, desde ArcMap debemos exportar el mapa a un formato adecuado, evitando, si es posible, los formatos de imagen como JPG, TIF, BMP, etc. Estos formatos no conservan la escala, estropean la parte vectorial de un mapa y a veces los colores, si bien, son buenos para la visualización en pantalla, el JPG ocupa poco y sirve, por ejemplo, cuando tenemos que enviar una vista por Internet. En ocasiones estos formatos nos pueden ser útiles para introducir una imagen de un mapa en un documento de texto o una presentación de diapositivas. Para imprimir podemos utilizar formatos vectoriales o mixtos, tales como EPS, PDF, AI. Si vamos a imprimir en una tienda especializada el EPS será la mejor opción si tienen los medios adecuados, ya que éste es un formato exclusivo de impresión que conserva todas las propiedades del documento inalterables, el inconveniente es su gran tamaño. Una solución más casera es usar el PDF que es un documento de Adobe Acrobat, es además un formato que combina partes vectoriales y de imagen, normalmente no altera mucho las propiedades del mapa pero a veces sí da problemas, hay que manejarlo con precaución en el tema de las escalas.



## Análisis alfanumérico

Ortega Pérez, E. (2007); Valentín Criado, A. C. (2007); Martín Fernández, L. (2004); Mancebo Quintana, S. (2008); Sánchez Vicente, A. (2006); Espluga González de la Peña, A. P. (2004)

El análisis alfanumérico consiste en la obtención de información nueva a partir de los atributos de las entidades espaciales, disponibles en las tablas de las capas. Estos análisis incluyen consultas, resúmenes estadísticos, nuevos datos a partir de los ya existentes, etc. Las consultas se utilizan para extraer información de los datos geográficos, aprovechando tanto las capacidades gráficas como las capacidades de las bases de datos asociadas a la información geográfica que se puede integrar en un SIG.



### Tipos de consultas:

- Directa: con el botón de información o con la herramienta de selección sobre algún elemento de la parte gráfica.
- Gráfica: aprovechando las cualidades topológicas de la información geográfica y la relación entre los puntos, líneas y polígonos de las distintas capas.
- En base de datos: mediante sentencias de consulta en formato SQL

Es importante señalar la interrelación e interactividad que hay entre los datos espaciales y la base de datos. Todo lo que resulte seleccionado en la base de datos, queda seleccionado en los datos espaciales y viceversa. Por tanto, nos podemos servir tanto de los datos espaciales como de la base de datos para realizar nuestras consultas.


Por lo general, las consultas implican una selección de elementos pertenecientes a una capa. En muchos SIG, **una vez hecha la selección, las distintas operaciones de análisis que se realicen utilizando esta capa sólo tendrán en cuenta la selección previa.**


## 1 Consultas directas

Las consultas directas son el método más sencillo de extraer información de los datos geográficos. Se usan los datos espaciales de una única capa y es posible establecer las capas sobre las que se puede ejecutar las herramientas de selección.


Se pueden realizar pidiendo información sobre alguna entidad espacial, apareciendo los datos de la base de datos asociados a esa entidad.

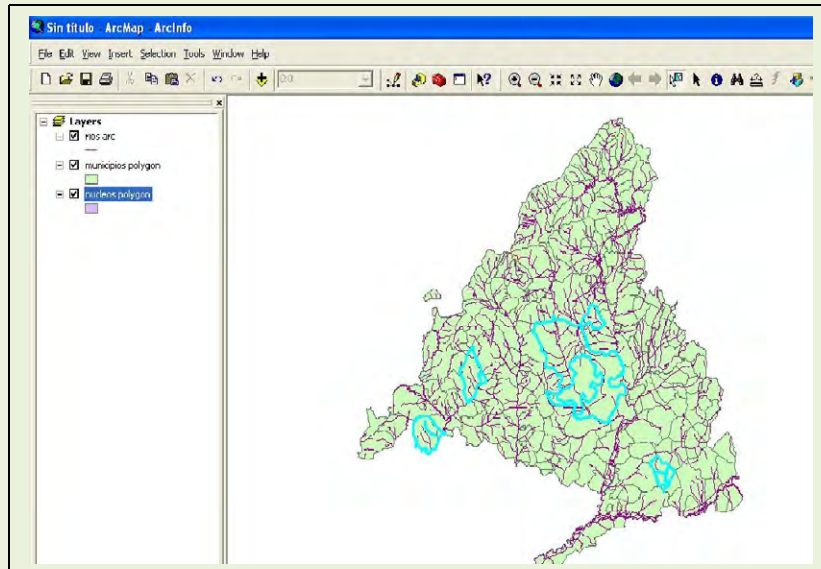
También se pueden realizar con las herramientas de selección. Posteriormente, abriendo la base de datos se obtiene la información de las entidades que hemos consultado.

Pinchando con el botón de información , sobre algún elemento espacial, aparecen los datos de la base de datos asociados a ese elemento.

También se pueden realizar con las herramientas de selección , pinchando o realizando un recuadro sobre los elementos espaciales. Abriendo la base de datos se obtiene la información de los elementos en los registros de la tabla que han quedado seleccionados.

### Gráficamente: seleccionar elementos de una capa

**Select Features** : esta herramienta le permite seleccionar uno o varios elementos a la vez de una capa. Cambiará de color indicando qué está seleccionado.

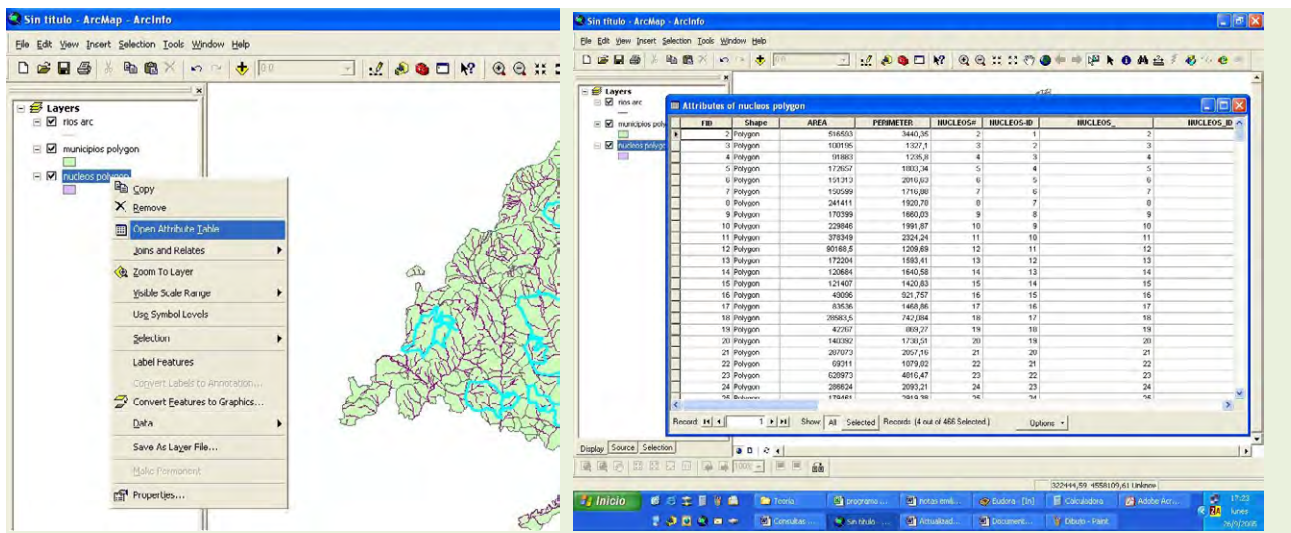


Se pueden seleccionar varios elementos a la vez, haciendo una caja sobre los elementos a seleccionar o presionando la tecla mayúsculas y seleccionándolos uno por uno sin soltar dicha tecla. Se puede visualizar la selección en la tabla de atributos de la capa.

### Base de datos: consultar las tablas de atributos

**Open Attribute Table**: esta herramienta permite consultar los valores que contiene un tema en su tabla de atributos, así como modificarlos, ordenarlos, seleccionar registros, etc.

Aparece la tabla de atributos del tema seleccionado. Si uno o varios registros aparecen de diferente color es por que están seleccionados. Cada registro o fila representa un elemento geográfico del mapa (polígono, punto, línea).



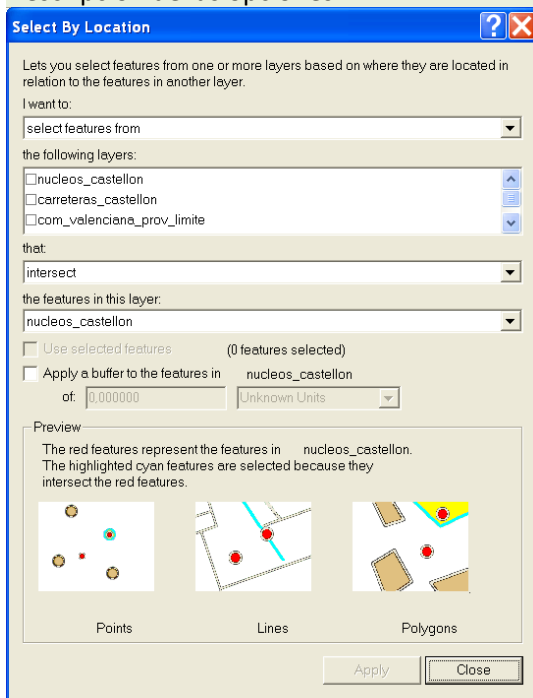
## 2 Consultas gráficas

Las consultas gráficas son métodos de selección por atributos y características de la información geográfica basados en criterios gráficos: intersecciones, cruces, pertenencia,....

En este tipo de consultas se van a usar las características espaciales de una capa, para seleccionar los elementos geográficos de otra capa que cumplen unas condiciones.

Este tipo de consultas en ArcGIS se llaman *Select By Location* dentro del menú *Selection*.

Descripción de las opciones:



- *Intersect*: selecciona los elementos que son intersectados por lo seleccionado.
- *Are within a distance of*: selecciona los elementos que están a una distancia menor de ..... de lo que está seleccionado.
- *Completely contain*: selecciona polígonos (continente) que contienen completamente las entidades señaladas.
- *Are completely within*: selecciona los elementos que están completamente dentro (contenido) de un polígono (continente)
- *Have their center in*: selecciona elementos que tienen su centro o centroide dentro de las entidades señaladas.
- *Share a line segment*: selecciona líneas y polígonos (no vale para puntos) que comparten segmentos con los seleccionados.

- *Touch the boundary of*: selecciona líneas y polígonos (no vale para puntos) que tocan los límites de los elementos seleccionados (no cruzan).
- *Are identical to*: selecciona los elementos idénticos a los que están seleccionados.
- *Are crossed by the outline of*: ( $\approx$  *intersect*) selecciona elementos que tocan el límite de lo seleccionado (no para puntos). Se diferencia de *intersect* que por ejemplo no selecciona líneas dentro de un polígono que no toquen el límite, *intersect* sí lo hace.

- *Contain*: ( $\approx$  *completely contain*) selecciona elementos (continente) que contienen todo o parte de las entidades señaladas (diferencia con *completely contain*). Incluye también a los que tocan el borde.
- *Are contained by*: ( $\approx$  *are completely within*) selecciona los elementos que están dentro, todo o en parte, (contenido) de un polígono (continente). (diferencia con *are completely within*). Incluye también a los que tocan el borde.

### 3 Consultas en la base de datos

De modo general para realizar una consulta en una base de datos hay que emplear un lenguaje específico, pero los SIG suelen tener un interfaz diseñado expresamente para realizar las consultas de manera sencilla.

Muchos SIG admiten y emplean el lenguaje estándar SQL (*Structured Query Language*) para la realización de las consultas. La notación en este caso es la siguiente:

```
select * from <tabla> where <condición>
```

que se traduciría por “selecciona todos los registros de la tabla llamada <tabla> que cumplan la condición <condición>”.

La condición es una expresión cuyo resultado es verdadero o falso. Las expresiones están formadas por campos, operadores y valores:

```
<campo> <operador> <valor>
```

```
area = 50 000
```

así, cuando un registro presenta en el campo “area” un valor igual a 50 000 el resultado de la expresión es verdadero y el registro resultará seleccionado.

Los operadores para valores numéricos son: = ; <> ; < ; > ; <= ; >=

```
<campo> <> <valor>
```

resultará verdadero cuando el valor del campo sea distinto a <valor>.

Cuando se comparan cadenas de texto, los valores se ponen con comillas y los operadores son: = ; <> ; *like*. El operador *like* realiza una comparación usando caracteres comodín. El carácter “\_” representa cualquier letra o número y el carácter “%” representa cualquier conjunto de números o caracteres.

```
<campo> like 'pin_'
```

resultará verdadero para valores como 'pino' o 'pini'

```
<campo> like 'pin%'
```

resultará verdadero para los valores anteriores y otros como 'pinus', 'pinea' o 'pinicola'

El operador *Not* (no) devuelve lo contrario, si verdadero, falso; si falso, verdadero.

Además, se pueden concatenar condiciones en una misma expresión usando operadores de conjuntos (booleanos) y paréntesis para asegurar la correcta evaluación de la condición:

*And* (y): el resultado es verdadero si se cumplen las dos condiciones.

*Or* (o): el resultado es verdadero si se cumple al menos una de las dos condiciones.

El orden de chequeo de las condiciones es de izquierda a derecha, los paréntesis permiten modificar este orden:

```
area = 200 or area > 50 and area < 100
```

```
area = 200 or ( area > 50 and area < 100 )
```

en la primera expresión un registro de área 200 no quedará seleccionado: V o F y F = V y F = F

en la segunda sí: V o ( V y F ) = V o F = V

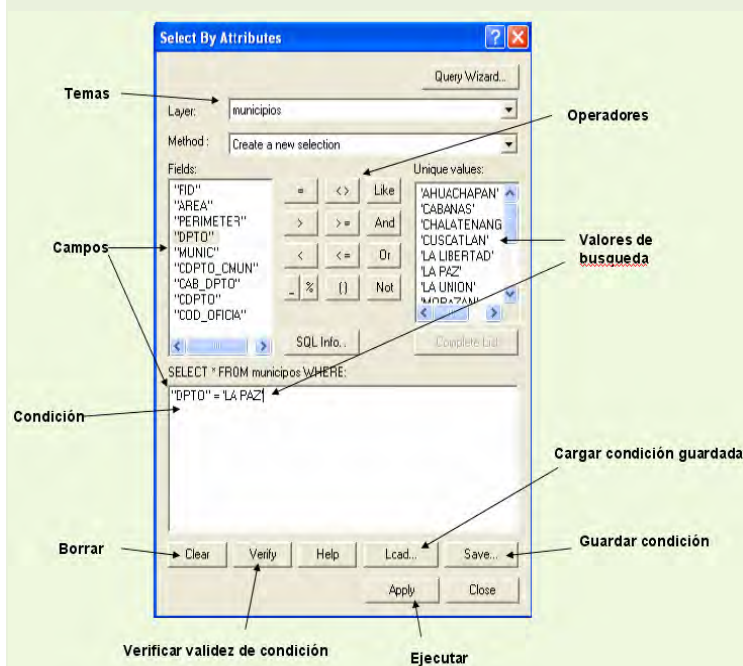
Finalmente, la palabra *NULL* representa un valor vacío, sin especificar:

<campo> is NULL

seleccionará los registros cuyo <campo> esté vacío, y, al contrario:

<campo> is not NULL

En ArcGIS se accede al interfaz desde el menú principal *Selection–Select By Attributes*, o también pinchando sobre una capa –botón derecho– *Open Attribute Table–Options–Select By Attributes*. En ambos casos se abre el cuadro de diálogo siguiente:

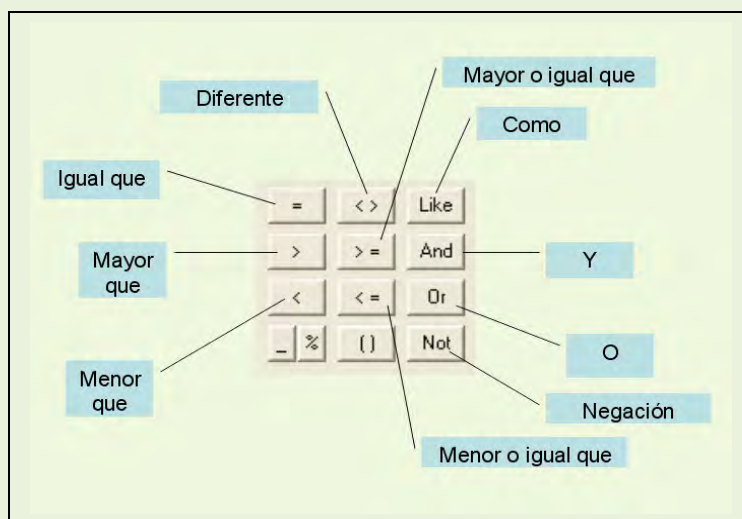


El cuadro de diálogo pregunta:

- Capa sobre la que se quiere realizar la consulta
- Método: crear una selección, seleccionar sobre lo ya seleccionado...
- *Fields*: campos para realizar la selección, es este recuadro aparecen todos los campos de la tabla
- *Unique values*: recuadro de la derecha donde aparecen los registros del campo seleccionado
- *Select from*: recuadro para escribir las condiciones buscadas. Para los atributos numéricos las expresiones pueden incluir constantes, funciones o valores de otros campos de la tabla. Para

atributos de texto las expresiones pueden incluir caracteres de texto que se escriben o de otros campos.

Los operadores lógicos que aparecen son los siguientes, permitiéndose la combinación de varios de ellos en una misma selección.





## 4 Operaciones básicas de manejo de la base de datos en ArcGIS

Se dispone de una serie de opciones para operar con la base de datos, botón *Options*:

- **Select All:** Selecciona todos los registros
- **Clear Selection:** Deja de seleccionar registros
- **Switch Selection:** Los registros no seleccionados pasan a estar seleccionados y viceversa.
- **Add Field:** Una de las operaciones más comunes consiste en añadir campos de nueva creación a una base de datos. Esta operación en ArcGIS 9.2 se realiza a través del comando *Add Field* que aparece en la pestaña *Options* de la tabla de atributos. Al pinchar sobre él, aparece el cuadro de diálogo que requiere la siguiente información:
  - Nombre del campo a crear
  - Tipo: *integer* (corto, largo), *float* (15 decimales), *double* (30 decimales), *text*, *date*, *blob* (permite introducir objetos)
  - Propiedades: número de decimales, número de caracteres...
- **Delete Field:** Borra un campo creado, seleccionarlo con el botón derecho y pinchando sobre *Delete Field*.
- **Related Tables:** Nos indica si hay alguna tabla relacionada con la base de datos que estamos visualizando.
- **Create Graph:** Este comando nos sirve para crear un gráfico a partir de la tabla de datos, bien a partir de una selección o del total de los registros de dicha tabla. Elegiremos el tipo de gráfico que queramos y después el campo o campos que queramos que aparezcan en el gráfico. A continuación podremos poner título al gráfico, etiquetas a los ejes, etc. Finalmente podremos incluirlo en el *layout*, guardarlo como gráfico, etc.
- **Export:** Este comando nos permite exportar la tabla como dBase (.dbf), texto (.txt), etc. para después poder trabajar con ella en cualquier otro programa (e. g. Excel). Esta opción sólo nos exporta los datos alfanuméricos y no la parte gráfica.
- **Appearance:** Permite cambiar los parámetros de visualización de la tabla, los colores con los que identificar los elementos seleccionados, etc.
- **Sort:** Permite ordenar los registros de una capa en orden ascendente o descendente en el caso de números y por orden alfabético en el caso de textos.
- **Find & Replace:** Se utiliza para buscar y/o remplazar algún atributo concreto en una base de datos.
- **Statistics:** Proporciona valores estadísticos, como la media, la suma, etc. de los valores presentes en las características de la capa.
- Para poder escribir directamente de forma manual sobre el campo nuevo hace falta tener abierta la sesión de edición, para ello en el menú *Editor*, *Start Editing*, al finalizar, *Stop Editing*. Las variables del nuevo campo pueden ser específicas o derivadas de otros campos y la mejor opción suele ser crearlas mediante el comando *Calculate Values* o *Field Calculator* (v. 9.2).

El menú *Selection* incluye más herramientas para trabajar con las selecciones, entre otras:

- **Zoom To Selected Features:** Zoom a elementos seleccionados. Muestra directamente el o los elementos seleccionados.
- **Clear Selected Features:** Limpia o cancela una selección de entidades. Limpia de la memoria los elementos seleccionados de la capa. Se puede realizar para el conjunto de las capas o solamente para alguna de las capas con una selección previa.



## 5 Resumen de una tabla

El resumen de una tabla consiste en la agregación de los datos de uno o varios campos basándose en los valores únicos de otro campo. Se crea una tabla nueva sin información geográfica en la que se agrega un registro por cada valor distinto del campo seleccionado, y se crea un campo nuevo donde se indica el número de veces que aparece cada uno de estos valores en la tabla de origen (frecuencia). Se utiliza para contar elementos con igual valor y simplificar tablas. También permite la agregación de campos numéricos aplicando estadísticos (suma, media, desviación, etc.).

En ArcGIS se llama *Summarize*. Se accede al menú pinchando con el botón derecho sobre el nombre del campo que queremos resumir.

En el siguiente ejemplo, se ha hecho un *summarize* por el campo "camino" agregándose la suma del campo longitud ("length"), resultando una tabla de tipos de caminos sin duplicados con la longitud total para cada uno de ellos.

The screenshot shows the 'Summarize' dialog box in ArcGIS. The background is a table with columns: FID, Shape\*, ID, CAMINO, and LENGTH. The dialog box has the following settings:

- 1. Select a field to summarize: CAMINO
- 2. Choose one or more summary statistics to be included in the output table:
  - FID
  - ID
  - LENGTH
    - Minimum
    - Maximum
    - Average
    - Sum
    - Standard Deviation
    - Variance
- 3. Specify output table: D:\Sum\_Output.dbf
- Summarize on the selected records only

The screenshot shows the 'Attributes of Sum\_Output' dialog box. The background is the same table as in the previous screenshot. The dialog box displays the following summary table:

OID	CAMINO	Count_CAMINO	Sum_LENGTH
0	rural	15	2258,62
1	urbano	9	1987,69

## 6 Unir y relacionar tablas

Muy a menudo es necesario añadir información relacionada a un mapa. Si esta información está registrada en formato de tabla se puede unir a la tabla de la capa sobre la que estamos trabajando. Para asociar una tabla a una capa, la tabla de atributos de la capa y la tabla a asociar, según las propiedades de las bases de datos relacionales, tienen que tener un campo común. No tiene que llamarse exactamente igual, pero tienen que ser del mismo tipo (texto, entero, real,...).

La información requerida para realizar la unión es la siguiente:

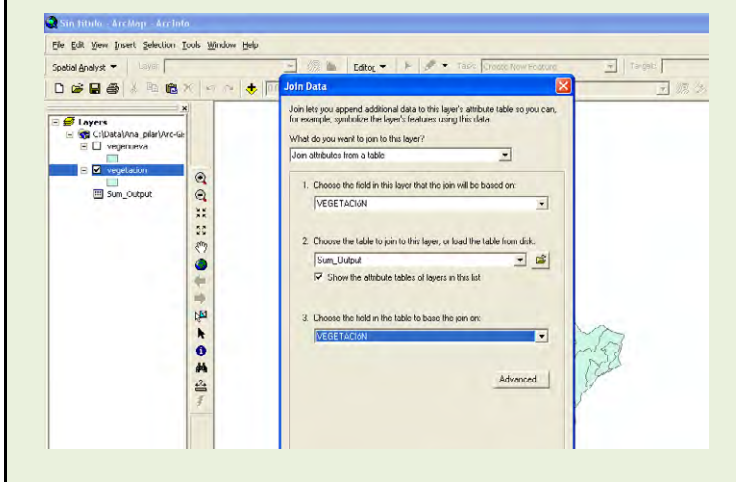
- ¿Qué se quiere unir a esta capa?: atributos recogidos en una tabla
- Nombre del campo de la capa en la que se va a basar la unión
- Nombre de la tabla a unir
- Nombre del campo de la tabla para realizar la unión (campo común al de la capa)

La nueva tabla asociada a la capa es la unión de las dos y es virtual. Si queremos guardar la capa con los datos asociados habría que exportarla.

ArcGIS tiene dos comandos para relacionar tablas:

- **Join:** la tabla se anexa a la tabla de atributos del mapa o a otra tabla.
- **Relate:** la tabla no se anexa, pero se establece una interrelación entre las dos tablas y al seleccionar los elementos en la tabla del mapa se seleccionan en la otra tabla, o al revés.

A estos comandos se accede con el botón derecho sobre la capa, **Joins and Relates**.



Cuando establecemos una relación **relate** las tablas no se unen físicamente. Cuando hacemos una selección en la capa en la que se basa la relación y queremos ver los resultados en las tablas que han sido relacionadas, necesitaremos abrir la tabla de la capa **Open Attribute Table** y elegir **Related Tables** en el botón **Options**. Haciendo clic en la relación que nos interesa, se abrirá la tabla relacionada y podremos ver los registros que se corresponden con los seleccionados en la capa origen, y los valores resultantes.

### Relación por localización:

Existe otra opción que nos permite incorporar datos a través de la conexión geográfica entre dos capas. Es decir, en vez de usar un campo común entre dos tablas, se utiliza la correspondencia espacial para asignar a los elementos de una capa los atributos de otra capa con la que comparte la misma localización geográfica. Esta asignación es más compleja y requiere que la relación topológica entre los elementos de ambas capas sea coherente.

La relación por localización en ArcGIS está disponible desde la herramienta **Join**, seleccionando en la primera pestaña **Join data from another layer based on spatial location**

## 7 Editar y modificar datos de una tabla en ArcGIS

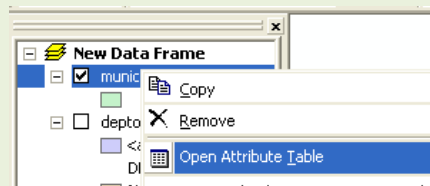
**ArcMap** le permite modificar los datos de la tabla, uno por uno o en base a una selección de acuerdo a un criterio.

### Editar los campos de forma manual, uno por uno:

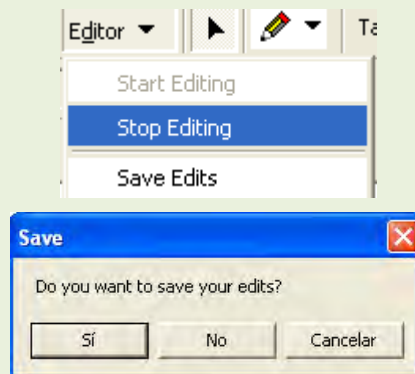
1. Activar la modalidad de edición, seleccionando **Editor-Start Editing**



2. Haga clic derecho sobre la capa y seleccione **Open Attribute Table**.



3. La tabla de atributos se abre, ahora ya se pueden editar los valores de la tabla uno por uno.
4. Al terminar la edición, seleccione **Editor-Stop Editing**, y luego acepte los cambios que ha realizado en la tabla si así lo desea.



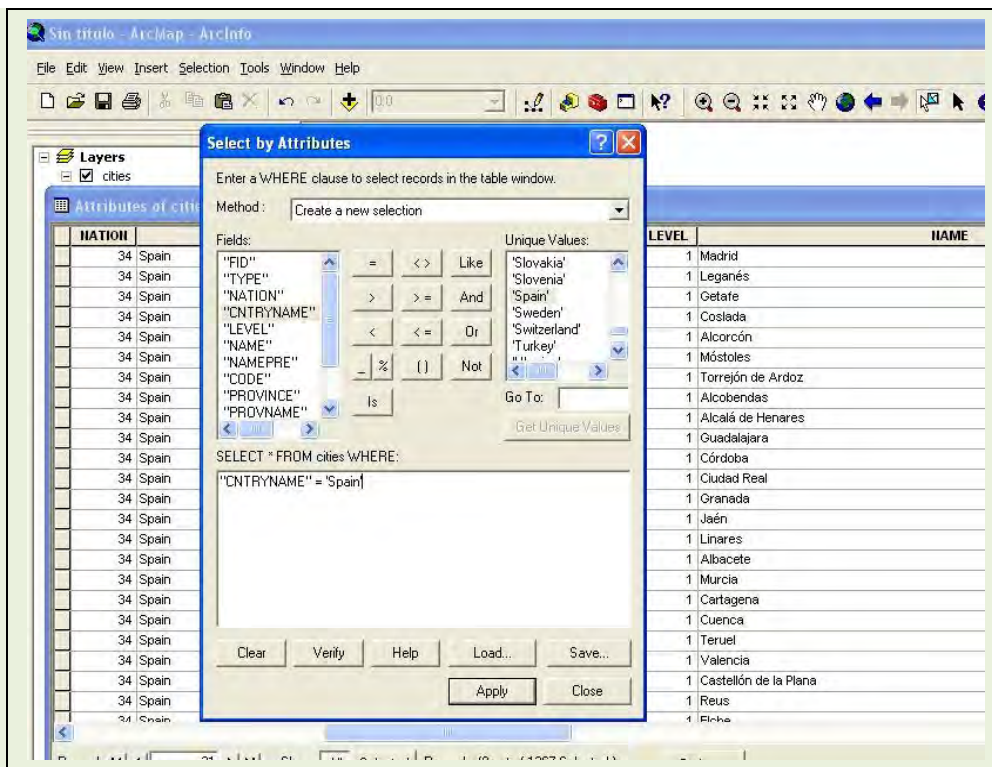
### Modificar varios registros automáticamente: **Find & Replace**

La herramienta *Find & Replace* nos permite buscar y remplazar una cadena de caracteres por otra en todos los campos y registros seleccionados. Solo se activa el reemplazo en modo edición.

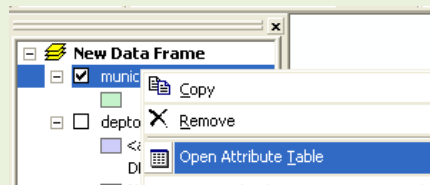
### Modificar varios registros automáticamente: **Field Calculator**

Este comando nos permite calcular operaciones aritméticas y alfanuméricas. Hasta la versión de 9.1 de ArcGIS se denominaba *Calculate Values*. La operación solo se efectúa en los registros seleccionados. Por ejemplo: podremos modificaremos el nombre del país de "SPAIN" por "ESPAÑA".

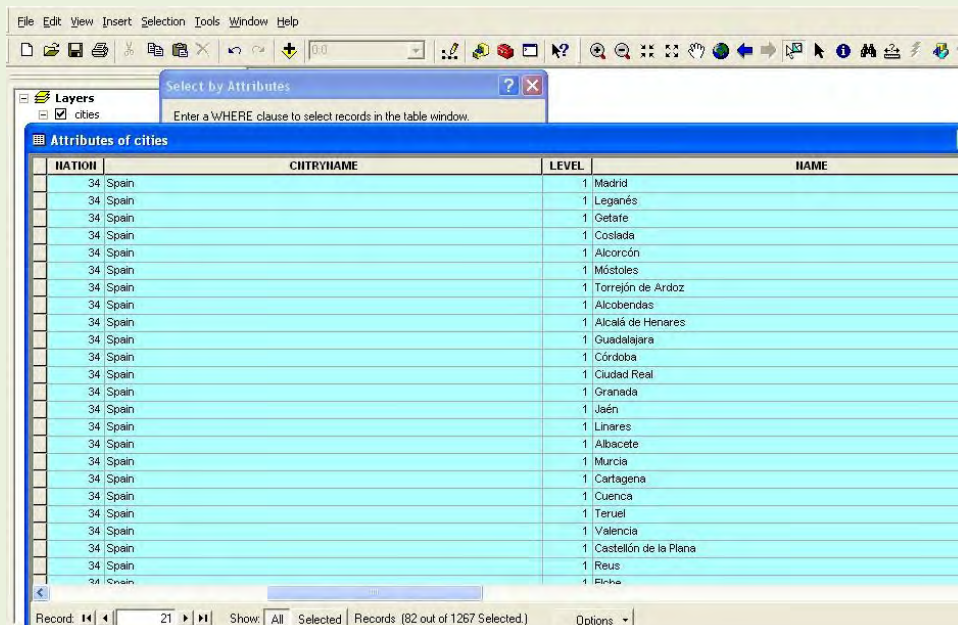
1. No es necesario activar la edición (*Editor-Start Editing*)
2. En la barra de menú seleccione **Selection-Select By Attributes**
3. Realice la siguiente selección y luego clic en **Apply**:



4. Haga clic derecho sobre el tema de “Municipios” y seleccione **Open Attribute Table**



5. La tabla de atributos se abre, haga clic en **Selected** para mostrar solo los registros seleccionados:



6. Haga clic sobre el encabezado del campo “CNTRYNAME”, este cambiará de color indicando que será sobre esa columna donde se realizarán los cambios. Seleccione **Calculate Values** o **Field Calculator** (v. 9.2).





## 8 Análisis alfanumérico con Arc/Info

Gran parte de las operaciones en las tablas se realizan más cómodamente en ArcGIS Desktop y la capacidad de Arc/Info para realizar consultas gráficas y por localización son muy limitadas. Si bien, cuando se manejan grandes tablas o en la preparación de algunos análisis espaciales, es conveniente el manejo de las tablas desde Arc/Info.

### Entrada en el gestor de bases de datos de Arc/Info

El gestor de bases de datos de Arc/Info se llama Info y existen dos interfaces para manejarlo, *info* y *tables*. El manejo es más sencillo con el módulo *tables*:

```
Arc: tables
```

Muchos de los comandos necesitan que se especifique la tabla sobre la que se va a trabajar, lo que se realiza con *select*:

```
Usage: select {info_file} {RO}
```

```
Tables: select tabla
```

Por defecto las tablas se ponen en edición en el momento de ser seleccionadas, para evitarlo se puede usar el parámetro *{RO}*, *RO* significa *read only* o sólo lectura:

```
Tables: select tabla ro
```

Una vez seleccionada una tabla, se puede listar los campos con la orden *it* (*items*) y los registros con la orden *list*:

```
Tables: it
```

COLUMN	ITEM NAME	WIDTH	OUTPUT	TYPE	N.DEC	ALTERNATE NAME	INDEXED?
1	TABLA#	4	5	B	-		-
5	TABLA-ID	4	5	B	-		-
9	NOMBRE	10	10	C	-		-
19	CANTIDAD	8	9	F	3		-

### Tipos de campos en Arc/Info

Los tipos de campo más comunes en Arc/Info y sus homólogos en ArcGIS Desktop son:

- *B (Byte)*: el ancho puede ser de 2 ó 4 bytes:
  - *B 2* (equivalente a *Short integer*): números enteros entre -32.768 y 32.767, usan 2 bytes.
  - *B 4* (equivalente a *Long integer*): números enteros entre -2.147.483.648 y 2.147.483.647, usan 4 bytes
- *F (Float)*: el ancho puede ser de 4 ó 8 bytes:
  - *F 4* (equivalente a *Float*): números reales con 7 cifras significativas, usan 4 bytes
  - *F 8* (equivalente a *Double*): números reales con 15 cifras significativas, usan 8 bytes
- *C* (equivalente a *Text*): textos hasta 320 caracteres, ocupan un byte por carácter
- *D* (equivalente a *Date*): fechas y horas

### Consultas en Arc/Info

Las consultas o selecciones se realizan utilizando tres comandos: *res* (*reselect*) *asel* (*aselect*) *nselect* (*nselect*). La sintaxis de las condiciones es equivalente a la del lenguaje SQL ya descrito.



Cuando se selecciona una tabla con el comando *select* todos los registros están seleccionados.

El comando *res* selecciona, a partir de todos los registros que ya están seleccionados, los que cumplan una condición:

```
Tables: res cantidad < 10 and nombre = 'Quercus'
```

El comando *asel* añade, a los registros ya seleccionados, los que cumplan una condición:

```
Tables: asel cantidad > 20
```

Este comando sin parámetros selecciona todos los registros, perdiéndose la selección actual:

```
Tables: asel
```

El comando *nselect* selecciona los no seleccionados y viceversa:

```
Tables: nselect
```

## Operaciones básicas con tablas en Arc/Info

*Additem* permite añadir un campo a una tabla:

```
Usage: ADDITEM <info_file> <item_name> <item_width> <output_width>  
<item_type> {decimal_places} {start_item}
```

```
Tables: additem tabla altura 4 9 f 3
```

A diferencia de ArcMap, el campo se puede insertar en cualquier posición de la tabla gracias al parámetro *{start\_item}*.

*Dropitem* permite eliminar campos de la tabla:

```
Usage: DROPITEM <info_file> <item...item>
```

```
dropitem tabla cantidad altura
```

A diferencia de ArcMap, se pueden eliminar varios campos simultáneamente.

*Sort* permite ordenar los registros de la tabla:

```
Usage: SORT <item {(D)}...item {(D)}>
```

```
sort cantidad altura (d)
```

Si se añade el parámetro opcional *{(D)}* el orden es inverso (*Descending*).

A diferencia de ArcMap, cuando se cierra la tabla, el nuevo orden de los registros permanece.

## Resumen de una tabla en Arc/Info

El comando en Arc/Info es *Statistics*:

```
Usage: STATISTICS {case_item} {info_file}
```

El parámetro *{case\_item}* permite especificar el campo a partir del cual se genera el resumen. *{info\_file}* es el nombre de la tabla de salida. Este comando, una vez ejecutado presenta una interfaz propia que permite indicar qué estadísticos se desea calcular a partir del resto de campos numéricos:

```
Tables: statistics especie tabla_especies
```

```
Statistics: mean altura
```

```
Statistics: sum cantidad
```

```
Statistics: end
```

Los estadísticos son:

- *sum* - suma
- *mean* - media
- *min* - mínimo

- *max* - máximo
- *standarddeviation* – desviación estándar

Además, permite realizar agregaciones ponderadas a otro campo.

### Unir y relacionar tablas en Arc/Info

Los comandos en Arc/Info son: *joinitem* y *relate*.

*Joinitem* realiza un anexo permanente, pudiéndose sobrescribir la tabla de entrada o guardarse el resultado en una tabla nueva. Este comando se ejecuta desde el módulo principal, *arc*:

```
Usage: JOINITEM <in_info_file> <join_info_file> <out_info_file>
<relate_item>
           {start_item} {LINEAR | ORDERED | LINK}
Arc: joinitem tabla1 tabla2 tabla_nueva nombre
```

*Relate* realiza un anexo virtual, siendo muy parecido al *Join* de ArcMap.

### Editar tablas en Arc/Info

La modificación manual de tablas es muy incómoda, recomendamos hacerlo en ArcMap. Si bien, la modificación automática es sencilla y decenas de veces más rápida que en ArcMap.

El comando se llama *calculate* y es equivalente al *Field Calculator* de ArcMap:

```
Usage: CALCULATE <target_item> = <arithmetic_expression>
Tables: calculate volumen = 3,14 * diametro ** 2 * altura
```

Operadores: + ; - ; \* ; / ; \*\* ; LN ; WD

- \*\* es la exponenciación
- LN es el logaritmo neperiano
- WD devuelve la longitud en caracteres de una cadena de texto

### Salir del gestor de bases de datos de Arc/Info

Comando *q*:

```
Tables: q
```

# Gestión de datos

Martín Ramos, B. y Valentín Criado, A. C. (2007)

Las capas que contienen la información geográfica, en general, se componen de varios archivos o tablas en una base de datos, cuyo número y tipología variarán en función de su formato (cobertura, *geodatabase*, *shapefile*, etc.). Para muchos de estos formatos, el explorador de Windows es ineficaz para realizar correctamente la gestión de los datos SIG.

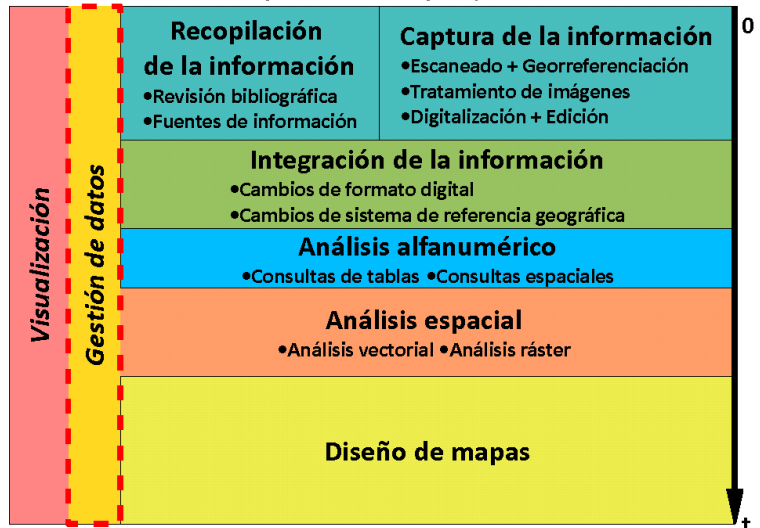
A lo largo de un proyecto de SIG se genera un gran número de capas nuevas, por lo que se debe ser sistemático y ordenado a la hora de nombrarlas y guardarlas.

Las capas necesitan el conjunto de todos los elementos que las componen para ser funcionales, por lo tanto a la hora de ser

organizadas en carpetas, transferidas, renombradas, creadas y eliminadas se deben usar gestores de datos específicos para SIG. De esta forma se evitará cometer errores en el proceso.

La correcta gestión de las capas también es importante a la hora de trabajar con mapas. Un mapa, en general, se compone de un conjunto de capas, que se guardan como hipervínculos en un archivo (por ejemplo, un \*.mxd en ArcMap), pero éste no contiene realmente la información geográfica, solo “sabe donde encontrarla”. Por ello no se debe olvidar que para poder visualizar y trabajar con el mapa es necesario que el archivo donde se guarda tenga un acceso correcto a las capas que lo componen.

## Fases típicas de un proyecto SIG



## 1 Gestión de datos en ArcGIS: ArcCatalog

ArcCatalog es una aplicación de ArcGIS que permite el acceso a los datos y a las herramientas de gestión y almacenamiento de los mismos, así como a la lectura y la creación de metadatos (datos que describen otros datos). ArcCatalog permite el manejo de la información cartográfica de forma más fácil y segura que con el explorador de Windows.

Otras funciones de la gestión de datos:

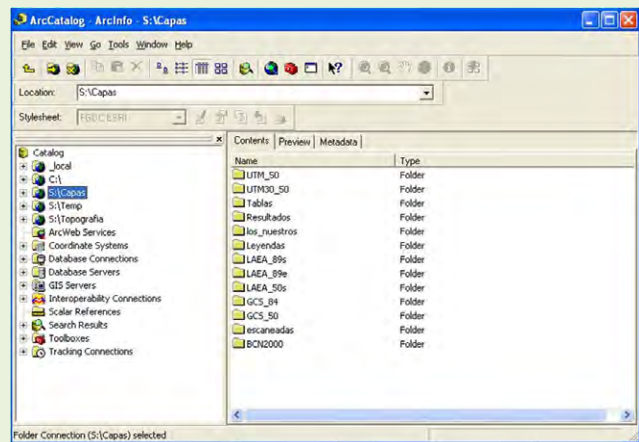
- Desde ArcCatalog tenemos la opción de crear nuevos archivos vacíos del tipo *shapefile*, *geodatabase*, etc. Para su posterior edición.
- Podemos hacer búsquedas de datos geográficos dentro de un directorio, por sus características, incluso en función de su localización espacial.
- Una función interesante es la de establecer conexiones directas con los directorios de trabajo, para poder acceder con agilidad a los datos, o vínculos a fuentes de información corporativa y externa, incluyendo Internet (*GIS Servers*). También se pueden ejecutar las desconexiones cuando ya no nos interesen.

- Adicionalmente, en ArcCatalog se pueden consultar y modificar los sistemas de coordenadas (*Coordinate Systems*) y crear otros nuevos.

## 1.1 Estructura y funcionamiento



Se puede abrir desde el conjunto de programas de ArcGIS o bien desde ArcMap. Una vez abierto aparecen 2 ventanas: una sirve para moverse a través de los distintos directorios que contienen la información (*catalog tree*) y la otra, la ventana principal, nos permite ver y gestionar los datos del elemento que hemos seleccionado en el *catalog tree*. En la parte superior de la ventana principal aparecen 3 pestañas: **Contents**, **Preview**, y **Metadata**.



### Contents

Si nos situamos en la pestaña *Contents* podemos **copiar, borrar y renombrar** los datos que estén dentro de la carpeta seleccionada, así como cargar la información directamente en ArcMap arrastrando los datos desde ArcCatalog. Además permite **crear** elementos nuevos, que luego pueden editarse, entre ellos se encuentran:

- Carpetas
- Tablas (Info y dBase)
- *Shapefiles* y coberturas (de tipo punto, línea, polígono, etc.) que se pueden dotar de referencia espacial.
- *ArcGIS Geodatabase*: Desde ArcCatalog se pueden crear nuevas bases de datos en formato *geodatabase*.
- Cajas de herramientas o *Toolboxes*.

En la ventana de contenidos se pueden visualizar los datos ordenados de la manera que más nos convenga, en distintos tipos de listados. Por ejemplo, si creamos y usamos los *Thumbnails* podremos tener una vista en miniatura de los datos.

### Preview

La pestaña *Preview* permite hacer una primera visualización tanto de la información gráfica como de la tabla de atributos asociada a cada capa. Desde aquí podemos consultar y visualizar los datos pero no podemos manipularlos de la misma manera que en ArcMap. Aún así disponemos de las herramientas de zoom, desplazamiento e información para manipular la parte gráfica, y en la tabla podemos ordenar los datos, consultar los estadísticos, hacer búsquedas, añadir y borrar campos y exportar.

### Metadata

Los metadatos son información adicional acerca de las capas de información, que facilita la gestión de los datos. Los metadatos van asociados a cada uno de los elementos que aparecen en ArcCatalog y se mueven con ellos si se utiliza esta aplicación para manejarlos. Informan sobre la referencia espacial, sobre los motivos por los que se creó la capa, sobre la escala apropiada para usar los datos, autores, derechos de uso, etc.

Los metadatos se pueden crear o editar en ArcCatalog, existiendo un conjunto de plantillas asociadas a varios estándares. En Europa recientemente se ha aprobado un estándar internacional sobre calidad cartográfica que incluye un formulario de metadatos (ISO 19115).

## 1.2 Elementos principales de una *geodatabase* que se pueden crear con ArcCatalog

### Feature class

Una *feature class* es una capa vectorial, que puede ser de puntos, de líneas o de polígonos. Cuando se crea una nueva *feature class* es importante establecer las **propiedades de la referencia espacial**: establecer el sistema de coordenadas.

Establecer el *X/Y Domain*: Se trata de un rectángulo definido mediante sus coordenadas mínimas y máximas. Éste área es el espacio donde vamos a poder trabajar. En función de la extensión del *X/Y Domain* el programa calcula la precisión de la *feature class*, cuanto mayor sea éste, menor será su precisión. La precisión en este caso, nos da el número de veces que podemos dividir la unidad de medida con la que estamos trabajando. Por ejemplo, si el sistema de coordenadas es UTM, cuya unidad es el metro, y obtenemos una precisión de 1 000, la mínima extensión que podemos medir sin cometer errores será 1 mm.

### Feature dataset

Se trata de un directorio de capas vectoriales al que se le puede definir un sistema de coordenadas. Cualquier capa que incluyamos dentro de este directorio, tomará automáticamente el sistema de coordenadas definido en el *feature dataset*.

### Raster dataset

Es un directorio con un sistema de coordenadas en el que se pueden introducir capas ráster.

# Cambios de formato

Mancebo Quintana, S. (2008)

El número de formatos existentes que contienen información geográfica es inmenso debido al gran número de SIG en el mercado y a la variedad de formas en que se puede almacenar la información. Así, en un típico proyecto SIG, nos veremos en la necesidad de manejar información en multitud de formatos. Gran parte de esta información será fácilmente transformable a nuestro SIG, sin embargo en ocasiones esta labor será compleja y acarreará una cierta pérdida o degradación de la información.

## 1 Transformación de CAD a SIG

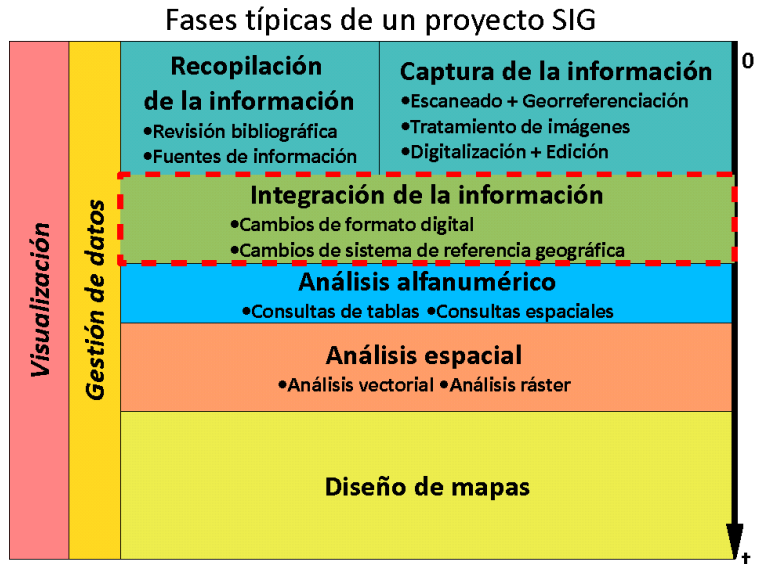
Tradicionalmente, muchos institutos geográficos nacionales y regionales elaboran su cartografía con programas de CAD con el fin de producir mapas y atlas en papel. Al ser el objetivo su impresión, se concebían como un dibujo, la información se plasma a través de la simbología y textos del mapa. En consecuencia, su transformación a SIG, a una base de datos georreferenciada no es un proceso inmediato, al menos si queremos realizar operaciones de análisis.

El proceso de transformación conlleva dos grandes tareas. La primera es el cambio de formato digital, de CAD a SIG, lo que es sencillo y rápido gracias a las herramientas que ofrecen los SIG. La segunda es la clasificación y asignación de atributos a las entidades del mapa, lo que puede ser muy complejo y tedioso.

Al tratarse de un dibujo de un mapa, aparecerán representados multitud de capas temáticas, por ejemplo en un mapa topográfico tendremos altimetría, hidrografía, usos del suelo, infraestructuras... por tanto, tras su transformación, habrá que proceder a clasificar y separar los distintos elementos para su análisis.

Los dibujos de CAD contienen principalmente elementos vectoriales, puntos, líneas, polígonos y textos o *annotation* pudiendo aparecer todos ellos en el mismo dibujo. Algunos formatos SIG como el *shapefile* solo admiten uno, por lo que la transformación conllevará la generación de hasta cuatro capas SIG con cada tipo de elemento.

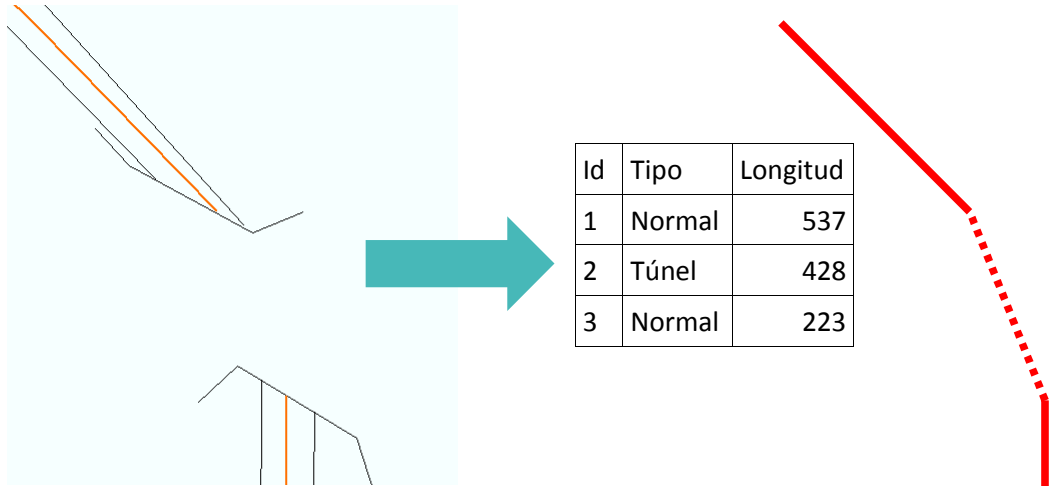
En principio, los dibujos de CAD no poseen tabla de atributos, si bien, las entidades del mapa sí presentan algunos atributos. En CAD, los distintos elementos del mapa se pueden organizar por "capas" o *layers*, y portan características relacionados con su representación como son el ancho, *thickness*, de líneas y perímetros, el *color* y otros. Estos atributos de su simbología suelen ser reconocidos en la transformación a SIG y se añaden a la tabla de atributos que se genera automáticamente en la operación. Así, si el dibujo CAD fue creado pulcramente, asignando la misma "capa" a los elementos afines, será sencillo realizar la separación de los elementos por capas temáticas, bastaría seleccionar en la tabla todas las entidades pertenecientes a una "capa" y extraerlos a una capa SIG.





En general, las curvas de nivel, puntos acotados y otros elementos sí presentan su elevación en los CAD ya que se trata de programas de dibujo 3D. Cuando se transforman a formato SIG, éstos suelen ser capaces de leer la elevación de las entidades del mapa y traspasarla a la capa vectorial, ya sea generando elementos 3D o añadiendo dicha elevación a la tabla de atributos.

Finalmente, puede ser necesario realizar una edición manual de algunos elementos. Para comprender mejor esta dificultad, valga de ejemplo la siguiente transformación de una vía con un túnel:



A la izquierda tenemos un dibujo de CAD con una carretera y un túnel, apareciendo el eje de la carretera, los laterales y varias líneas que simbolizan un túnel. Al transformarlo, tenemos la misma representación en SIG, que constará de 8 líneas (2 ejes, 4 laterales y 2 símbolos de túnel). Para realizar operaciones de análisis, por ejemplo, obtener la longitud del túnel, habrá que convertir este dibujo vectorial en verdadera información SIG: se identifican fácilmente los ejes por su color; se extraen a una capa SIG de carreteras; se digitaliza manualmente el eje subterráneo de la carretera y se identifica en la tabla de atributos como túnel; se realiza el análisis SIG añadiendo las longitudes. Dependiendo de la abundancia de este tipo de simbologías dibujadas en el mapa, es posible imaginar el tiempo necesario para la correcta transformación de un dibujo CAD en capas SIG.

## 1.1 Transformación de CAD a SIG en ArcGIS

En ArcMap la visualización de dibujos CAD no requiere de ninguna transformación previa, basta con añadir la capa al mapa. En la versión 9.2 se crea un grupo que contiene los distintos elementos del CAD, puntos, líneas, polígonos, *annotation* y *multipatch*.

La conversión a formato SIG se puede realizar de dos maneras:

- exportando el dibujo CAD a *shapefile* o *geodatabase* desde el menú contextual, botón derecho sobre el nombre de la capa, *Data-Export Data*
- utilizando las herramientas disponibles en ArcToolbox:
  - a *shapefile*: *Conversion Tools-To Shapefile-Feature Class to Shapefile*
  - a *geodatabase*: *Conversion Tools-To Geodatabase-varias herramientas*
  - a *cobertura*: *Conversion Tools-To Coverage-Feature Class to Coverage*

Todas estas herramientas son muy sencillas de usar, solicitando los elementos de CAD que se quieren transformar y el nombre de la capa de salida o de un directorio si se generan varias capas en el proceso.

## 2 Transformación de otras capas SIG a ArcGIS

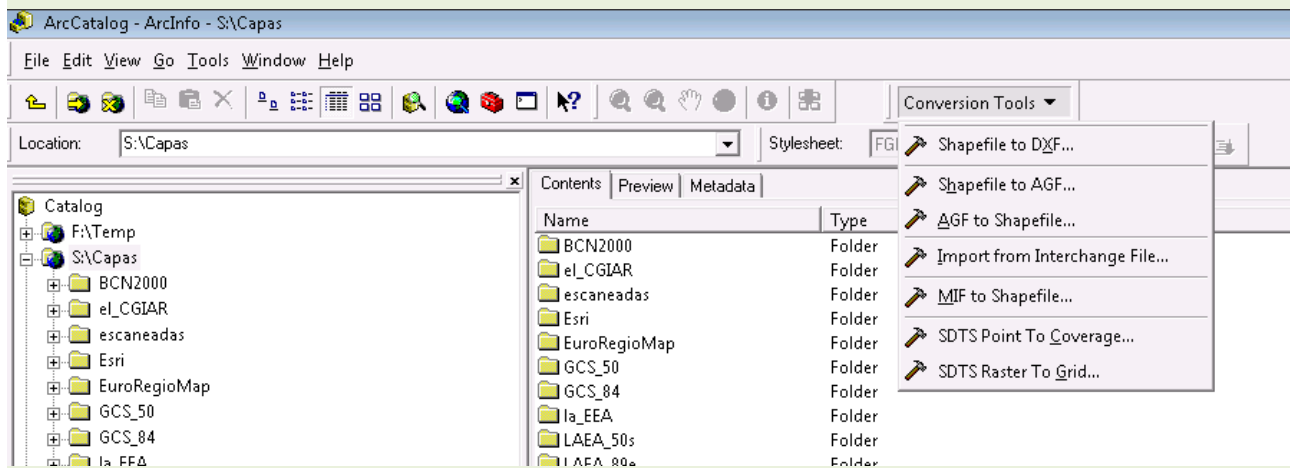
El proceso de transformación se realiza con las mismas herramientas que en el caso anterior, si bien, al provenir la información de otros formatos de SIG, no debería haber ninguna pérdida de información, ni la necesidad de realizar operaciones posteriores.

### 2.1 Transformación de archivos E00

El formato E00 o archivo de intercambio (*interchange file*) es nativo de ESRI y se emplea para compartir capas de manera sencilla ya que un solo archivo puede contener una capa. El E00 puede contener solo elementos compatibles con Arc/Info Workstation, como una cobertura, un *grid*, un *stack*, una tabla tipo *info*...

Para importar este tipo de archivos y regenerar las capas originales existen dos posibilidades:

- Si se dispone de ArcGIS versión ArcInfo y se ha instalado Arc/Info Workstation, estará disponible la herramienta *ArcToolbox-Coverage Tools-Conversion-To Coverage-Import From Interchange File*.
- En todas las versiones tenemos una barra de herramientas en ArcCatalog, *ArcView 8x Tools* donde encontraremos la herramienta *Import From Interchange File*.



En ambos casos la transformación es muy sencilla, solo hay que especificar el archivo E00 que se quiere importar y el nombre de la capa de salida. Al tratarse de coberturas, *grids*... hay que seguir las convenciones que tienen los nombres de archivo de Arc/Info, es decir, nombres cortos sin caracteres especiales y sin extensión.

### 2.2 Transformación de tablas a ArcGIS

ArcGIS permite visualizar varios formatos de tabla sin realizar ningún tipo de conversión. Por ejemplo, permite ver tablas contenidas en bases de datos de Access o en otras bases de datos corporativas (Oracle, SQL Server...) tablas en formato texto y hasta libros de Excel.

La conversión se puede realizar de dos maneras:

- exportando la tabla a dBase o *geodatabase* o *info*... desde el menú contextual, botón derecho sobre el nombre de la capa, *Data-Export Data*
- utilizando las herramientas disponibles en ArcToolbox:
  - a dBase: *Conversion Tools-To dBASE-Table to dBASE*
  - a geodatabase: *Conversion Tools-To Geodatabase-varias herramientas*
  - a cobertura: *Conversion Tools-To Coverage-Feature Class to Coverage*

Todas estas herramientas son muy sencillas de usar, solicitando la tabla que se quieren transformar y el nombre de la tabla de salida o de un directorio si se generan varias tablas en el proceso.

En ocasiones, cuando la tabla se encuentra en un formato no específico de bases de datos, como Excel o texto, la visualización y transformación no se realiza con éxito. Es habitual que este problema sea consecuencia de los nombres de los campos contenidos en la tabla ya que ArcGIS exige que sean sencillos, esto es, cortos, sin espacios ni caracteres especiales... En estos casos bastará con simplificar los nombres de los campos desde Excel o un editor de textos.

## 2.3 Transformación de tablas de coordenadas a capas de puntos

En ocasiones nos encontraremos con listas de puntos almacenadas en una tabla, con campos que contienen las coordenadas de los puntos x, y o latitud y longitud, y otros campos con otros atributos. El proceso de transformación a una capa de puntos es sencillo:

- Primero se añade la tabla a ArcMap.
- A continuación se usa la herramienta que aparece en el menú contextual de la tabla (botón derecho sobre el nombre de la tabla) *Display XY Data*. Esta herramienta pregunta qué campos contienen las coordenadas de los puntos y crea una capa virtual, esto es, dicha capa solo existe en el documento. Opcionalmente se puede especificar el sistema de referencia en el que se encuentran las coordenadas de los puntos.
- Finalmente, se crea una capa en formato *shapefile* o *geodatabase* a través del menú contextual, *Export Data*.

Si los puntos se encuentran en coordenadas geográficas, éstas deben estar en grados. En caso de encontrarnos con coordenadas en grados, minutos y segundos (sexagesimales), habrá que transformarlas a grados:

$$\text{Coordenada en grados} = \text{grados} + \frac{\text{minutos}}{60} + \frac{\text{segundos}}{3600}$$

Cuando las coordenadas se encuentran al oeste del meridiano de referencia se pondrán con signo negativo.

## 2.4 Data Interoperability extension

Esta extensión es una adaptación de parte de la funcionalidad del programa FME (Feature Manipulation Engine) al entorno de ArcGIS. Solo hay que activar esta extensión (*File-Extensions*) para disponer de compatibilidad con multitud de formatos. Por ejemplo, con esta extensión activada, es posible visualizar archivos E00 o KML sin transformarlos previamente.

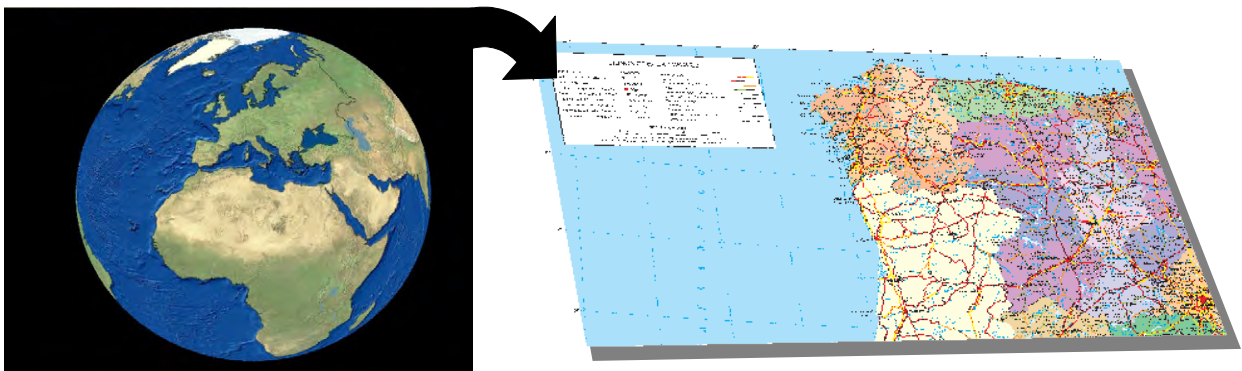
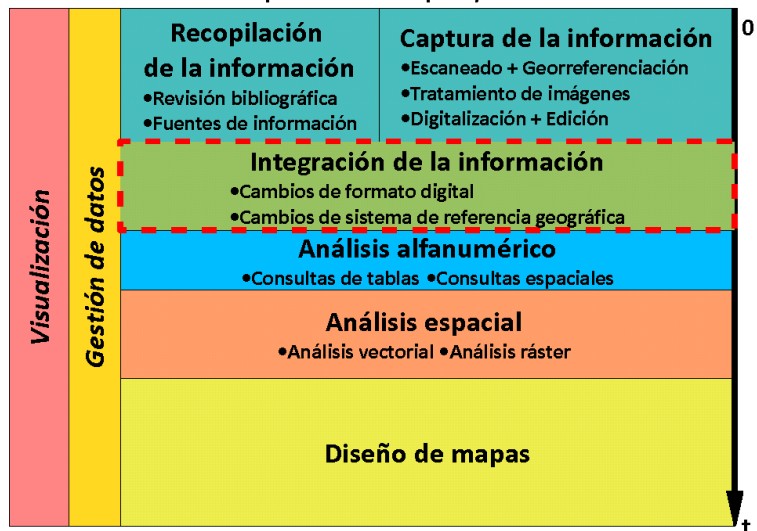
# Sistemas de referencia

Mancebo Quintana, S. (2008)

Un mapa -en geografía- es un modelo de la superficie de la Tierra. Un modelo es una reproducción de un objeto que, en general, es más simple que el objeto original. En geografía, el objeto es la superficie de la Tierra, que es tridimensional, grande y compleja. Y el modelo es el mapa. En él se simplifican las tres características reseñadas sobre la superficie de la Tierra:

- Los mapas suelen ser de dos dimensiones para facilitar su creación y manejo, si bien, existen representaciones tridimensionales. El resultado final es la representación de la superficie de la Tierra en una superficie plana.
- En los mapas la reducción del tamaño se expresa con la escala o relación entre el tamaño de los objetos del mapa y los reales.
- La complejidad se simplifica modelizando una o unas pocas características de la superficie de la Tierra, excluyendo el resto. Así, en función de la característica modelizada se tienen las distintas temáticas de los mapas.

## Fases típicas de un proyecto SIG



Fuentes: La imagen de la izquierda es una recreación con ArcGlobe y la de la derecha es un mapa topográfico 1:1 000 000 del Instituto Geográfico Nacional

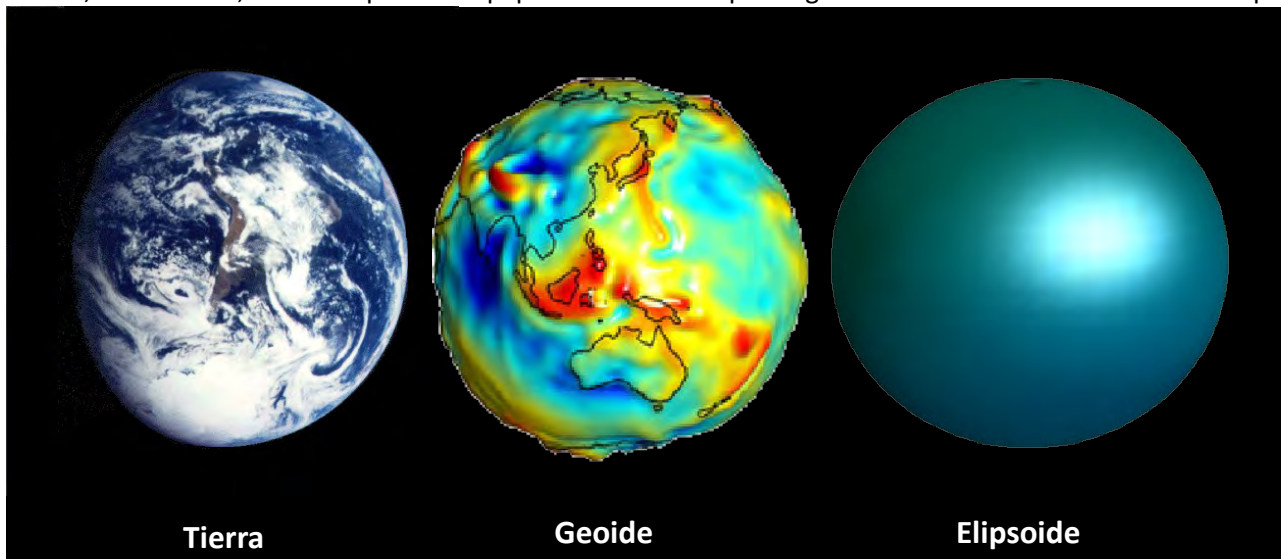
## 1 Modelización de la superficie de la Tierra en dos dimensiones

La simplificación más compleja, *a priori*, es el paso de tres a dos dimensiones. La geodesia es la “ciencia matemática que tiene por objeto determinar la figura y magnitud del globo terrestre o de gran parte de él, y construir los mapas correspondientes” (RAE, 2007). El proceso se realiza en tres pasos:

- se estudia la forma y magnitud de la Tierra,
- se modeliza la forma como una superficie tridimensional lo más sencilla posible, esto es, una esfera o un elipsoide,
- y se transforma esta superficie tridimensional en plana usando una proyección matemática.

## 1.1 Geoide y elipsoide

La forma de la Tierra, sin las pequeñas irregularidades que presenta en su superficie, se denomina geoide, el cual, físicamente, es una superficie equipotencial del campo de gravedad terrestre. Esta forma es la que



Proceso de modelización de la superficie de la Tierra: realidad – geoide – elipsoide

*Fuentes: La imagen de la izquierda y la central pertenecen a la NASA, la de la derecha es una recreación con OpenOffice.*

tendría la Tierra si toda la superficie fuera mar en reposo. El geoide es aún muy complejo para poder ser transformado en un plano, si bien es prácticamente una esfera, o un elipsoide si se tiene en cuenta el achatamiento de los polos. A lo largo de la historia el conocimiento sobre la dimensión exacta de la Tierra ha ido mejorando y, en paralelo, se han ido definiendo distintas esferas y elipsoides para ajustarse a su forma. Se podría afirmar que en 1980 se determinó finalmente el tamaño casi exacto de la Tierra, los dos últimos elipsoides más conocidos, GRS80 y WGS84 difieren en una décima de milímetro.

Nombre	Eje ecuatorial (m)	Eje polar (m)	Achatamiento
Clarke 1866	6 378 206,4	6 356 583,8	294,9786982
International 1909 o 1924 o de Hayford	6 378 388	6 356 911,9	297
GRS 1980	6 378 137	6 356 752,3141	298,257222101
WGS 1984	6 378 137	6 356 752,3142	298,257223563
Esfera (6.371 km)	6 371 000	6 371 000	infinito

*Fuente: Wikipedia*

El elipsoide internacional de 1909 o 1924 o de Hayford ha sido el usado oficialmente para la cartografía española hasta agosto de 2007. El elipsoide WGS84 se obtuvo con la creación del sistema de posicionamiento global GPS y es uno de los más usados en todo el mundo. El GRS80, prácticamente idéntico al WGS84, es el oficial de la Unión Europea y, desde agosto de 2007, de España.

Al conjunto de diferencias EGM entre el geoide y un elipsoide se denomina modelo geoidal, siendo el más empleado actualmente el EGM96 (*Earth Geodetic Model* de 1996) que usa el elipsoide WGS84.

## 1.2 Datum

Una vez definido el elipsoide o la esfera, éstos se ajustan de tal forma que reproduzcan óptimamente la superficie a representar, que puede ser toda la Tierra o solo una parte como un continente o un país. Para comprender cómo se realiza dicho ajuste hay que tener en cuenta cómo se hacen los mapas. Uno de los métodos más habituales es usando instrumentos topográficos, los cuales permiten obtener las coordenadas de un punto a partir de otro. El primer punto de referencia o fundamental se denomina datum y el elipsoide se ajusta usando este datum (habitualmente un radiotelescopio). Así, muchos países generaron su cartografía usando el elipsoide y el datum que se ajustaban mejor a su territorio.

Con la necesidad de crear cartografías de continentes y de toda la Tierra y con la ayuda de técnicas espaciales (sistemas de posicionamiento global, interferometría de muy larga base...) el elipsoide se ajusta usando multitud de puntos (radiotelescopios y bases GPS) por lo que ya no se puede hablar de un solo punto fundamental, si bien, el ajuste sigue denominándose datum.

En 1950 se decidió usar el elipsoide internacional y el datum de Potsdam (Alemania) como solución óptima para el conjunto de Europa, denominándose Datum Europeo de 1950 o, por sus siglas en inglés, ED50. Muchos países europeos no lo adoptaron, si bien, ha sido el datum oficial de España hasta agosto de 2007 (R. D. 1071/2007). A partir de esta fecha y como resultado de la directiva de la Unión Europea (2007/2/CE) conocida como INSPIRE, el datum oficial de la Unión Europea es el ETRS89 (*European Terrestrial Reference System*) asociado al elipsoide GRS80.

Datum	Elipsoide asociado	Ámbito de aplicación	
Datum europeo de 1950, ED50	Internacional	Europa	Oficial en España hasta agosto de 2007
WGS84	WGS84	Global	Sistema principal GPS
ETRS89	GRS80	Europa	Oficial en la Unión Europea

## 1.3 Proyección

La transformación de la esfera o el elipsoide en una superficie plana es una proyección, que se podría definir como la correspondencia biunívoca entre los puntos de dos superficies.

La representación cartográfica del globo terrestre, ya sea considerado éste como una esfera o un elipsoide, supone un problema, ya que no existe modo alguno de representar toda la superficie desarrollada sin deformarla o incluso de llegar a representarla fielmente, ya que la superficie de una esfera no es desarrollable en su conversión a una representación plana. Las proyecciones estudian las distintas formas de desarrollar la superficie terrestre minimizando, en la medida de lo posible, las deformaciones sufridas.

En todos los casos conservan o minimizan los errores, dependiendo de la magnitud física que se desea conservar; su superficie, las distancias, los ángulos, etc., teniendo en cuenta que únicamente se podrá conservar o la superficie o los ángulos, nunca las distancias.

Dentro de las transformaciones posibles existen fundamentalmente tres tipos en función de la variable que conservan una vez proyectados:

- Proyecciones conformes (*conformal* en inglés): aquéllas en las que los ángulos se conservan y, como consecuencia, las formas son parecidas a las reales. Ejemplos de proyecciones conformes son la UTM o la proyección Lambert.
- Proyecciones equivalentes (*equal area* en inglés): son aquéllas en las que la superficie se conserva después de la proyección. Como ejemplo de las proyecciones equivalentes tenemos las proyecciones Lambert Azimuthal Equal-Area, Bonne, Sinusoidal y la Goode.



- Proyecciones afilácticas: son aquellas en las que no se conservan ninguna de las variables, pero se minimizan sus deformaciones. Un ejemplo de este tipo de proyecciones es la UPS (*Universal Polar Stereographics*), que se usa en latitudes polares.

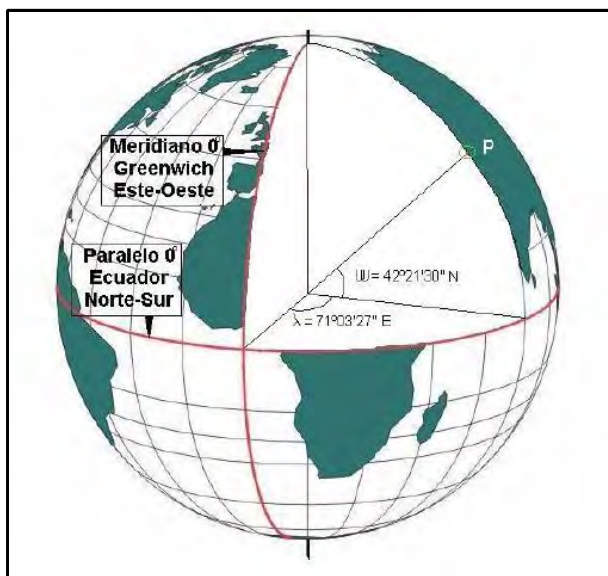
## 2 Sistemas de referencia

Un sistema de referencia es una convención para identificar la posición de un punto. En cartografía se emplean dos tipos principales de sistemas: los sistemas geodésicos, que son un tipo de sistema polar, y los sistemas proyectados, que son planos.

### 2.1 Sistemas geodésicos

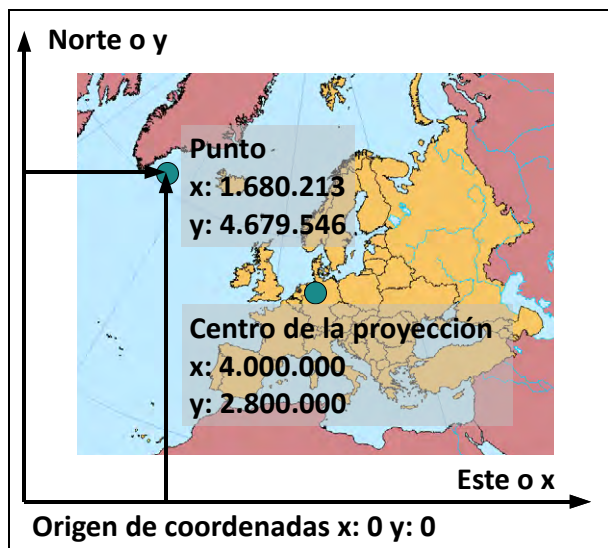
La posición de un punto viene dada respecto a tres ejes perpendiculares. El punto de intersección de los tres ejes es el origen de coordenadas y se sitúa alrededor del centro de masas de la Tierra, variando ligeramente su posición exacta en función del elipsoide y datum utilizado.

La posición de un punto se define usando dos ángulos, latitud y longitud y una distancia, la altitud. Estos ángulos son las coordenadas geográficas. La latitud tiene como origen el plano del ecuador, por lo que puede variar entre  $-90^\circ$  y  $90^\circ$  si se usan grados sexagesimales. El origen de la longitud puede ser cualquiera de los meridianos terrestres, si bien, lo más habitual es usar el meridiano de Greenwich (Inglaterra). Las altitudes se pueden medir en relación al elipsoide o al geoide.



Fuente: extraído de "Las coordenadas geográficas y la proyección UTM" de Ignacio Alonso Fernández-Coppel, 2001

### 2.2 Sistemas proyectados



La posición de un punto se define usando dos distancias  $-x$  e  $y$  o este y norte o simplemente coordenadas— medidas desde el origen de coordenadas hasta el punto en el plano proyectado. En función del sistema utilizado las unidades de las distancias varían, si bien lo más habitual es que se trate de metros.

Es habitual que el origen de coordenadas no se encuentre en el centro de la superficie proyectada, sino desplazado hacia el oeste y hacia el sur, de tal manera que las coordenadas de todos los puntos del plano representado sean positivas. Las distancias de desplazamiento del origen de coordenadas respecto al centro de proyección se conocen como falso este y falso norte.

#### Proyección *plate carrée*

Esta proyección consiste en usar, sin aplicar ninguna ecuación de transformación, las coordenadas geográficas, latitud y longitud, como coordenadas planas. Como resultado, las deformaciones son enormes. Esta proyección la hemos incluido porque es la usada por los SIG por defecto cuando representan capas en coordenadas geográficas.

## Proyección de Mercator y sistema de referencia Universal Transversa Mercator, UTM

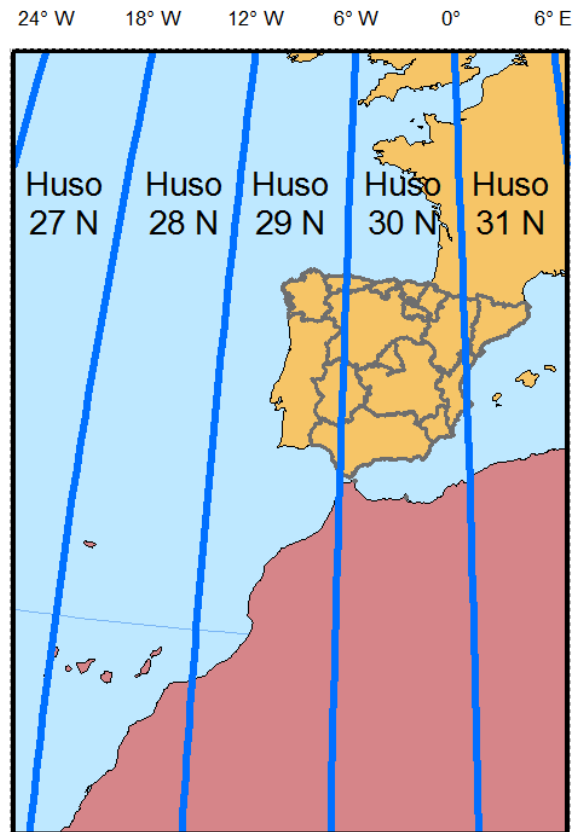
La proyección de Mercator es una proyección conforme, es decir, mantiene los ángulos y las formas. Esta proyección es útil para las cartas marítimas de todo el globo. Si el ámbito de aplicación de la proyección es poco extenso –un territorio de tamaño medio, menos de 6° norte sur– esta proyección es afiláctica, la distorsión de las distancias es pequeña.

Una variante de esta proyección es la Transversa Mercator o Gauss-Krüger que es también conforme y, para territorios poco extensos en dirección este oeste, afiláctica, si bien no permite proyectar las zonas polares –por encima de los 80° de latitud–. Esta proyección ha dado lugar a dos sistemas de referencia muy usados en el mundo, el sistema Gauss-Krüger y el sistema Universal Transversa Mercator, UTM. Ambos sistemas dividen el globo en 60 husos de 6° de longitud obteniéndose unos sistemas universales con distorsiones pequeñas. A pesar de la universalidad de este sistema, no es posible representar en un solo mapa toda la superficie terrestre, se podría decir que el resultado es una batería coherente de sistemas de referencia.

En el sistema Gauss-Krüger el origen de coordenadas de cada huso está desplazado hacia el oeste, presenta un falso este de 500 000. Las unidades del sistema son metros.

En el sistema UTM, los husos se dividen en dos mitades, norte y sur con respecto al ecuador, lo que incrementa el número de subsistemas de referencia a 120. El origen de coordenadas de los husos norte está en el ecuador, con un falso este de 500 000 y un falso norte de 0. Los husos sur tienen su origen también en el ecuador, con el mismo falso este y un falso norte de 10 000 000. Además, se introduce un factor de escala de 0,9996 en el centro de cada huso con el fin de mantener los errores en las distancias por debajo del uno por mil. Estas propiedades han generado que sea uno de los sistemas más usados actualmente para representar pequeños territorios a escalas grandes.

En España, el sistema UTM huso 30 N se usa de manera forzada en capas y mapas que se extienden por toda la península y Baleares cuando la precisión no es muy elevada (a escalas pequeñas). Se conoce como huso 30 extendido. La precisión de esta proyección se reduce notablemente en los territorios más alejados del verdadero ámbito de aplicación del huso 30N, esto es, Galicia, Cataluña, donde la precisión se reduce al 2% y Baleares, con hasta un 4% (Alonso Fernández-Coppel, I., 2001 *Las coordenadas geográficas y la proyección UTM. El datum*).

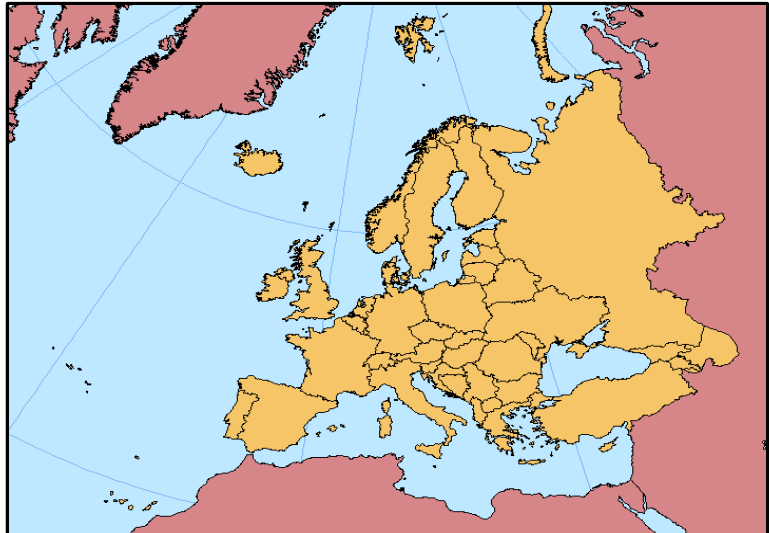


Proyección UTM huso 30 N extendido más allá de su ámbito de aplicación.

### **Proyección Lambert Conformal Conic, LCC**

La proyección Lambert Cónica Conforme es una proyección estándar que se utiliza para representar áreas cuya extensión Este-Oeste es grande en comparación con la Norte-Sur. Esta proyección es "conforme".

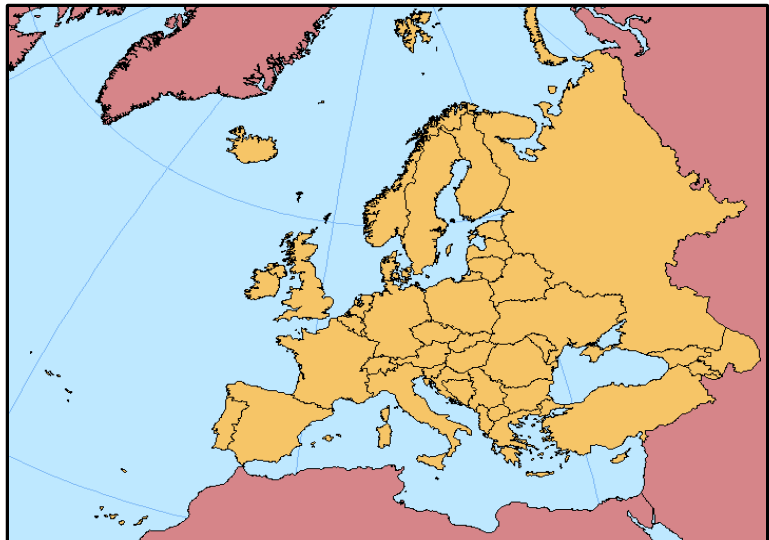
Es una de las mejores proyecciones para latitudes medias, y proyecta las formas (ángulos) de forma más precisa que las áreas. Estas características justifican que sea la proyección oficial en la Unión Europea para representar el conjunto de la Unión.



### **Proyección Lambert Azimuthal Equal Area, LAEA**

Esta proyección preserva el área de los polígonos individuales mientras mantiene un sentido verdadero de la dirección desde el centro. Las formas están distorsionadas mínimamente, menos de un 2%, dentro de 15° desde el punto focal. A partir de ahí, las distorsiones en ángulos son más significativas.

Es una de las proyecciones que actualmente se emplea oficialmente en la Unión Europea para sus mapas cuando se quiere mantener áreas reales.



## **3 Cambios de sistema de referencia**

En muchos proyectos cartográficos nos encontraremos con que la información espacial adquirida se encuentra en distintos sistemas de referencia. Para manejar esta información adecuadamente se requerirá, por tanto, traspasar todas las capas a un mismo sistema de referencia.

El sistema elegido dependerá de las necesidades del proyecto, siendo necesario en ocasiones trasladar todas las capas a más de un sistema. Las necesidades del proyecto suelen ser la medida de superficies, la medida de distancias y la representación en mapas. Como ya se ha expuesto anteriormente, para medir superficies es conveniente utilizar proyecciones equivalentes; para medir longitudes ninguna proyección es perfecta, pero algunas mantienen deformaciones pequeñas en toda la superficie proyectada; y para la representación en mapas las que menos deforman las formas son las proyecciones conformes. El datum elegido será aquél que se use habitualmente u oficialmente en la zona de estudio.

Si el territorio es pequeño, proyecciones como la UTM nos servirán para alcanzar con gran precisión los tres objetivos mencionados. Si el territorio es grande y la precisión elevada, tendremos que usar distintas proyecciones. Para el conjunto de la Península, la proyección UTM huso 30N extendido suele ser buena solución, siempre que la precisión requerida no sea muy elevada.

A la hora de realizar los cambios de sistema hay que tener en cuenta que:

- los cambios son siempre reversibles en vectorial, no siempre en ráster
- no todos los SIG tienen implementadas las ecuaciones de transformación de todos los sistemas existentes
- algunos SIG permiten dos tipos de transformación: visual (*on the fly*), en la que la transformación se realiza virtualmente y el resultado se muestra en un mapa; y real, en la que una capa se transforma y el resultado se guarda como otra capa
- algunos SIG requieren que la conversión se realice en dos pasos: definir, o especificar el sistema de referencia de una capa; y proyectar, o realizar la transformación

### Cambios de proyección y datum

Los SIG disponen de herramientas específicas para el cambio de sistema de referencia. La misma herramienta permite cambiar tanto la proyección como el datum.

El cambio de proyección se limitará a seleccionar la nueva proyección y sus parámetros. Los SIG tienen una base de datos con las proyecciones y parámetros más habituales y suelen permitir la introducción de los parámetros manualmente.

El cambio de datum es más complejo ya que habitualmente existen varias transformaciones válidas. Por tanto, habrá que seleccionar el nuevo datum, el tipo de transformación y sus parámetros. Nuevamente, los SIG disponen de una base de datos con las transformaciones y parámetros más habituales, así como la especificación manual de dichos parámetros. Hay que reseñar que el cambio de datum supone una pérdida de precisión, que depende del método y parámetros elegidos.

En España, el Instituto Geográfico Nacional nos ofrece los parámetros de transformación desde el datum ETRS89 (recordemos que es equivalente al WGS84 para precisiones peores a 1 metro) al datum ED50, para varios métodos de transformación:

Método de transformación	Ámbito de aplicación	Parámetros	Precisión
Molodensky	Península	3 parámetros	5 m
Helmert	NO de la Península	7 parámetros	1,5 m
Helmert	Península menos el NO	7 parámetros	1,5 m
Helmert	Baleares	7 parámetros	1,5 m
NTV2	Península	Matriz de transformación	0,15 m

Fuente: IGN y ArcGIS

### 3.1 Cambios de sistema de referencia en ArcGIS

ArcGIS presenta herramientas para realizar estas transformaciones tanto en formato ráster como vectorial.

El proceso se realiza en dos pasos:

- 1) Definición del sistema de referencia (*ArcToolbox-Data Management Tools-Projections and Transformations-Define Projection*). El programa nos solicita la capa que vamos a definir y el sistema de proyección en el que se encuentra la capa. Nunca especificaremos el sistema al que queremos transformarla. Debemos obtener del proveedor de la capa el sistema en el que se encuentra realmente. Si no fuera posible, es posible descubrirlo por comparación con otras capas cuyo sistema es conocido.

Este paso realmente no es necesario (ArcGIS 9.2), aunque sí recomendable, ya que se puede especificar en el segundo paso.

- 2) Cambio de sistema de referencia (*ArcToolbox-Data Management Tools-Projections and Transformations-Project*). Nos solicita la capa que queremos transformar, el nombre que tendrá la capa una vez transformada y el nuevo sistema de referencia. Si el datum es distinto, habrá que especificar el tipo de transformación y sus parámetros.

ArcGIS tiene en su base de datos las transformaciones españolas de 3 y 7 parámetros. En la versión 9.2 todavía no se encuentra disponible la transformación NTV2, si bien, se puede implementar utilizando la matriz de transformación que proporciona el IGN, existiendo en Internet documentos que explican cómo hacerlo.

Método de transformación	Ámbito de aplicación	Nombre en ArcGIS
Helmert de 7 parámetros	NO de la Península	ED_1950_To_WGS_1984_29 ED_1950_To_ETRS_1989_8
Helmert de 7 parámetros	Península excepto el NO	ED_1950_To_WGS_1984_28 ED_1950_To_ETRS_1989_7
Helmert de 7 parámetros	Baleares	ED_1950_To_WGS_1984_27 ED_1950_To_ETRS_1989_6

Fuente: *ArcGIS-Geographic\_Transformations.pdf*

## 4 Escala

La escala es la relación entre el tamaño de los objetos del mapa y los reales. Ésta relación casi siempre es menor que uno, es decir, se reduce el tamaño de los objetos reales para representarlos en los mapas:

$$Escala = \frac{\text{dimensión en el mapa}}{\text{dimensión real}} = \frac{1}{E}; E = \text{Módulo de la escala}$$

Habitualmente la escala se expresa como 1/E o 1:E o, simplemente, E.

Si la representación de un objeto es tan pequeña que en el mapa se reduciría a una superficie muy pequeña, éste no se representa o se sustituye por un símbolo. El tamaño mínimo de un objeto para poder ser representado se llama “mínima unidad cartografiada”. Este parámetro se establece previamente para cada cartografía en función del tamaño mínimo que se desea que tenga un objeto en el mapa, es decir, a escala. Una vez establecido este tamaño, e. g. 1 mm<sup>2</sup>, se calcula el tamaño real en función de la escala. También puede ser establecido independientemente de la escala de representación, en relación con el uso que se le dará a la cartografía.

### 4.1 Cambios de escala

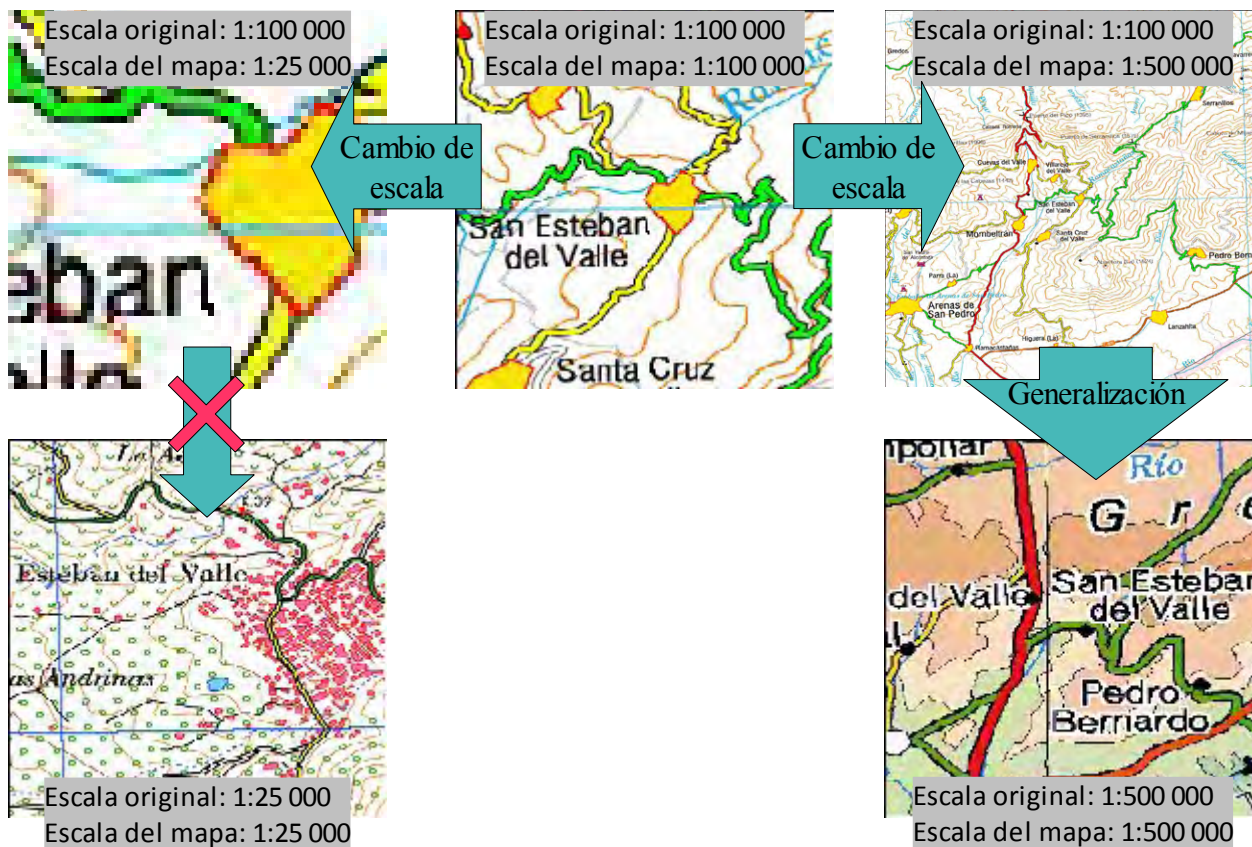
El cambio de escala no requiere de ninguna herramienta específica, basta establecer la escala con la que se imprimirá cualquier mapa en su diseño. Cuando la escala de impresión es menor a la original, debería tenerse en cuenta esa mínima unidad cartografiada y realizar lo que se conoce como “generalización”. Esta generalización consistirá en una simplificación de la información en función de esa unidad mínima:

- Transformación de entidades superficiales inferiores a la UMC en puntos
- Transformación de entidades superficiales cuyo ancho es inferior a un cierto valor en líneas
- Reducción del número de vértices en entidades superficiales y lineales por debajo de un mínimo visible
- En general, reducción de la cantidad de información por falta de espacio

Este proceso de generalización implica una pérdida de precisión en las capas generalizadas.

Los cambios de escala hacia una escala mayor que la original son inmediatos, basta con ampliar el mapa. Si bien, la precisión de la información será la misma. La visualización resultará ciertamente extraña porque la densidad de entidades en el mapa será baja, llegando a poder observarse los vértices y angulosidades que dan forma a líneas y polígonos.





Fuente: recreación con ArcMap a partir de mapas del IGN (WMS-PNOA)

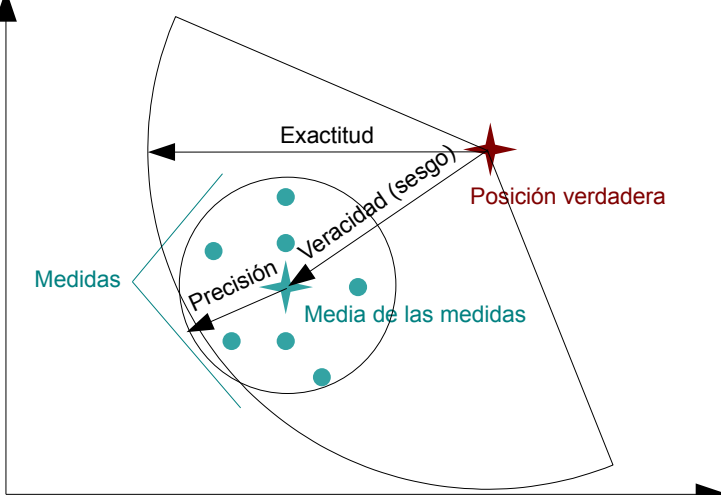
## 5 Exactitud

La exactitud es una medida del grado de coincidencia entre los valores medidos y los reales. “El Vocabulario Internacional de términos fundamentales y generales de Metrología (VIM) define el término exactitud como el grado de concordancia entre el resultado de una medición y un valor verdadero del mensurando” (Centro Español de Metrología).

La exactitud planimétrica se refiere al nivel de coincidencia en x / y o latitud / longitud; la exactitud altitudinal a la coordenada z; y la exactitud posicional a las tres coordenadas conjuntamente.

El grado de coincidencia de cada valor individual es la diferencia entre el valor medido y el real, lo que se conoce como error. En consecuencia, la exactitud es un indicador del error de todas las medidas.

El concepto de exactitud engloba a la veracidad y a la precisión. La veracidad es el error medio o sesgo de las medidas. La precisión es una medida del grado de coincidencia entre varias medidas repetidas, es decir, está basado en las diferencias internas de las medidas, y no en el error o diferencia con el valor real.





La exactitud, en resumen, es un indicador de la magnitud de los errores en las medidas, un estadístico de los errores. En función del estadístico calculado, tenemos varias formas de medir la exactitud:

- CEP (*Circular Error Probable*, percentil 50%): distancia tal que el 50% de los errores son menores.
- RMS (*Root Mean Square* o Error Cuadrático Medio): distancia dada por la media de los errores al cuadrado, equivale en planimetría a la distancia tal que el 63% de los errores son menores (asumiendo binormalidad de los errores).
- 2dRMS (*Double distance Root Mean Square*): el doble del RMS, equivale en planimetría a la distancia tal que el xx% de los errores son menores
- R95 (*95% Radius*, percentil 95%): distancia tal que el 95% de los errores son menores.

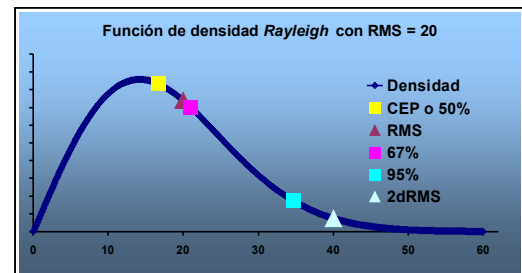
Cada mapa tendrá una exactitud que deberá ser conocida o estimada por su creador y de la que deberá informar en los metadatos. Cada país, cada institución decide qué exactitud exigir para generar una cartografía a una determinada escala. En la siguiente tabla incluimos algunos ejemplos:

Institución	Tipo de exactitud	Valor a escala
Instituto Geográfico Nacional (IGN)	95%	0,2 mm
Agencia Medioambiental Europea (EEA)	RMS ≈ 63%	1,0 mm
USGS, mapas de escala ≤ 1/20 000	90%	1/30 pulgada ≈ 0,8 mm

Fuente: exactitudes observadas, no necesariamente oficiales

Así, un mapa topográfico 1:100 000 del IGN tendrá una exactitud al 95% de 0,2 mm x 100 000 = 20 m. Un 100.000 de la EEA, al 63%, 100 m y uno estadounidense, al 90%, 80 m.

Habitualmente, los errores son debidos a multitud de causas independientes cuya influencia en el error final es parecida. Este hecho permite suponer, por el teorema central del límite, que la distribución de los errores en x, y, z son normales. En planimetría, el error -la distancia entre el punto y la posición real- seguirá una distribución conocida como Rayleigh (un subtipo de Beta) cuya forma es la representada a la derecha.



Fuente: Mancebo Quintana, S. (2004) Tesis doctoral

La función de distribución de esta función es:

$$F(\epsilon_p) = 1 - e^{-\frac{\epsilon_p^2}{RMS^2}}$$

siendo  $\epsilon_p$  la exactitud para un percentil  $p$ .

Suponiendo que los errores siguen esta distribución, es posible calcular la exactitud para cualquier percentil, a partir de la función de distribución se obtiene la relación entre dos exactitudes:

$$\epsilon_{p2} = \epsilon_{p1} \sqrt{\frac{\log(1-p1)}{\log(1-p2)}}$$

La relación entre las exactitudes 95% y RMS es 1,731, y entre las exactitudes 95% y 90% es 1,141. Los mapas 1:100 000 de nuestro ejemplo tendrán exactitudes al 95% de 20 m (IGN), 173 m (EEA) y 91 m (USGS).

Institución	Exactitud R95 a escala	Exactitud R95 de un 1:100 000
Instituto Geográfico Nacional (IGN)	0,2 mm	20 m
Agencia Medioambiental Europea (EEA)	1,73 mm	173 m
USGS, mapas de escala ≤ 1/20 000	0,91 mm	91 m

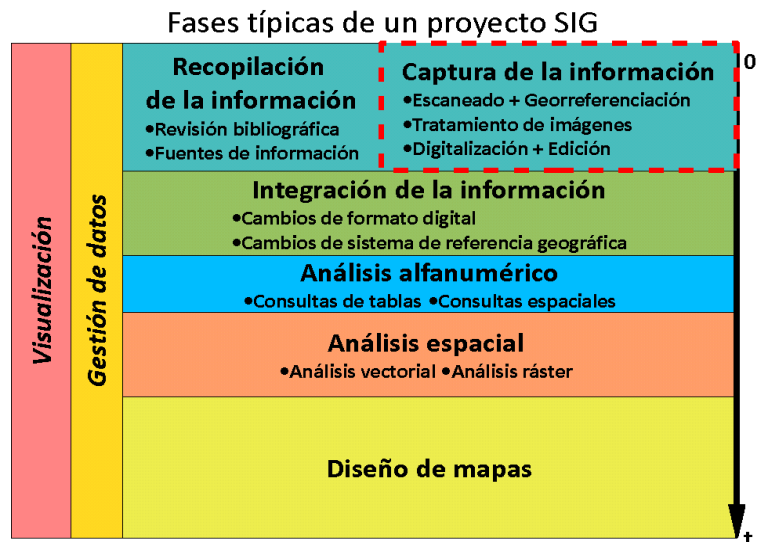
# Georreferenciación

Mancebo Quintana, S. y Ortega Pérez, E. (2008)

## 1 Introducción

Esta operación tiene como objetivo georreferenciar o dotar de coordenadas geográficas un mapa escaneado, una ortofotografía digital o una capa ráster mal georreferenciada.

Esta situación podría ocurrir, por ejemplo, cuando se dispone de una ortofotografía en papel y se quiere utilizar para actualizar una capa previa. También puede ocurrir cuando una administración local nos proporciona un dibujo de un mapa en formato ráster y éste no se encuentra debidamente georreferenciado. Igualmente, este método representa un primer paso en la digitalización de mapas en papel.



El método consiste, de forma general, en una transformación lineal, también llamada de primer orden, de la imagen no georreferenciada en su equivalente correctamente georreferenciada. Para esto, es necesario determinar las coordenadas de un número de puntos de la imagen (denominados puntos de control, GCPs o *Ground Control Points*), lo que implica el disponer de un mapa en papel o digital ya georreferenciado que presente puntos en común con el mapa o imagen que se pretende georreferenciar. El número mínimo de puntos necesario para realizar la transformación es de 3 ó 4, dependiendo del SIG, si bien, es recomendable crear varias decenas de puntos de control distribuidos por toda la imagen con el fin de obtener, no solo una estimación aceptable de la pérdida de exactitud que genera el proceso, sino también una georreferenciación de gran calidad.

Los SIG capaces de realizar este proceso de georreferenciación nos solicitan la introducción de los puntos de control, nos informan del error añadido o pérdida de exactitud que se cometerá en el proceso y realizan la transformación lineal que implica el proceso de georreferenciación.

## 2 Pérdida de exactitud

Como ya se ha dicho, los SIG informan del error añadido o pérdida de exactitud que se cometerá en el proceso. Este dato, combinado con la exactitud del mapa u ortofoto originales, nos permite conocer la exactitud final. La pérdida de exactitud cometida en el proceso de georreferenciación es calculada por los SIG, siendo habitual que el estadístico calculado sea el RMS (*Root Mean Square*, Error Cuadrático Medio), el cual mide la exactitud correspondiente al percentil 63% (presuponiendo binormalidad). Si usamos el percentil 95% (como el IGN), habrá que calcular (véase el capítulo de Sistemas de Referencia):

$$\text{pérdida de exactitud (95\%)} = 1,731 \times \text{RMS}$$

Finalmente, para conocer la exactitud final hay que presuponer independencia en los errores, lo que nos lleva a admitir que:

$$\text{exactitud final (95\%)} = \sqrt{(\text{exactitud})^2 + (\text{pérdida de exactitud})^2}$$

En un ejemplo: Supongamos, que se parte de un mapa a escala 1:50.000 del IGN (10 m de exactitud al 95%) y que el valor *RMS* obtenido en nuestro proceso de georreferenciación es de 7 m; la pérdida de exactitud será:

$$\text{pérdida de exactitud (95\%)} = 1,731 \times 7 \text{ m} = 12,117 \text{ m}$$

y la exactitud final que tendremos es:

$$\text{exactitud final (95\%)} = \sqrt{(10 \text{ m})^2 + (12,117)^2} = 15,711 \text{ m}$$

### 3 Interpolación

Cuando se realiza la transformación, puede suceder que la resolución final no sea totalmente equivalente a la inicial, o que parte de la transformación suponga una rotación. Esto conlleva que las nuevas celdillas o píxeles no coincidirán exactamente con los originales, siendo necesario un proceso de interpolación.

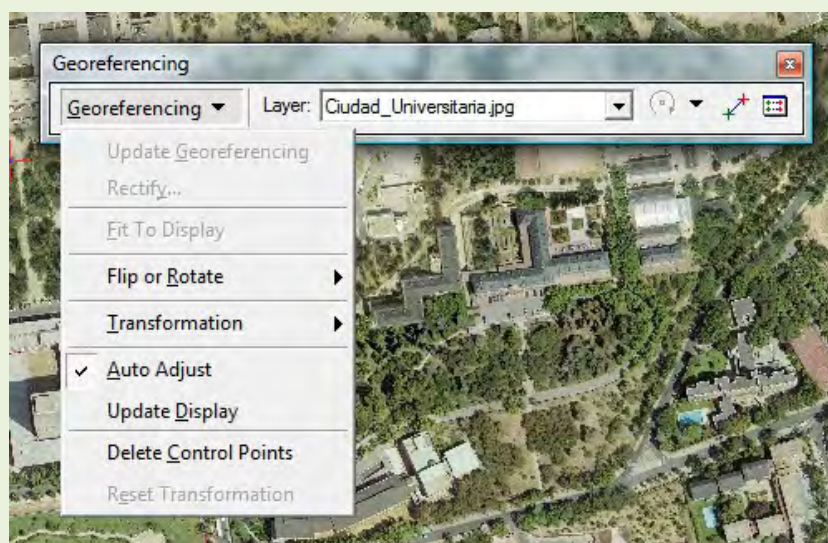
Independientemente del Sistema de Información Geográfica, existen tres métodos de interpolación principales:

- *Nearest Neighbor* (vecino más cercano): El valor del nuevo píxel será el del píxel original más cercano.
- *Bilinear Interpolation* (Interpolación bilineal): El valor del nuevo píxel se calcula a través de una media ponderada según la distancia de los cuatro vecinos más cercanos.
- *Cubic Convolution* (Convolución cúbica): El valor del nuevo píxel se extrae a partir del ajuste de una superficie a los 16 vecinos más cercanos.







El método más apropiado cuando se quiere mantener la máxima nitidez es el de *Nearest Neighbor*. Por esta razón, es el más habitual. Si bien, para determinados tipos de análisis con ortofotografías o cuando se está georreferenciando un mapa ráster cuantitativo, puede resultar más exacto el realizar una de las interpolaciones (*Bilinear* o *Cubic*).

### 4 Georreferenciación en ArcGIS

La georreferenciación está disponible desde la barra de herramientas *Georeferencing*:



El proceso es el siguiente:

- Visualización de la imagen no georreferenciada
- Visualización de un mapa digital georreferenciado (1)
- Centrado del mapa georreferenciado: botones y menús de zoom (en el caso de que las coordenadas geográficas de los puntos de control se extraigan de un mapa digital) (1)
- Primer ajuste de la imagen: acercamiento de la imagen no georreferenciada hacia el mapa digital georreferenciado (menú *Georeferencing-Fit To Display*) (1)
- Ajuste grosero de la imagen: herramientas para desplazar y rotar la imagen no georreferenciada (botones *Georeferencing-Rotate* , *Georeferencing-Shift*  y *Georeferencing-Scale* ) (1)
- Ajuste exacto de la imagen (proceso que se repite para cada punto de control):
  - Identificación *de visu* de un punto común, o punto de control, entre la imagen no georreferenciada y el mapa georreferenciado
  - Ampliación (zoom) del punto de control
  - Identificación del punto común no georreferenciado pinchando con el ratón (botón *Georeferencing-Add Control Points* )
  - Identificación del punto común georreferenciado
    - Pinchando con el ratón (1)
    - Especificación de las coordenadas reales del punto común (2) (botón derecho - *Input X and Y...*)
  - Reducción del zoom
- Borrado de un punto por error:
  - Visualización de la tabla de puntos de control (botón *Georeferencing-View Link Table* )
  - Identificación del punto que se quiere borrar
  - Borrado 
- Realización de la transformación:
  - ArcGIS permite guardar la georreferenciación realizada sin necesidad de generar una nueva imagen, si bien, dicha georreferenciación solo será reconocida por este programa (menú *Georeferencing-Update Georeferencing*)
  - Asimismo, permite generar una nueva imagen georreferenciada (menú *Georeferencing-Rectify*) preguntándonos el método de interpolación y la nueva resolución

(1) en el caso de que las coordenadas geográficas de los puntos de control se extraigan de un mapa digital

(2) en el caso de que las coordenadas geográficas de los puntos de control se extraigan de un mapa en papel

# Digitalización y edición

Valentín Criado, A. C.; Ortega Pérez, E.; Mancebo Quintana, S. (2006)

La edición nos permite crear capas y modificar elementos geográficos de tipo vectorial con información que nos servirá para crear los mapas o para trabajar con ellas en las diversas fases del proyecto, es decir, se puede crear una capa de suelos y otra de tipos de vegetación para posteriormente combinarlos.

Las capas pueden ser de tres tipos:

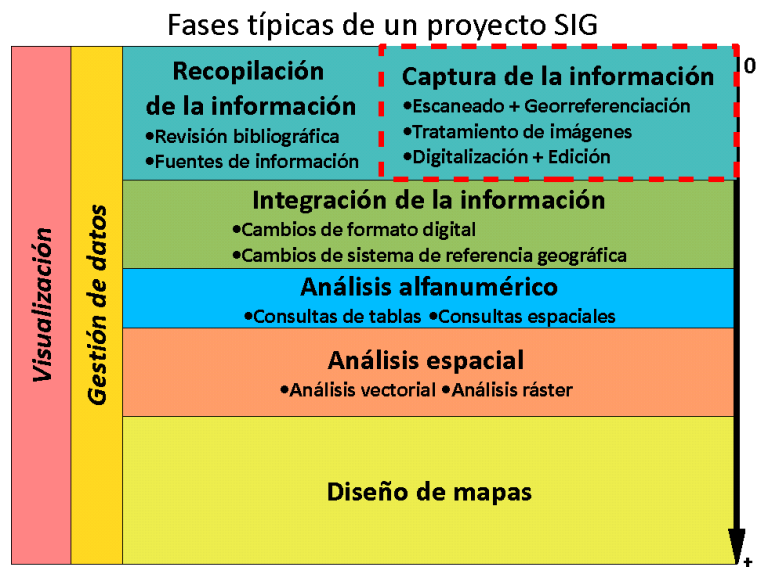
- Puntos
- Líneas
- Polígonos

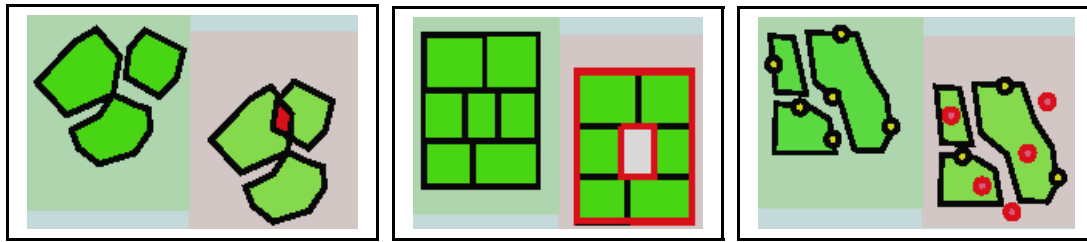
Podemos partir de una capa vacía donde podremos dibujar nuevas entidades, o de una capa con contenido donde podremos añadir más elementos y modificar los ya existentes.

Antes de empezar la digitalización hay que tener claro cuáles son nuestros objetivos y organizar bien el trabajo para ahorrar tiempo y esfuerzo. Hay que conocer la relación que hay entre los distintos elementos geográficos (topología) que queremos representar y qué queremos obtener de ellos. Ejemplos:

- Si tenemos que representar una carretera lo primero que pensamos es en hacer una línea, pero si lo que queremos es calcular la superficie de autovías que atraviesan una comarca necesitaremos una forma poligonal. El problema es que digitalizar un polígono con la forma de la autovía es muy costoso pero cabe la posibilidad de generar un polígono (*buffer*) a partir de la línea. Entonces la solución es hacer la línea y luego generar el polígono de forma automática.
- Si queremos representar las parcelas de un monte sabemos que todas son limítrofes, por lo tanto no pueden quedar huecos entre ellas ni haber solapes. Si nos ponemos a dibujar una por una es seguro que no acertemos a encajar los límites con exactitud y más tarde tendremos que corregir los errores. Una solución es generar un polígono que englobe a todas las parcelas y luego dividirlo siguiendo los lindes, así sólo se pasa una vez por cada línea limítrofe y evitamos problemas.

Habrán muchas más circunstancias que tendremos que analizar antes de ponernos a trazar líneas. La experiencia, el conocimiento de las relaciones topológicas y el uso de la herramienta nos permitirán tomar decisiones. Ejemplos de reglas topológicas:





1. No puede haber superposiciones.

2. No puede haber agujeros.

3. Los puntos deben coincidir con el perímetro de los polígonos.

Otra cuestión que hay que tener en cuenta a la hora de digitalizar es la pérdida de exactitud que ocurre en el proceso. Si tenemos una imagen con un píxel de 5 m, sobre la que vamos a digitalizar, la máxima exactitud que podríamos conseguir es de 5 metros aunque este caso es excepcional, normalmente nuestra exactitud no alcanzará estos 5 metros debido a los errores de la digitalización. Por tanto, la exactitud final se habrá visto reducida. Para estudiar este tema más a fondo véase el apartado de los apuntes titulado “La digitalización modifica la exactitud”.

Al editar necesitaremos una referencia espacial, necesitamos saber dónde se encuentran geográficamente los objetos que queremos representar. Para ello podremos tener las siguientes posibilidades más comunes:

- Conocemos las coordenadas  $x$ ,  $y$  de los puntos o vértices (si son líneas o polígonos) que definen los objetos, que pueden provenir de levantamientos topográficos (topografía clásica o espacial).
- Tenemos una imagen georreferenciada (mapa escaneado, ortofoto aérea, ortoimagen de satélite, etc.) sobre la que podemos digitalizar los elementos geográficos.
- Ya tenemos cartografía digital y sobre ella añadimos y modificamos.
- Podemos tener una combinación de los tres casos anteriores.

Recomendaciones durante la digitalización:

- Usar las herramientas de zoom para reducir los errores.
- No excederse pintando vértices si no es necesario. En una línea recta bastaría con el vértice inicial y final. Los vértices sobrantes solo sirven para aumentar la complejidad de los objetos sin mejorar su definición.
- Usar un color y grosor de línea adecuados para que veamos bien los trazados.
- Dibujar las geometrías de forma coherente. Tener cuidado con las superposiciones y los cruces de líneas, evitar hacer polígonos con forma de ocho.
- Guardar los cambios periódicamente para no perder el trabajo.

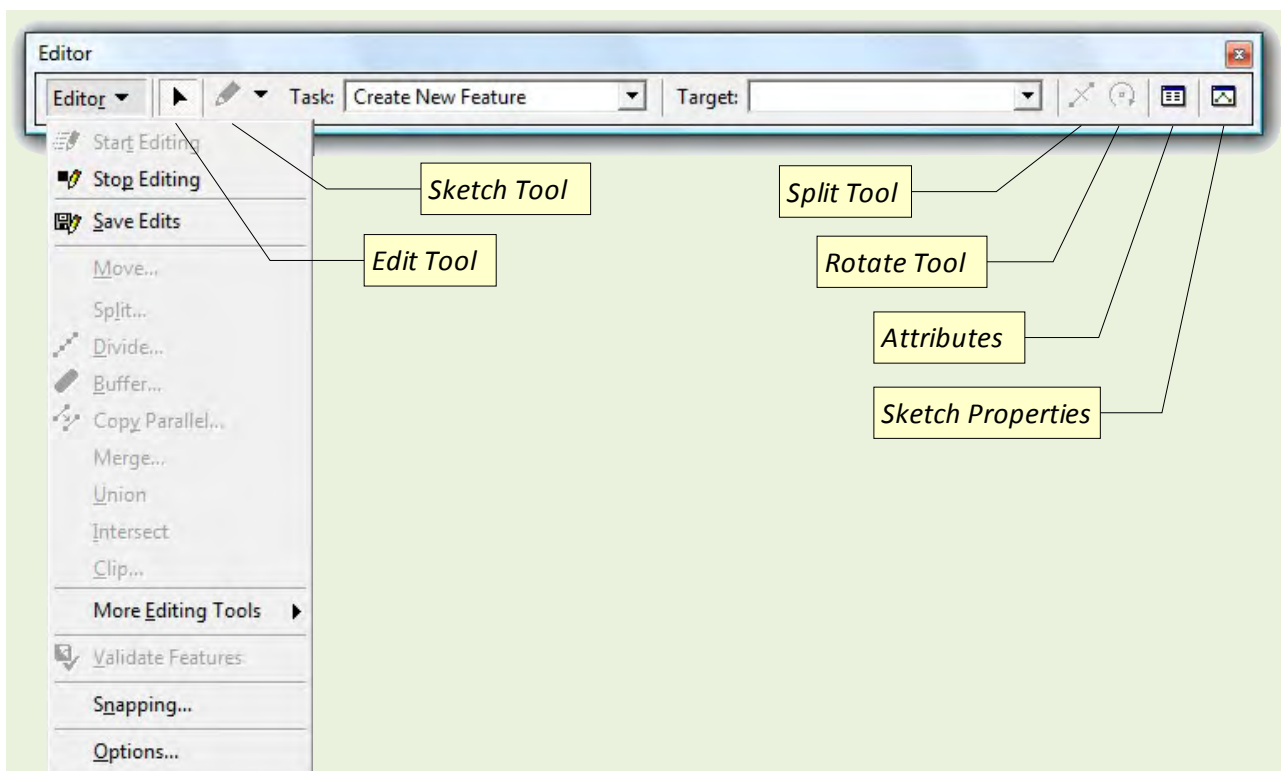
## 1 Digitalización en ArcGIS 9.X

Podemos partir de una capa vacía donde podremos dibujar nuevas entidades, o de una capa con contenido donde podremos añadir más elementos y modificar los ya existentes. Para ello es necesario crear una capa vacía, que posteriormente se editará creando los distintos polígonos, líneas o puntos según el tipo de capa y añadiendo la información necesaria. La capa vacía se crea en ArcCatalog o en ArcToolbox.

En ellos se especifica el tipo de capa, se le da nombre y se puede definir el sistema de coordenadas. El sistema de coordenadas no es necesario definirlo y, en ese caso, la capa tendrá el mismo que la base sobre la que se está digitalizando.

Para empezar a editar con ArcGIS se cargan las capas necesarias en la vista de ArcMap y se activa la barra de herramientas de edición llamada *Editor*. Aparecerá la barra sin activar, para activarla se pincha en *Editor-Start Editing*.





- **Menú Editor:**
  - *Start Editing* y *Stop Editing* son los comandos para el inicio y fin de la sesión de edición. *Save Edits* guarda los cambios realizados hasta ese momento.
  - A continuación aparecen un conjunto de utilidades que nos permiten hacer modificaciones y obtener nuevos elementos a partir de otros ya existentes.
  - El *Snapping* nos permite solapar con exactitud los vértices que editamos con otros vértices o segmentos ya existentes.
- El botón *Edit Tool* nos sirve para seleccionar un elemento en una capa.
- El botón *Sketch Tool* nos sirve para crear nuevos elementos geográficos.
- En *Task* indicamos la tarea que se va a realizar: crear un elemento nuevo, cortar un polígono, modificar un elemento, autocompletar polígonos...
- En *Target* indicamos en qué capa se van a guardar los datos que se van editando.
- El botón *Split Tool* sirve para cortar segmentos manualmente.
- El botón *Rotate Tool* permite rotar un elemento.
- El botón *Attributes* abre una ventana donde se pueden ver y editar los atributos de un elemento seleccionado.
- El botón *Sketch Properties* abre una ventana donde puedes especificar las coordenadas de los vértices.

Es muy importante asegurarse de que la capa que queremos editar aparece marcada en la ventana *Target*, ya que si no estaremos modificando una capa distinta a la que nos interesa.

Una vez que hemos creado una nueva entidad se le puede añadir información en la tabla. Si estamos en edición es posible escribir manualmente en las casillas de la tabla. En general lo mejor es añadir la información con el *Field Calculator* tras haber hecho una selección de objetos que vayan a tener el mismo

valor en tabla, ya que suele haber varios polígonos, líneas o puntos con la misma información y esto nos permite ganar tiempo y evitar errores.

Siempre que surjan dudas en el manejo de cualquier herramienta de ArcGIS se aconseja consultar los manuales de la ayuda en "ArcGIS Desktop Help". Para los temas de edición hay un apartado titulado "Editing in ArcMap".

## 2 La digitalización modifica la exactitud

El proceso de digitalización es una de las fuentes de error en la elaboración de los mapas. Si se está creando una capa a partir de una ortofotografía, el mínimo error que se podrá cometer viene dado por la resolución de la foto, al que habrá que añadir imprecisiones debidas a las limitaciones por parte del digitalizador de resolver la posición exacta de los elementos. Para minimizar estos errores, se puede ampliar la imagen, si bien, un excesivo aumento impide la correcta apreciación de las formas porque la imagen se vuelve borrosa.

Cuando se digitaliza un mapa en papel, ya sea a través de una tableta digitalizadora o escaneándolo y digitalizando en la pantalla, se introducirán errores que se añadirán a los originales del mapa. Inevitablemente, la exactitud final de la capa creada será peor que la del mapa original.

Si se conoce la exactitud inicial en la orto o en el mapa, se puede estimar la exactitud final de la capa digitalizada. La dificultad es estimar el error que cometerá el operador. Un digitalizador ideal (sin problemas de visión, descansado y experimentado en las artes de digitalización) cometerá un error no mayor que 0,2 mm a escala, el límite impuesto por su condición humana. Un digitalizador no ideal comete más error, pongamos por ejemplo 0,4 mm para el 95% de los elementos. Presuponiendo independencia entre los errores originales y los nuevos, se podría decir que cuando se digitaliza una imagen que se está visualizando con una escala  $1/E$ :

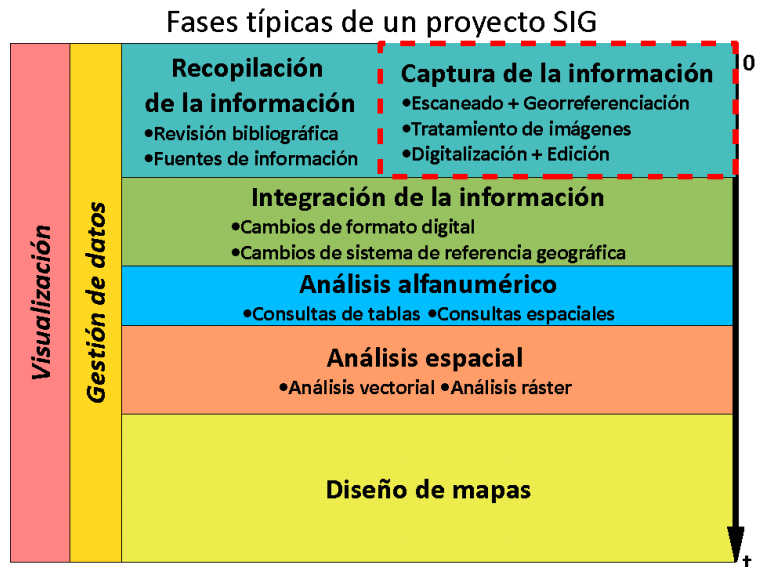
$$\text{pérdida de exactitud (95\%)} = 0,4 \text{ mm} \times E$$

y la exactitud final será:

$$\text{exactitud final (95\%)} = \sqrt{(\text{exactitud inicial (95\%)})^2 + (\text{pérdida de exactitud (95\%)})^2}$$

# Digitalización con GPS-PDA

Este capítulo se divide en dos partes. Primero se ha incluido una introducción al sistema de Posicionamiento Global, GPS, extraída de los apuntes de la asignatura de topografía impartida en la Ingeniería de Montes de la Universidad Politécnica de Madrid. En la segunda parte se describe la herramienta de digitalización ArcPad 6.0, parte del paquete de ArcGIS. Esta herramienta está diseñada para funcionar en agendas electrónicas o PDA, estando integrada en multitud de receptores GPS.



# Teoría GPS

*Mancebo Quintana, S. (2006)*

## 1 Introducción al GPS

El GPS es un Sistema de Posicionamiento Global basado en satélites (SV) y operado por el Ministerio de Defensa de EEUU (DoD). El GPS permite obtener nuestra posición las 24 horas del día a nivel mundial, para lo que necesita un control riguroso del tiempo (hora GPS).

### 1.1 Funcionamiento del GPS

El GPS puede explicarse en 5 pasos básicos:

#### Multilateración del satélite - las bases del sistema

Midiendo la distancia desde un grupo de satélites a una posición cualquiera de la Tierra pueden calcularse las coordenadas exactas de dicha posición. Los satélites actúan como puntos de referencia precisos (sus posiciones se conocen en cada momento — efemérides).

En la práctica se necesitan 4 satélites para resolver con precisión las cuatro incógnitas: X, Y, Z y el tiempo.

#### Alcance del satélite

Cada satélite GPS transmite dos señales de radio:

- Portadora L1, modulada con dos códigos: C/A (adquisición grosera - civil) y P (preciso - militar).
- Portadora L2, modulada con el código P.

La distancia desde un satélite se establece al medir el tiempo de viaje de las señales de radio desde el mismo al receptor, ya que se conoce la velocidad de la onda (velocidad de la luz):  $d = c * t$ . Este cálculo es válido si la señal ha viajado en una trayectoria recta.

El cálculo del tiempo se puede determinar mediante dos tipos de lectura:

- Lectura de código: el receptor utiliza el código (C/A ó P) para el cálculo.
- Lectura de fase: el receptor lee directamente la fase de las ondas portadoras (L1 ó L1 y L2) y se calcula el número de ciclos.

#### Exactitud de tiempo

Los satélites poseen relojes atómicos con una precisión de  $10^{-12}$  a  $10^{-14}$  s. El receptor, por precio y tamaño, posee un reloj de cuarzo de precisión  $10^{-6}$  s. El error derivado de esta imprecisión temporal es  $10^{-6} s * c = 300$  m. Para eliminar el error derivado de la medida del tiempo, es necesario un cuarto satélite que permite mejorar la precisión a  $10^{-9}$  s (en realidad, el receptor calcula la imprecisión del reloj como una incógnita más).

La mayor parte de los receptores actuales permiten calcular posiciones con solo 3 satélites (2D) eliminado una incógnita de las ecuaciones, la altitud, asumiendo que su valor es el de la última posición calculada con 4 satélites (3D). Esto conlleva imprecisiones de hasta 100 m.

## Posicionamiento del satélite

La constelación completa (NAVSTAR) consta de 24 satélites, si bien existe un número mayor de satélites operativos y algunos de reserva, que orbitan la Tierra cada 12 horas a una altitud aproximada de 20.200 km. Esto se conoce como sector espacial.

El DoD supervisa constantemente el estado de los satélites mediante cuatro estaciones monitoras manejadas desde la Tierra (tres de carga de datos y una estación maestra). Su misión principal es corregir los errores en la posición y en la hora de los satélites. Se conoce como sector de control.

El equipo GPS consta de antena, receptor y colector de datos. Es el sector de usuario.

## Corrección de errores

Los errores a corregir son:

1. Cambios en la velocidad de la onda por efecto de la ionosfera y de la troposfera.
2. Errores en el reloj atómico y en la órbita del satélite.
3. Interferencia por multitrayectoria (reflexión de la señal).
4. Ruido del receptor.

## Exactitud de datos GPS

La coordenada vertical (Z o altitud) es entre dos y cinco veces menos precisa que las coordenadas horizontales en cualquier posición GPS hallada. En general, suele citarse la exactitud horizontal y obviarse la vertical.

Hay tres maneras de expresar la exactitud de datos geográficos:

- CEP (*Circular Error Probable*): Intervalo de confianza del 50%. Por ejemplo, si la exactitud CEP es de 12 metros, esto significa que la mitad de las posiciones GPS caerán dentro de un círculo de 12 metros alrededor de la posición real.
- RMS (*Root Mean Square* o Error Cuadrático Medio): Intervalo de confianza del 63%.
- 2dRMS (*Double distance Root Mean Square*): Intervalo de confianza del 95%. Este es el dato más conveniente y suficientemente fiable para expresar la exactitud cartográfica.

## Parámetros que intervienen en la exactitud

Parámetros independientes del receptor (no manipulables o inevitables)

- AS (*Antispoofing* o Antiespionaje): Consiste en la codificación secreta o encriptación deliberada del código P, que pasa a denominarse código Y. Este error no afecta a los receptores de código C/A.
- Salud del satélite: Los satélites emiten en su señal un mensaje sobre su salud. Si esta no es adecuada, los receptores GPS no utilizarán las señales de dicho satélite.
- URA (*User Range Accuracy*): Va incluida en la señal del satélite.

Parámetros dependientes del receptor

- Tipo de receptor. Código C/A, código P y de fase. Se verá en el siguiente apartado.
- Número de canales. Con cada canal se puede seguir un único satélite en cada instante. Si el receptor posee más de un canal (6, 9, 12) puede seguir simultáneamente a tantos satélites como canales tenga, con lo cual mejora la exactitud.

Parámetros a tener en cuenta antes de salir al campo. Planificación de la colección de datos.

- Almanaque: Un almanaque o archivo de efemérides contiene información de la posición orbital sobre todos los satélites GPS. Se transmite desde los satélites y es automáticamente registrado

desde los receptores. Se debe transferir periódicamente (al menos cada tres meses) un almanaque desde el receptor GPS al ordenador para poder planificar de forma actualizada la situación de los satélites.

- Gráficos de predicción de satélites: Reflejan el número de satélites disponibles, sus elevaciones o acimutes y la PDOP en cada instante.
- PDOP (Dilución de la Precisión de la Posición): Informa sobre la calidad de la geometría de la constelación de satélites. Es un número que toma valores entre 1 e infinito, dando mayor exactitud cuanto menor sea este valor. Un valor entre 4 y 8 es aceptable y por debajo de 4 es muy bueno. Se debe seleccionar el mejor tiempo (mejores horas) para la colección de datos (PDOP mínima), con los 24 satélites funcionando casi siempre hay una PDOP aceptable.

Parámetros a tener en cuenta durante la toma de datos en campo

- Ubicación de la antena: La presencia cercana de objetos que interfieran en la señal (edificios, cubierta arbórea...) y que impidan la "visión" directa satélite-receptor, ha de evitarse en lo posible, así como la cercanía de radares, postes de alta tensión... La antena, por tanto, debe situarse a ser posible en una zona con clara visibilidad del cielo.
- Máscara PDOP: Se puede configurar un valor máximo de PDOP en el receptor para ignorar las constelaciones que presenten un valor superior al dado (lo que implicaría muy poca exactitud).
- Número de satélites visibles: Para obtener una exactitud adecuada, el mínimo número de satélites visibles debe ser de cuatro. Aún así, algunos receptores permiten tomar posiciones con sólo tres, usando la última altitud registrada. Esto conlleva elevadas imprecisiones.
- Máscara SNR (*Signal Noise Ratio* o Fuerza de la Señal): El SNR mide el contenido de la información de una señal en relación al ruido de dicha señal. Cuanto menor sea, más información se perderá en el ruido. Un valor superior a 20 se considera muy bueno. Un mínimo aceptable (valor a usar como máscara) es 6. Este valor se calcula para cada satélite.
- Máscara de Elevación: Es el ángulo de elevación sobre el horizonte bajo el cual no se utilizan satélites. Para un funcionamiento adecuado, esta máscara debe adoptar al menos el valor de 15°. La máscara de elevación del receptor móvil debe ser superior al menos en 10 a la máscara de la base por cada 100 km de distancia entre ambos, para asegurar que la estación base siga los mismos satélites que el móvil.

## 2 Tipos de medición

### GPS

Se conoce por medidas GPS a aquéllas obtenidas con un único receptor. Su uso principal es la navegación debido a su baja exactitud y a la escasa capacidad de memoria de los receptores de este tipo (cientos o pocos miles de puntos).

Exactitud: ~15 m (al 95%) , puede ser algo mejor de 10 m

Precio: 300-2.000 €

Uso: navegación

Tiempo de toma de datos: 1 s

Tipo de lectura: código C/A



## **GPS + WAAS / EGNOS**

Actualmente, una buena parte de los receptores GPS admiten la recepción de correcciones diferenciales emitidas vía satélite dentro de los sistemas WAAS (*Wide Area Augmentation System*) en Norteamérica y EGNOS (*European Geostationary Navigation Overlay Service*) en Europa.

Exactitud: ~3 m (al 95%)

Precio: 300-2.000 €

Uso: navegación

Tiempo de toma de datos: 1 s

Tipo de lectura: código C/A

## **DGPS**

El GPS diferencial o DGPS es aquél que utiliza dos receptores: uno móvil y otro fijo, conocido como base, localizado en un punto de coordenadas conocidas. Las correcciones se realizan en gabinete, no en tiempo real (con postprocesamiento). La información del receptor base se puede obtener gratuitamente de una de las estaciones base existentes, pudiéndose asimismo establecer un receptor propio como base.

Exactitud: entre 0,5 y 5 m (95%)

Precio: 2.000-9.000 €

Uso: navegación, levantamientos topográficos, cartografía, etc.

Tiempo de toma de datos: 1 s

Tipo de lectura: código C/A

## **RT DGPS**

El GPS diferencial en tiempo real (RT DGPS) utiliza dos receptores, móvil y base, conectados en tiempo real vía radio o satélite (menos usual). Permite realizar la corrección simultáneamente a la toma de posiciones. Cuando estas correcciones provienen de antenas institucionales y emitidas vía radio o satélite se conoce como LAAS (*Local Area Augmentation System*).

Exactitud: entre 0,5 y 5 m (95%)

Precio: 2.000-9.000 € // 4.000-18.000 € (dos equipos) + equipo de radio.

Uso: navegación, replanteos, levantamientos topográficos, cartografía, etc.

Tiempo de toma de datos: 1 s

Tipo de lectura: código C/A

## **GPS fase**

En este caso se utilizan dos receptores, móvil y base. Con ambos equipos se efectúan lecturas de fase, lo que permite una mayor exactitud. La corrección diferencial se realiza en gabinete (con postprocesamiento).

Exactitud: entre 0,01 y 0,5 m

Precio: 2.000 – 36.000 €

Uso: levantamientos topográficos, cartografía, etc.

Tiempo de toma de datos: variable, depende del tipo de medición, mínimo de 10 minutos.

Tipo de lectura: fase

## RTK GPS

Se utilizan dos receptores conectados en tiempo real. Es análogo al RT DGPS con la salvedad de que las lecturas que realizan ambos son de fase. Permite obtener alta exactitud en tiempo real.

Exactitud: entre 0,01 y 0,5 m

Precio: >24.000 € (dos equipos + equipo de radio).

Uso: replanteos, levantamientos topográficos, cartografía, etc.

Tiempo de toma de datos: depende del tipo de medición, es inmediato, 1 s si recibe la corrección.

Tipo de lectura: fase

## 3 Corrección diferencial (DGPS)

Esta técnica aumenta de forma significativa la exactitud de los datos GPS capturados. Implica el uso de un receptor en una posición conocida, la estación base, y la captura de posiciones GPS en posiciones desconocidas con otros receptores, móviles o remotos. Los datos capturados en un lugar conocido se utilizan para determinar los errores que contengan los datos del satélite. Las diferencias de desviación se utilizan para eliminar errores de las posiciones del móvil (S/A, relojes del receptor y satélite, posición del satélite, retratos ionosféricos y troposféricos). Por ello es necesario conocer con gran exactitud la posición de la estación base.

Error (en metros)	GPS	DGPS
Horizontal	15	1
Vertical	25	2
3D	30	2,3
Reloj SV	1,5	0
Error orbital	2,5	0
Ionosfera	5	0,4
Troposfera	0,5	0,2
Ruido receptor	0,3	0,3
Multitrayectoria	0 a 100	0 a 10

## 4 Sistema de referencia

Las coordenadas GPS obtenidas sin corrección diferencial están referidas al datum WGS84 (*World Geodetic System 1984*). Los receptores permiten su transformación a otros datums.

## 5 Captura de datos GPS para SIG

Un Sistema de Información Geográfica es un sistema digital de manejo de bases de datos georreferenciadas. Está diseñado para la captura, almacenamiento, análisis y visualización de datos espaciales.

Cada entidad presente en un SIG puede relacionarse con alguna ubicación en la Tierra y puede cartografiarse. Las entidades contenidas en un SIG se definen por su localización y por múltiples atributos que describen las características de dicha entidad y pueden relacionarse unas con otras.

Un SIG permite integrar datos capturados en tiempos distintos, en escalas diferentes y utilizando diversos métodos de captura de datos: digitalización de mapas existentes, manualmente introduciendo datos textuales, pasando información con un escáner o con GPS.

Las fuentes de datos incluyen: mapas sobre papel o transparencias, datos escritos, archivos digitales e información almacenada en la memoria humana.

Hay que tener en cuenta que un SIG sólo es tan bueno como la información que contiene.

Permite realizar análisis de datos tales como: superposición de capas, consultas, reclasificación, combinación y borrado de entidades, realización de operaciones de proximidad, etc.

## Tipos de SIG

- **Ráster:** La base de datos se estructura en una malla o tabla de celdillas o píxeles en la que cada celdilla contiene un valor. Se definen relaciones topológicas limitadas entre las distintas unidades de información.
- **Vectorial:** La información se almacena en entidades (puntos, líneas o polígonos) que quedan definidos por sus coordenadas geográficas. Presentan una base de datos asociada con información temática de cada entidad (cuantitativa o cualitativa). Se definen relaciones topológicas más complejas entre las entidades, lo que permite análisis más exhaustivos.

El GPS captura información en base vectorial.

## Tipos de datos

- **Datos cartográficos:** Consisten en información de mapas almacenada de forma digital. Son las entidades geográficas descritas en un mapa, y se clasifican en:
  - Puntos
  - Líneas (arcos)
  - Polígonos (áreas)
- **Datos temáticos o atributos:** Consisten en información descriptiva almacenada en una base de datos sobre los objetos localizados en el mapa.

## 5.1 Esquema de un día de trabajo en campo con GPS

- Reconocimiento de campo
- Diccionario de datos. puntos de paso
- Transferencia de los datos del ordenador al receptor
- Planificación:
  - Máscara de elevación
  - SV
  - PDOP
  - SNR
- Toma de datos en campo:
  - Configuración del receptor
    - Máscara SNR
    - Máscara de Elevación
    - Máscara PDOP

- Intervalo de registro (frecuencia de almacenamiento de posiciones para cada tipo de característica: puntos y líneas/polígonos)
  - Sistema de coordenadas y Datum
- Funciones del receptor
  - Captura de posiciones (levantamiento)
  - Indicación de posición (replanteo)
  - Navegación (replanteo, puntos de paso)
- Transferencia de datos del receptor al ordenador
- Obtención de datos base
- Corrección diferencial
- Exportación a un SIG

## 6 Bibliografía

- Referencia General. Manuales de Trimble. (Sencillo, muy claro, ideal para iniciarse)
- CATURLA, J.L. (1998) *Sistema de Posicionamiento Global (GPS)*. Instituto Geográfico Nacional. Madrid, 1998 (Sencillo, básico)
- DIXON, C. (1994) *GPS. Qué es, para qué sirve, cómo se usa*. Editorial Noray. Barcelona, 1994. (Sencillo, muy básico, útil para navegación).
- HOFMANN-WELLENHOF, B. (1994) *GPS, Theory and Practice*. Springer-Verlag. New York, 1994 (Completo, para topógrafos)
- LEICK, A. (1996) *GPS Satellite Surveying*. Wiley-Interscience. New York, 1996 (Completo y técnico, para topógrafos)
- NUÑEZ, A. y otros (1992) *GPS. La nueva era de la topografía*. Ediciones de las Ciencias Sociales. Madrid, 1992 (Libro muy técnico)

### 6.1 Páginas web interesantes

(Direcciones en octubre de 2006)

Los siguientes directorios de páginas sobre GPS han resultado ser muy completos y en ellos se pueden encontrar tutoriales, estudios, aplicaciones, empresas comerciales...

- En Yahoo:  
[http://dir.yahoo.com/Science/Geography/Navigation/Global\\_Positioning\\_System\\_\\_GPS\\_/](http://dir.yahoo.com/Science/Geography/Navigation/Global_Positioning_System__GPS_/)
- En Google:  
[http://www.google.com/Top/Science/Earth\\_Sciences/Geomatics/Global\\_Positioning\\_System/](http://www.google.com/Top/Science/Earth_Sciences/Geomatics/Global_Positioning_System/)

Algunas direcciones más específicas:

- Un tutorial de la compañía Trimble Navigation que explica de manera muy sencilla qué es el GPS:  
<http://www.trimble.com/gps/index.htm>
- Otro tutorial de GPSPrimer:  
<http://www.aero.org/education/primers/gps/>
- Más información procedente de la Universidad de Texas:  
[http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gps\\_f.html](http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gps_f.html)

- Revista GPS World:  
<http://www.gpsworld.com>
- Información para los militares y usuarios en general sobre el estado de la constelación, incidencias de todo tipo ofrecido por la Joint Programme Office:  
<http://gps.losangeles.af.mil/>  
<http://tycho.usno.navy.mil/gps.html>
- Página del Servicio Forestal estadounidense con información útil para el uso forestal del GPS:  
[www.fs.fed.us/database/gps/welcome.htm](http://www.fs.fed.us/database/gps/welcome.htm)

# Digitalización con ArcPad

Ortega Pérez, E. y Mancebo Quintana, S. (2007)

## 1 Tabla de contenidos

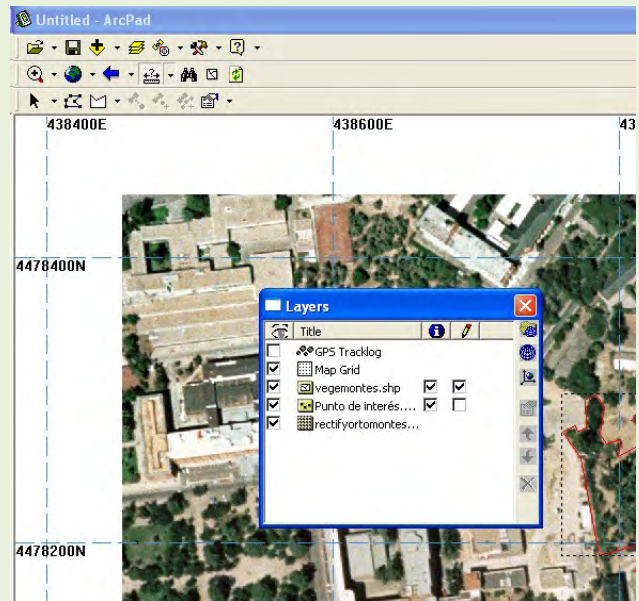
La tabla de contenidos de ArcGIS no existe como tal, sin embargo es posible visualizar todas las capas que tenemos cargadas en la ventana *layers*.

Aquí es donde se activan y desactivan las capas, se eliminan, se ordenan y se permite mostrar su información y que estén en edición o no.

También se muestra la información general de cada una de las capas, así como la proyección en la que se encuentra. Si la capa no tuviese definida la proyección es posible hacerlo de forma sencilla, simplemente indicándole el archivo .prj (archivo que contiene la información de las proyecciones) del sistema de proyección que queremos.

Por último se puede realizar una transformación *on the fly* de la proyección ya que el receptor GPS suele estar en el datum WGS84 y nuestra capa puede tener definido cualquier otro datum y es necesario que ambos tengan el mismo.

ArcPad 6 tiene implementada una transformación de ED-50 a WGS84 para la península ibérica denominada internamente 8045. Se trata de una transformación Molodensky de 3 parámetros de baja calidad que no se suele usar hoy en día, si bien es aceptable para receptores sin corrección diferencial (con una exactitud de 15 metros o peor).

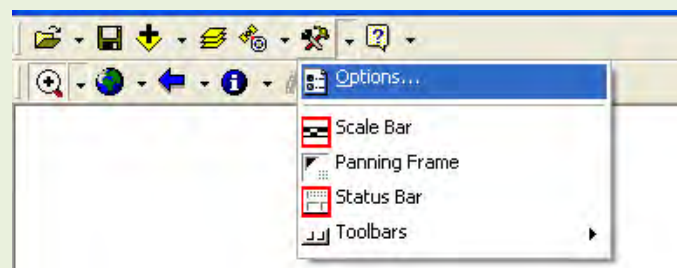


## 2 Realizar mediciones

ArcPad dispone de herramientas de medida que dan información de longitud, área,... de forma inmediata sin necesidad de realizar cálculos en tabla.

## 3 Configuración

La mayor parte de los parámetros que es necesario configurar para controlar la información del GPS se realiza en la ventana de *Options*.





## Pestaña Protocol

El protocolo estándar de transmisión de datos desde un GPS a cualquier otro dispositivo se llama NMEA. En general, todos los receptores GPS emitirán sus datos en este protocolo.

El datum que usan todos los receptores GPS para el cálculo de la posición es el WGS-84, si bien algunos receptores pueden internamente transformar dicho datum a otros que tengan implementados.

## Pestaña GPS

En esta pestaña se introducen los parámetros relacionados con la conexión entre el receptor GPS y la PDA. El puerto dependerá del tipo de conexión entre GPS y PDA y del número asignado por la PDA a esta conexión, esta información se puede determinar con programas de prueba de receptores GPS. El resto de los parámetros vienen definidos por el receptor GPS.

La casilla de verificación *log* permite guardar un registro de todos los datos enviados desde el GPS a ArcPad.

## Pestaña Quality

Estos datos se deben chequear siempre antes de la toma de datos ya que controlan la calidad de las posiciones que se reciben del GPS. ArcPad permite no realizar ningún control de calidad (*No warnings*), si bien dicha práctica no es recomendable. ArcPad permite controlar la PDOP de las posiciones, pudiéndose establecer un máximo para este parámetro; la EPE o estimación del error, si bien este dato sólo se emite desde receptores de la marca Garmin; y el tipo de medida GPS, pudiéndose aceptar sólo las posiciones 3D (= obtenidas con al menos 4 satélites) o/y las posiciones DGPS (corregidas diferencialmente).

ArcPad no permite establecer ni máscaras de elevación ni de nivel de la señal (por ejemplo, sobre la SNR).

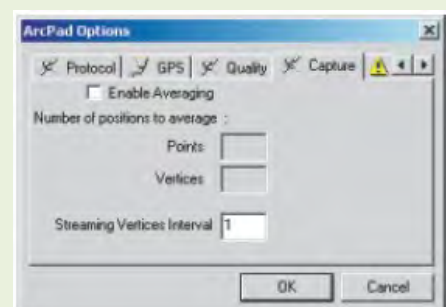
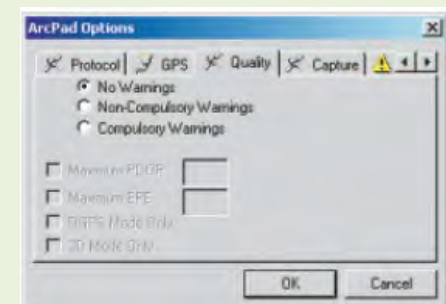
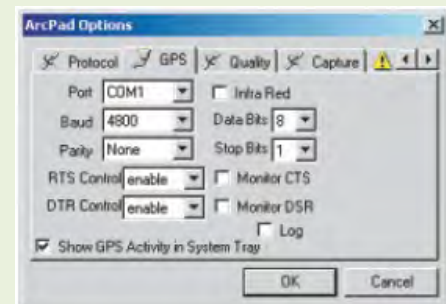
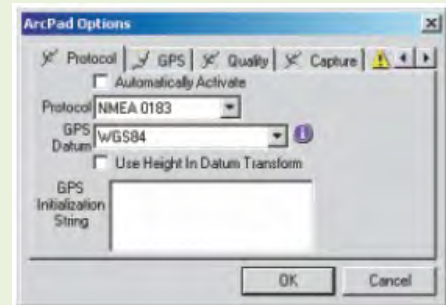
## Pestaña Capture

*Enable averaging* permite que el registro de puntos o vértices (en líneas y polígonos) se base en el promedio de varias posiciones GPS.

*Streaming Vertices Interval* permite controlar el intervalo de captura de los vértices de líneas y polígonos, el valor introducido es un factor que se aplica al intervalo de transmisión de posiciones del GPS, es decir, si el GPS emite una posición cada segundo y el valor es de 5, se capturará un vértice cada 5 posiciones o 5 segundos.

## Pestaña Location

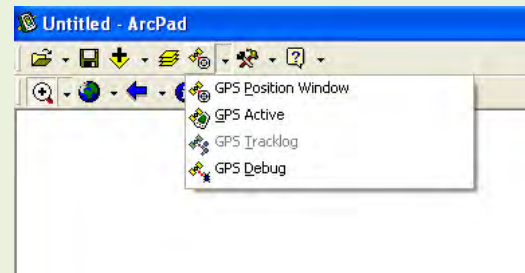
*DST Distance Alert* se utiliza para el replanteo o navegación, permitiendo introducir la distancia a la cual se considera que ya se ha alcanzado el destino.



*DST Distance Alert* se utiliza para el replanteo o navegación, permitiendo introducir la distancia a la cual se considera que ya se ha alcanzado el destino.

## 4 Toma de posiciones con el GPS

Es necesario activar el GPS (*GPS Active*). Una vez activado es posible ver el recorrido de posiciones tomadas con el botón *GPS tracklog*. En este caso no se está creando un nuevo *shapefile*, simplemente muestra el recorrido que se ha realizado.



## 5 Replanteo o Navegación

La herramienta que permite navegar con el GPS se denomina *Go to*. Es posible navegar a un punto elegido marcando sobre la pantalla o navegar a un *feature* (punto, línea o polígono) que previamente se ha seleccionado.

Una vez seleccionado el destino, la información de la distancia y la dirección que se ha de seguir aparece en la ventana del GPS (*GPS position window*). En esta ventana aparece la siguiente información:

- Coordenadas de la posición actual, pudiéndose cambiar el sistema de coordenadas (UTM, geográficas,...), pulsando en las coordenadas que aparecen en pantalla.
- Tipo de posición GPS, siendo: *no fix* cuando no tiene suficientes datos, *2D*, *3D*, *DGPS*.
- *Sky plot*, muestra la posición de los satélites y cuales están siendo utilizados en la determinación de la posición. Pinchando sobre él aparece una gráfica que nos indica el nivel de la señal de cada satélite.
- *SOG (Speed over ground)*, velocidad.
- *COG (Course over ground)*, azimut. Esta puede ser *TCOG (true north)* o *MCOG (Magnetic north)* según se calculen respecto al norte verdadero o al norte magnético.
- *DST (Distance to Selected Target)*, distancia hasta el destino.
- *BRG (Bearing)*, dirección hacia el destino.

## 6 Crear capas nuevas


ArcPad permite crear *shapefiles* "vacíos" de puntos, líneas y polígonos para posteriormente editarlos. Se crean directamente en ArcPad, sin necesidad de utilizar ArcToolbox, que no existe para PDA.

ArcPad lo denomina "New layer", y permite crear los campos de la tabla de atributos al generar este nuevo *shapefile*.

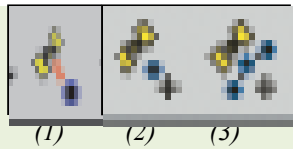
## 7 Captura de datos nuevos y edición

Para poder editar es necesario activar la edición de la capa en la tabla de contenidos.

Al igual que en ArcMap se pueden digitalizar nuevos puntos, líneas o polígonos de forma manual, así como introducir atributos en la tabla asociada.

Para editar *features* ya existentes es necesario seleccionar la herramienta , de esta forma los vértices se activarán. Si nos ponemos sobre uno de ellos podremos desplazarlo introduciendo sus coordenadas o a la posición actual de GPS. Si nos colocamos en cualquier posición del mapa podremos insertar un nuevo vértice o desplazar el que queramos de forma manual.

ArcPad permite crear elementos a partir de posiciones capturadas por el GPS.



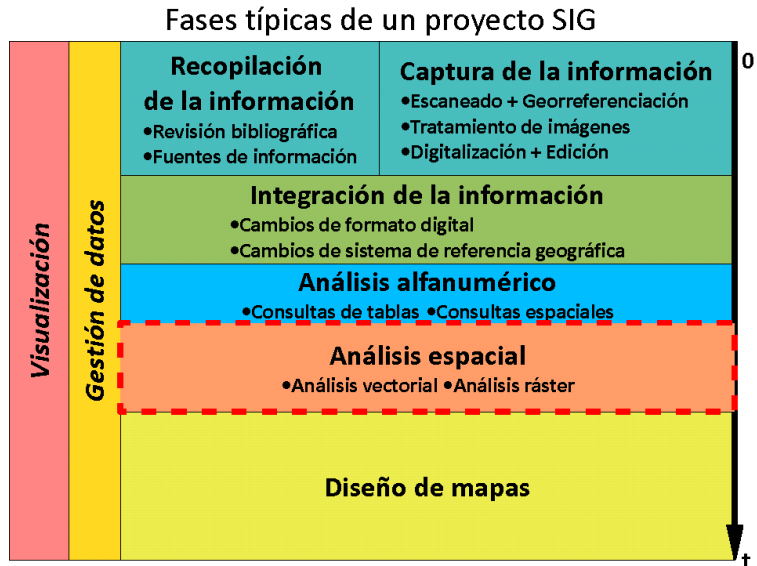
- Crear un punto: se selecciona el punto en la barra de edición y se pulsa (1) cada vez que se quiera crear un punto.
- Crear una línea: se selecciona la polilínea en la barra de edición y se pulsa (2) para marcar los vértices de la línea o (3) para crear una línea continua a partir de las posiciones capturadas por el GPS.
- Crear un polígono: se selecciona el polígono en la barra de edición y se pulsa (2) cada vez que se quiera marcar un vértice del polígono o (3) para crear el polígono de forma continua a partir de las posiciones capturadas por el GPS.

# Análisis Vectorial

Martín Ramos, B. (2008); Mancebo Quintana, S., (2008); Sánchez Vicente, A., (2005)

La fase de análisis espacial en un proyecto SIG toma mayor importancia en función de los objetivos del mismo. Por ejemplo, si el proyecto consiste en crear cartografía, su complejidad será menor que si el proyecto es de investigación. En este capítulo se tratarán diferentes herramientas que ArcGIS ofrece para realizar análisis con formatos vectoriales.

Algunas de las herramientas de análisis vectorial que se muestran en este capítulo son comunes, o muy parecidas en casi todos los SIG, mientras que otras son propias de ArcGIS 9.X.




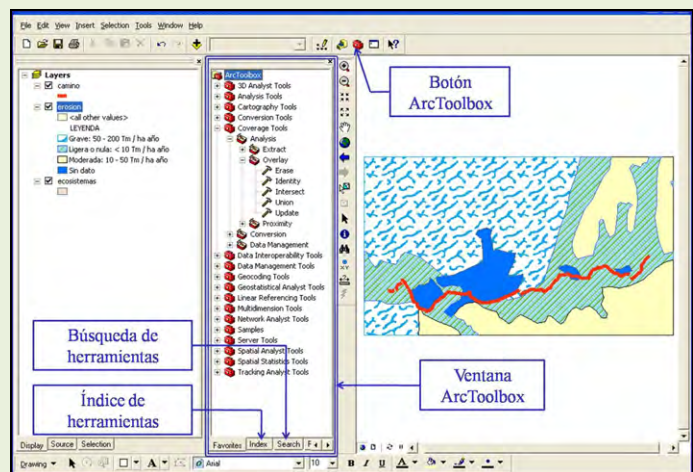
## 1 Análisis vectorial en ArcGIS: ArcToolbox

ArcGIS nos ofrece una serie de comandos con los que realizar diversos análisis vectoriales a través de ArcToolbox. Con ellos podremos operar con distintas capas con el objetivo de conseguir la información que queremos para nuestro trabajo.

Las operaciones se basan en la localización geográfica de los elementos y obtendremos como resultado, en la mayor parte de los casos, otra capa (formato *shapefile*, *geodatabase*) que estará en el sistema de coordenadas definido en la capa de entrada excepto si se elige que la capa de salida sea *feature class* y se guarda en una *geodatabase* existente, entonces tomará el sistema de coordenadas definido en ella.

Es importante señalar que si existen elementos seleccionados en las capas con las que se va a trabajar, el programa realizará el análisis sólo sobre la selección.

ArcToolbox es una ventana en la que el usuario de ArcMap tiene acceso a diferentes herramientas de análisis que ofrece el programa. Para abrir la ventana ArcToolbox, solo es necesario pulsar el botón .



Una vez abierto, la búsqueda de comandos se puede hacer mediante su nombre, utilizando la búsqueda o el índice de herramientas, o bien usando la ruta propia de cada comando.

Una vez encontrado el comando que queremos utilizar, si pinchamos en él, aparecerá un cuadro de diálogo con las variables que debemos completar para ejecutarlo.

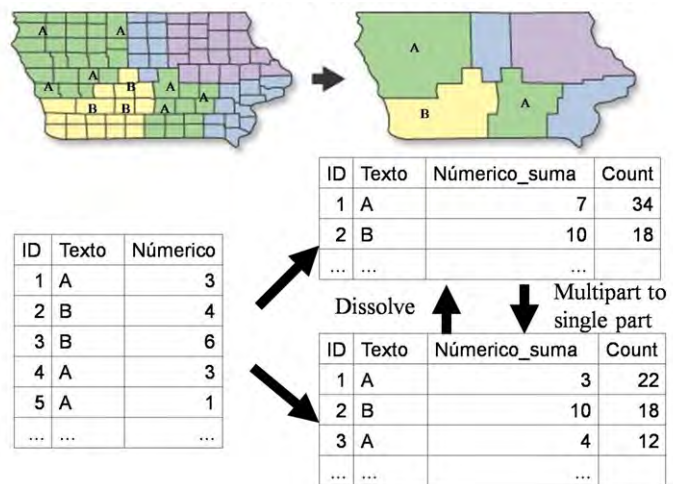
También se puede utilizar ArcToolbox mediante una ventana de comandos, e incluso crear herramientas de análisis nuevas a partir de las que ya existen utilizando el llamado Model Builder.

## 2 Algunas Herramientas para el análisis vectorial

### 2.1 Dissolve

Este es un comando de simplificación de la información. Convierte en uno solo todos aquellos polígonos que tengan alguna característica común.

Como ejemplo, si observamos la siguiente figura, la capa que se representa a la izquierda con su tabla de atributos, se transforma en la de la derecha tras aplicar un *dissolve* eligiendo el campo "Texto". Así todos aquellos polígonos que tengan los registros de ese campo iguales se convertirán en uno solo. En la misma figura se observa que se ha decidido realizar una estadística de un campo de la capa original, en este caso es un sumatorio del campo "Numérico".



Fuente de los gráficos: ArcGIS 9.2 Desktop Help

#### **Dissolve en ArcMap: ArcToolbox-Data Management Tools-General-Dissolve**

Para realizar la operación *dissolve* se elegirá un campo *dissolve field* que es el que tiene la característica común a través de la cual queremos simplificar la capa. El comando también ofrece la opción de realizar alguna operación estadística de los valores de los elementos que se han disuelto. Se puede calcular el mínimo, máximo, media, desviación estándar o varianza de los atributos numéricos, que se incluirá como un nuevo campo en la salida. Por defecto el programa ofrece el estadístico frecuencia en forma de un campo llamado "COUNT".

En la parte de abajo del cuadro de diálogo que aparece para ejecutar la herramienta *dissolve* aparece una pestaña que aparece activada por defecto: *create multipart features*. Si la pestaña está activada, se crearán multipolígonos al ejecutarse el comando. Esto es, aparecerá un solo registro en la tabla para cada valor del *dissolve field*, aunque los polígonos originales no sean contiguos.

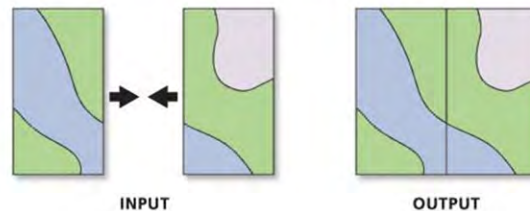
La proyección de la capa de salida es la misma que la de entrada.

Si se quiere deshacer los multipolígonos, se puede ejecutar el comando **Multipart to single part**.



## 2.2 Append y Merge

*Append* y *merge* son términos que se han utilizado en los SIG para la operación que une hojas adyacentes, con el objetivo de obtener una sola capa que contiene todos los elementos.



Fuente de los gráficos: ArcGIS 9.2 Desktop Help

### **Append en ArcMap: ArcToolbox-Data Management Tools-General-Append**

El comando *append* funciona de la siguiente manera: una vez abierta la ventana del comando *append*, debemos introducir en *input features* las hojas que queremos unir, salvo una, que la pondremos en *output* y será el resultado del proceso. Se modificará por tanto esa hoja, por lo que debemos hacer una copia antes, para no cambiar el original. También se puede crear una capa nueva y ponerla como *output*. Los campos de todas las hojas han de llamarse igual y contener el mismo tipo de datos, de lo contrario perderemos la información de aquellas que sean diferentes. Las tablas de las hojas que queremos unir comparten los mismos campos.

Las capas de entrada han de ser del mismo tipo: polígonos con polígonos, líneas con líneas, puntos con puntos.

La proyección de las capas de entrada ha de ser la misma.

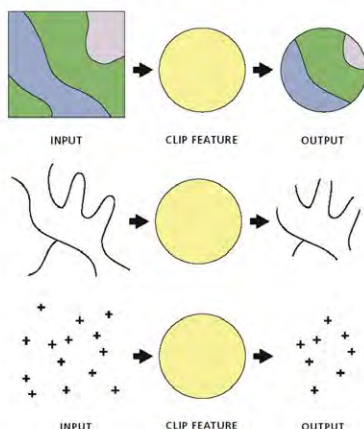
La salida es una capa ya existente, que queda modificada.

### **Merge en ArcMap: ArcToolbox-Data Management Tools-General-Merge**

La función de *merge* es la misma que la de *append*, se diferencia tan solo en que la salida es una capa nueva. El comando también da la opción de elegir los campos que contendrá la capa de salida, a partir de los de las capas de entrada.

## 2.3 Clip

Este comando recorta la información de un mapa que coincide con la capa del segundo mapa, o “molde”. Por ejemplo, de un mapa de España de vegetación necesitamos sólo la información relativa al término municipal de Brunete. Con un mapa de Brunete podemos recortar el mapa original de vegetación y obtener así sólo el área de estudio, simplificando su manejo.



Fuente de los gráficos: ArcGIS 9.2 Desktop Help

### **Clip en ArcMap: ArcToolbox-Analysis Tools-Extract-Clip**

El mapa original puede ser de puntos, líneas o polígonos, pero el molde será siempre de polígonos. El resultado tendrá entidades del mismo tipo que el original.

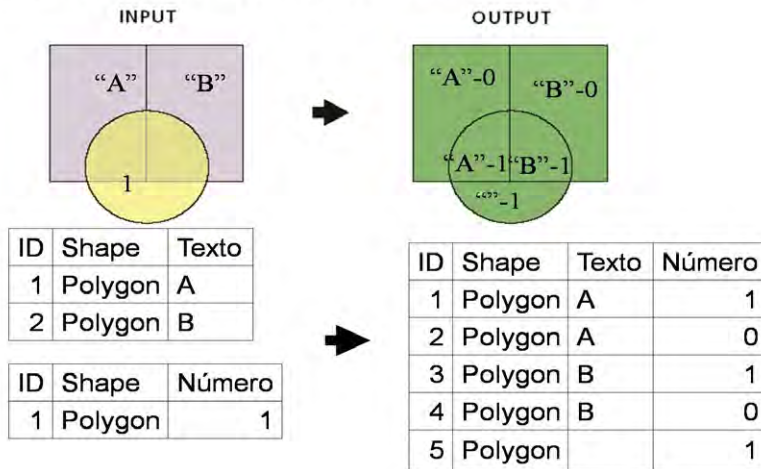
Al pinchar se abre el cuadro de diálogo, pide el nombre de la capa que se va a recortar (*input feature*), el nombre de la capa que se utiliza como “molde” (*clip feature*) y el nombre de salida. Se obtiene otro mapa que conserva los atributos del primero y la superficie y el perímetro del utilizado al recortar. El tipo de entidades vectoriales y la estructura de la tabla de salida son los mismos que los de la primera capa. También la proyección de la capa de salida será la misma que la de la capa de entrada.



## 2.4 Union

*Union* es, posiblemente, el comando más útil y versátil en el análisis vectorial. *Union* crea una nueva capa por superposición de varias capas. Con este comando se une toda la información de las capas de entrada.

**UNION:** ArcToolbox\Analysis Tools\overlay\Union



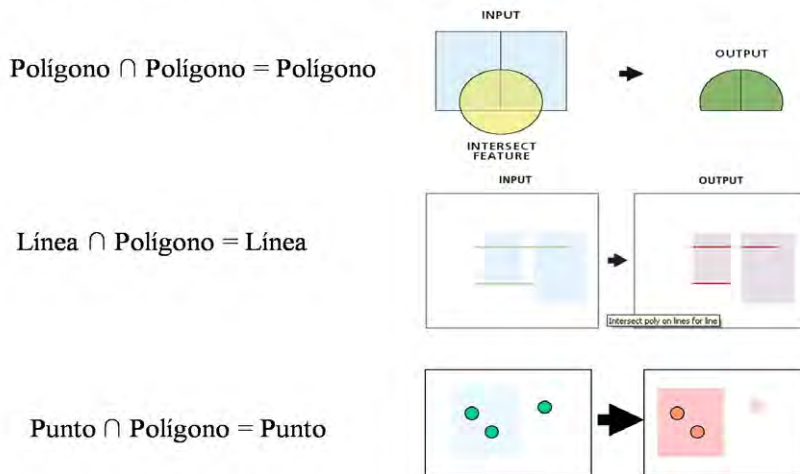
Fuente de los gráficos: ArcGIS 9.2 Desktop Help

### **Union en ArcMap: ArcToolbox-Analysis Tools-Overlay-Union**

Al pinchar sobre *Union*, el cuadro de diálogo pide el nombre de las capas que se van a superponer y el nombre de la capa de salida. Las uniones solo se podrán realizar entre capas de polígonos. ArcGIS versión ArcInfo permite la superposición de muchas capas simultáneamente.

## 2.5 Intersect

*Intersect* crea una nueva capa por superposición de dos capas. La capa resultante tiene los atributos de las dos capas de entrada. La capa de salida solo contiene la información que existe en el área común a las dos.



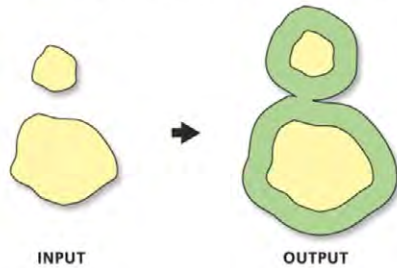
Fuente de los gráficos: ArcGIS 9.2 Desktop Help

### **Intersect en ArcMap: ArcToolbox-Analysis Tools-Overlay-Intersect**

Al pinchar sobre *Intersect*, el cuadro de diálogo pide el nombre de las capas que se van a superponer y el nombre de la capa de salida. En la figura solo se muestran algunas de las intersecciones que se pueden realizar. ArcGIS versión ArcInfo permite la superposición de muchas capas simultáneamente.

## 2.6 Buffer

El fin de este comando es obtener una capa de polígonos que definen los corredores, *buffers*, o parte del territorio que se encuentra a menos de una distancia dada a partir de las entidades de otra capa. Esto es crear áreas de influencia a partir de entidades vectoriales.



Fuente de los gráficos: ArcGIS 9.2 Desktop Help

### **Buffer en ArcMap: ArcToolbox-Analysis Tools-Proximity-Buffer**

Se puede usar distancias negativas cuando la capa de entrada es de polígonos. Las distancias se pueden escribir manualmente en el asistente o bien especificándolas a través de un campo. Cuando la capa de entrada es de líneas, se puede detallar si el *buffer* se quiere en el lado izquierdo o derecho, y si la terminación la queremos redondeada (*Round*) o recta (*Flat*).

El comando también permite realizar un *dissolve* al final, determinando para qué campo queremos dicho *dissolve*.

Además, se puede realizar un *buffer* múltiple (**Multiple Ring Buffer**), asignando las distintas distancias para las que queremos que nos haga los *buffers*. Esta opción aparece como un comando diferente cuya ruta es: *ArcToolbox-Analysis Tools-Proximity-Multiple Ring Buffer*

## 3 Otros comandos de ArcGIS 9.x

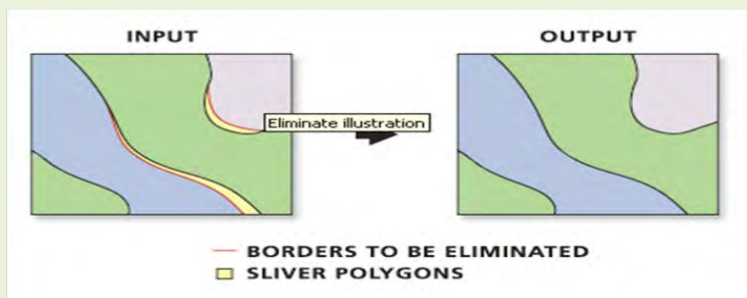
### 3.1 Select

**ArcToolbox-Analysis Tools-Extract-Select** Con este comando seleccionamos una parte de una capa según una expresión SQL, y extraemos la parte seleccionada como una nueva capa. La operación es la misma que si seleccionamos en la tabla y con el botón derecho del ratón hacemos clic encima de esa capa, elegimos *Export Data* y asignamos un destino a la nueva capa.

### 3.2 Eliminate

**ArcToolbox-Data Management Tools-Generalization-Eliminate** Este comando permite eliminar *slivers*, que son pequeños polígonos que se generan como resultado de las pequeñas diferencias de digitalización entre las capas. Cuando se opera con comandos de superposición de capas, aparecen pequeños polígonos que se caracterizan, generalmente, por su elevada relación entre el perímetro y el área.

El comando *eliminate* funciona sobre elementos seleccionados. Se puede seleccionar si se unen al vecino con el área más grande o al vecino con el que más borde compartía (si se activa la casilla *eliminating polygon by border*).

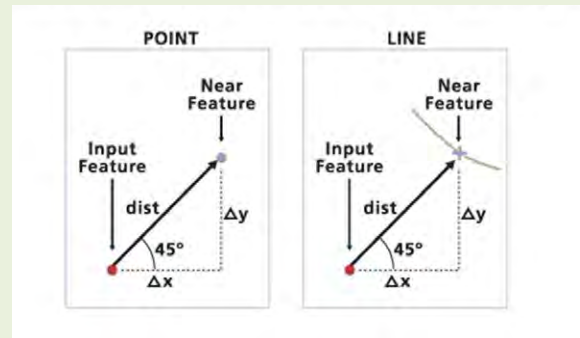


Fuente de los gráficos: ArcGIS 9.2 Desktop Help

### 3.3 Near

**ArcToolbox-Analysis Tools-Proximity-Near** Calcula la distancia desde cada punto de una capa hasta el punto o línea más cercano de otra capa, dentro de un radio de búsqueda.

Al ejecutar la herramienta, en la capa de salida se añaden 2 campos a la tabla de atributos: uno que identifica el elemento más cercano y otro con la distancia calculada.



Fuente de los gráficos: ArcGIS 9.2 Desktop Help

## 4 Análisis vectorial con Arc/Info

Los comandos, su funcionalidad y su uso son prácticamente idénticos a los de ArcGIS. La gran diferencia es que muchos comandos (no todos) se ejecutan más rápidamente y con mayores probabilidades de éxito en Arc/Info. Por esto, cuando se manejan cartografías de territorios extensos es preferible el uso de este SIG.

El comando *dissolve* es menos versátil que el de ArcGIS porque solo se puede especificar un campo -o todos- como base del comando. Además, no permite la realización de estadísticas a partir de otros campos de la tabla.

```
Usage: DISSOLVE <in_cover> <out_cover> <dissolve_item | #ALL>
        {POLY | LINE | NET | REGION.subclass}
Arc: dissolve cobertura cober_dis tipo
```

En Arc/Info existe el comando *merge*, pero no opera sobre capas vectoriales sino ráster. El comando *append* sí es equivalente al de ArcGIS, este comando solicita especificar qué tipo de entidades (*feature\_class*) se unirán (*point, line, poly,...*). Tras ejecutar el comando hay que especificar las capas que se quieren unir.

```
Usage: APPEND <out_cover>
        {NOTEST | template_cover | feature_class...feature_class}
        {NONE | FEATURES | TICS | ALL}
```

```
Arc: append cober_app poly
```

```
Enter Coverages to be APPENDED (Type END or a blank line when done):
```

```
=====
```

```
Enter the 1st coverage: cobertura1
```

```
Enter the 2nd coverage: cobertura2
```

```
Enter the 3rd coverage: end
```

Arc/Info presenta una versión mejorada del comando *append* llamada *mapjoin*. Este comando realiza una corrección topológica, lo que permite corregir pequeñas diferencias en el borde de las hojas adyacentes.

```
Usage: MAPJOIN <out_cover>
        {feature_class...feature_class | template_cover}
        {NONE | FEATURES | TICS | ALL} {clip_cover}
```

El comando *clip* es idéntico al de ArcGIS:

```
Usage: CLIP <in_cover> <clip_cover> <out_cover>
        {POLY | LINE | POINT | NET | LINK | RAW} {fuzzy_tolerance}
Arc: clip cobertura zona_estudio cober_clip
```

El comando *union* es casi idéntico al de ArcGIS, si bien, no permite la unión de más de dos coberturas simultáneamente:

```
Usage: UNION <in_cover> <union_cover> <out_cover> {fuzzy_tolerance}
        {JOIN | NOJOIN}
Arc: union cobertura1 cobertura2 cober_union
```

El comando *intersect* es menos potente que el de ArcGIS, la segunda cobertura solo puede ser de polígonos y solo admite un máximo de dos coberturas.

```
Usage: INTERSECT <in_cover> <intersect_cover> <out_cover> {POLY | LINE |
POINT}
        {fuzzy_tolerance} {JOIN | NOJOIN}
```

```
Arc: intersect cobertura1 cobertura2 cober_inter
```

El comando *buffer* es prácticamente idéntico al de ArcGIS:

```
Usage: BUFFER <in_cover> <out_cover> {buffer_item} {buffer_table}
      {buffer_distance} {fuzzy_tolerance} {LINE | POLY | POINT |
      NODE}
      {ROUND | FLAT} {FULL | LEFT | RIGHT}
Arc: buffer cobertura1 cober_buf # # 100
```

El comando *select* se llama *reselect* en Arc/Info y solicita una expresión para especificar los registros que se seleccionarán y copiarán en la cobertura de salida (véase el capítulo de análisis alfanumérico):

```
Usage: RESELECT <in_cover> <out_cover> {in_feature_class} {selection_file}
      {out_feature_class}
reselect cobertura cober_sel
>: res pais = 'España'
>:
Do you wish to re-enter expression (Y/N)? n
Do you wish to enter another expression (Y/N)? n
```

El comando *eliminate* también solicita qué entidades se eliminarán:

```
Usage: ELIMINATE <in_cover> <out_cover> {NOKEEPEDGE | KEEPEDGE} {POLY |
      LINE}
      {selection_file} {BORDER | AREA}
Arc: eliminate cobertura cober_e1i
Enter a logical expression. (Enter a blank line when finished)
>: res area < 10000
>:
Do you wish to re-enter expression (Y/N)? n
Do you wish to enter another expression (Y/N)? n
```

El comando *near* también es muy parecido, los campos resultantes pueden añadirse a la primera cobertura si no se especifica ninguna cobertura de salida:

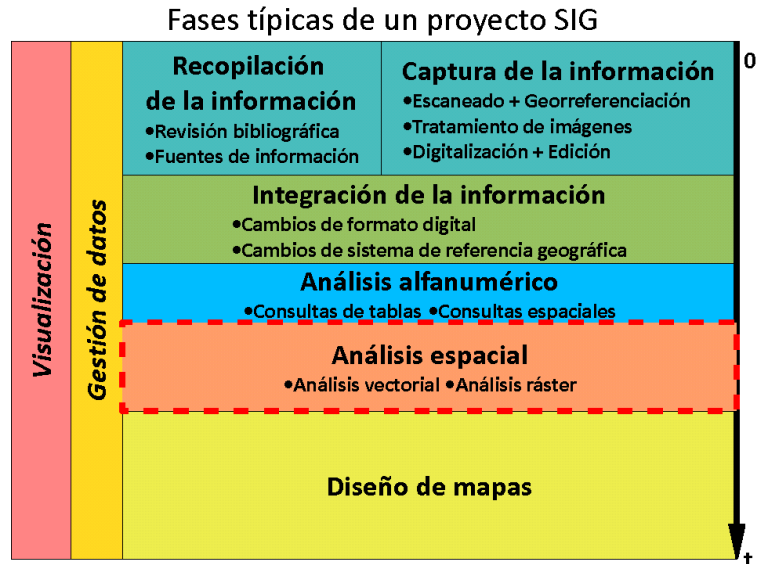
```
Usage: NEAR <in_cover> <near_cover> {LINE | POINT | NODE} {search_radius}
      {out_cover} {NOLOCATION | LOCATION}
Arc: near cobertura1 cobertura2
```

# Análisis Ráster

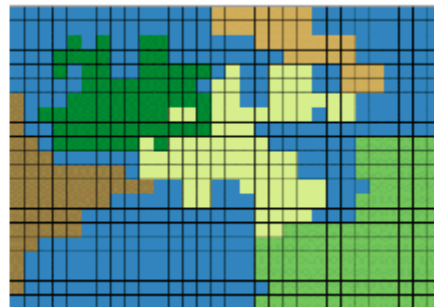
Ortega Pérez, E., (2007); Mancebo Quintana, S. (2008); Espluga González de la Peña, A. P. (2005)

Con el formato ráster la representación de la realidad se realiza dividiendo la información (el territorio) en una serie de celdas (o celdillas o píxeles) en las que, a cada una de ellas, se le asigna un valor para cada una de las variables consideradas. La precisión viene definida por el tamaño de estas celdas que, en general, son cuadradas. El lado de la celda se denomina resolución. Las celdas se distribuyen formando una malla rectangular.

Los valores de los píxeles siempre son números, enteros (*integer*) o reales (*float*). Las capas ráster pueden tener una tabla asociada donde se almacenan los atributos, así los valores pueden representar clases, lo que permite almacenar información cualitativa en una capa ráster (uso del suelo, vegetación, geología, edafología...). Sin embargo, el formato ráster es idóneo para almacenar y manejar información cuantitativa muy variable, cada celda puede presentar un valor distinto (elevación, pendiente, temperatura, precipitación...).



Vectorial



Ráster

A continuación se describen las operaciones más comunes que se realizan utilizando el formato ráster.



## 1 Conversión de formatos

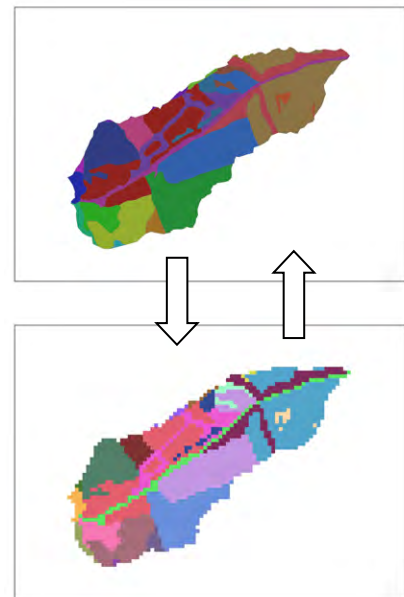
### 1.1 Conversión vectorial a ráster

Si se transforman polígonos a ráster, cada celda toma el valor del polígono que se encuentra en el centro de la celda. En el caso de líneas la celda toma el valor de la línea que intersecta con ella; si una celda intersecta con más de una línea el programa le da el valor de la primera que encuentra al realizar el proceso, este inconveniente se puede atenuar disminuyendo el tamaño de celda. En el caso de puntos la celda toma el valor del punto que encuentra en su interior, si encuentra más de uno el programa le da el valor del primero que encuentra al realizar el proceso.

En los tres casos, si las celdas no intersectan con un polígono, línea o punto se le da el valor de “no data”.

Esta conversión puede conllevar una pérdida de información:

- Cuando dos o más entidades vectoriales coinciden en la misma celdilla, sólo permanecerá la información de una de ellas.
- Si la resolución o tamaño de la celda es muy grande, se introducen errores en la posición, lo que conlleva una pérdida de precisión de la capa.



### 1.2 Conversión de ráster a vectorial

Cuando se convierte una superficie ráster de polígonos a una representación vectorial de polígonos, los polígonos se construyen agrupando celdas contiguas que tienen el mismo valor. Los bordes del polígono son los bordes de las celdas. Cuando se convierte una representación de líneas en ráster a polilíneas, cada polilínea es creada desde cada celda en la capa de entrada pasando por el centro de cada celda. Si la conversión es de una capa de puntos, se creará un punto en la capa de salida por cada celda que contenga un punto en la capa de entrada; se considerará el punto colocado en el centro de la celda.

Las celdas que figuran con “no data” no constituirán ningún elemento vectorial en la capa de salida.

Cuando los valores son muy variables, el número de polígonos que se podría obtener es tan elevado como el número de celdas. ArcGIS, por ejemplo, no permite la transformación de capas ráster de números reales a vectorial, ya que presupone que el número de polígonos que se podrían llegar a formar podría sobrepasar los límites del programa.

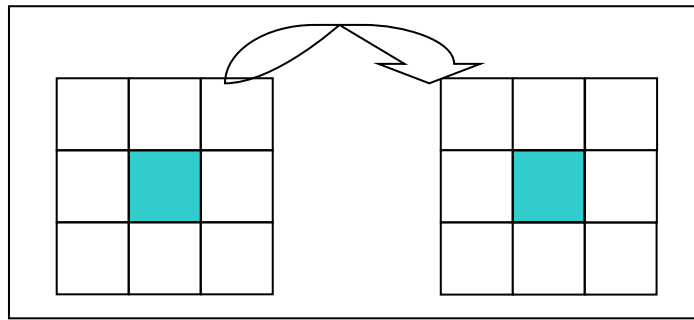
Esta conversión también puede suponer una pérdida de información:

- Cuando se trata de entidades lineales o poligonales, la forma sigue la configuración rectangular de las celdas, asemejándose a escaleras, lo que conlleva una longitud o perímetro mayores a los reales. Este problema se solventa generalizando las líneas o polígonos, es decir, permitiendo un desplazamiento moderado de los vértices, obteniéndose así formas simplificadas.

## 2 Operaciones estadísticas

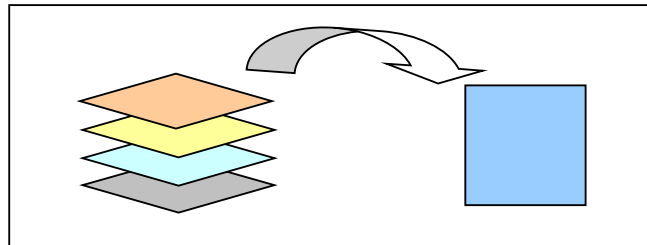
### 2.1 Estadísticas entre celdas de una misma capa

Conjunto de operaciones estadísticas que tienen en cuenta el valor de una celdilla y las adyacentes; operaciones de vecindad, filtros,... Calcula media, moda, máximo., mínimo. Utiliza matrices 3x3, 7x7, rectangulares, redondas,... Se utiliza mucho en teledetección y para suavizar mapas de pendientes (quitar errores basado en la media de puntos de una matriz 3x3,...).



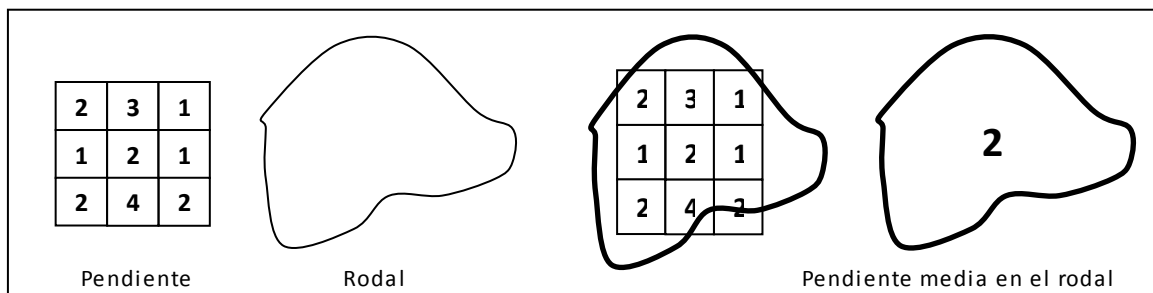
## 2.2 Estadísticas entre celdas de varias capas

Es una función local donde el valor de cada celda en la capa de salida es función de los valores de esa celda en las capas de entrada. El valor de la celda de salida puede ser una función estadística de los valores de entrada. Se utiliza para estudiar variaciones a lo largo del tiempo de usos de suelo, precipitaciones, etc. Puede calcular máximos, mínimos, la suma, media, desviación estándar, rangos... Si una celda en cualquiera de las capas ráster de entrada tiene el valor de "No data", el valor de esa celda en la capa ráster de salida será de "No data". El comando pide las capas a utilizar y el tipo de operación estadística a realizar.



## 2.3 Resúmenes estadísticos basados en unidades de otra capa

Calcula datos estadísticos del valor de las celdillas en las diferentes unidades de otra capa (que puede ser vectorial o ráster). Se puede usar, por ejemplo, para conocer la pendiente media dentro de los diferentes rodales de un monte.



## 3 Interpolación

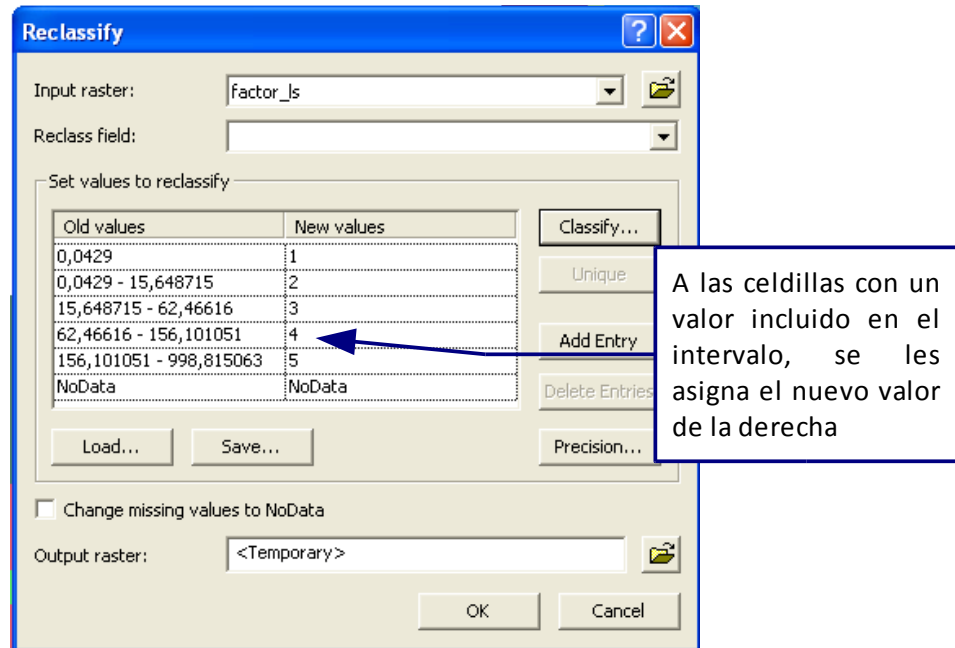
La interpolación permite predecir los valores de una serie de celdas a partir de los valores en unos puntos. Se pueden utilizar para el cálculo de elevaciones, precipitaciones, concentraciones químicas, ruidos, etc. La interpolación asume que la distribución espacial de objetos sigue una correlación, es decir, los objetos próximos tienden a tener características similares. Existen varios métodos de interpolación, se deberá escoger el más adecuado en cada caso.

## 4 Cálculo de densidades

Permite crear una superficie continua de densidades a partir de unos elementos de entrada, generalmente puntos, proporcionando una información más clara de la distribución de esos elementos a través de una superficie. Se utiliza frecuentemente para ver la distribución de la población sobre el territorio.

## 5 Reclasificaciones

Una reclasificación permite modificar los valores de la capa ráster de entrada por otros nuevos y salvar los cambios en una nueva capa ráster.



Puede haber muchos motivos por los que se quiere reclasificar una información: para reemplazar valores debidos a una nueva información, agrupar valores, reclasificar valores de acuerdo a una nueva escala...

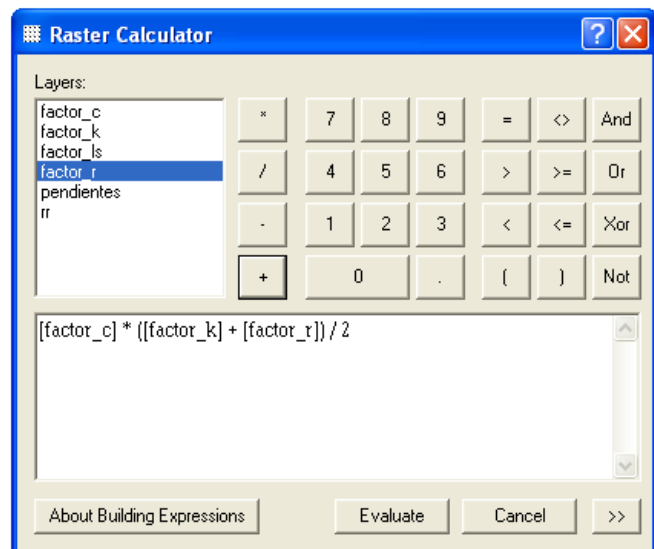
## 6 Operaciones de análisis

El formato ráster permite realizar operaciones de análisis. Estas operaciones se limitan a operaciones y funciones matemáticas, resultando una nueva capa cuyas celdillas tendrán el valor resultante de la operación matemática aplicada.

## 7 Cálculo de distancias

Es el comando para el cálculo de distancias en ráster, la distancia se puede medir de varias formas; distancia euclidiana (en línea recta) o en otras medidas de coste:

- **Línea recta:** Mide la distancia de cada celda al objetivo, desde el centro de una celda al centro de otra.
- **Distancia con coste acumulado:** similar al anterior pero en vez de calcular la distancia de un punto a otro calcula el coste acumulado de atravesar una celda hasta el objetivo. Crea un mapa donde cada celda contiene un valor que



representa lo que cuesta ir desde ella al objetivo, es decir, la resistencia al desplazamiento, teniendo en cuenta lo que cuesta moverse a través de ella debido a la pendiente o cualquier medida de coste, impactos, etc.; y un mapa de direcciones que proporciona el mínimo coste desde la celda al objetivo.

- Camino mínimo: esta función calcula el camino más corto desde un origen a un objetivo, para ello es necesario calcular antes el mapa de distancias en términos de coste y el mapa de direcciones. El camino más corto es la ruta más económica entre dos puntos medida en las unidades de coste definidas en el mapa de costes, es decir, puede ser el camino más barato en términos de construcción, el que produce menor impacto ambiental, etc.

## 8 Análisis de superficies

Un modelo digital del terreno es una representación espacial de una variable cuantitativa y continua, como puede ser la temperatura, la cota o la presión atmosférica. En particular, cuando la variable a representar es la cota o altura del terreno se denomina Modelo Digital de Elevaciones o MDE. Por tanto, Un modelo digital del elevaciones es una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de la altitud de la superficie del terreno.

La unidad básica de información en un MDE es un punto acotado, definido como una terna compuesta por un valor de altitud,  $z$ , al que acompañan los valores correspondientes de  $x$  e  $y$ .

Un MDE se puede representar, principalmente, mediante dos modelos de datos: la matriz de alturas (organización ráster) y la estructura TIN (red de triángulos irregulares). En un TIN, se conoce la altitud de unos puntos determinados, lo que permite crear triángulos por la unión de estos puntos.

A partir de un Modelo Digital de Elevaciones (MDE), que puede ser en formato TIN o ráster, se pueden realizar análisis de superficies obteniendo mapas de orientaciones (*aspect*), pendientes (*slope*), curvas de nivel (*contour*), mapas de sombras (*hillshade*) y análisis de visibilidad (*viewshed*).

### Creación de curvas de nivel

Los SIG permiten crear curvas de nivel a partir de un modelo digital de elevaciones. Se trata de polilíneas que unen puntos de igual valor y su distribución muestra como varían los valores a través de la superficie. Además de para crear curvas de nivel se puede utilizar para crear isóneas de temperaturas, precipitaciones,...

### Cálculo de pendientes

Partiendo de un modelo digital de elevaciones (MDE) es posible calcular la pendiente puntual de un territorio, el resultado puede ser en grados o en porcentaje.

### Cálculo de orientaciones

Se trata de un mapa en el que se identifican las direcciones de máxima pendiente de una celda a sus vecinas; es lo que se denomina orientación. Se mide en grados de 0 - 360°. A las zonas llanas se les suele asignar el valor -1.

### Mapa de sombras

Iluminación de la superficie o mapa de sombras, para su realización, el SIG considera un hipotético foco de luz y calcula la iluminación de cada celda en relación con sus vecinas; con esto se mejora la visualización de una superficie para su posterior análisis. Por defecto las zonas de luces y sombras se representan en una gama de grises que van del 0 (negro) al 255 (blanco).

### Cuencas visuales

Se trata de una identificación de los puntos que pueden ser vistos en la capa ráster (MDE). Si sólo hay un punto de observación, a las celdas desde las que se puede ver ese punto les da un valor 1 y al resto otro. Si

existe más de un punto de observación cada celda en la capa de salida recibe un valor que indica cuántos puntos pueden ser vistos desde ella.

## 9 Ráster en ArcGIS

### 9.1 Generalidades

Las extensiones de ArcGIS que nos permiten trabajar con ráster son Spatial Analyst y 3D Analyst. Para poder actuar con la extensión hay que cargar la barra de herramientas correspondiente (Spatial Analyst o 3D Analyst). En ocasiones la barra aparece desactivada, esto se debe a que la extensión no está activada, para activarla hay que marcar Spatial Analyst y 3D Analyst en *Tools-Extensions*.

Las capas ráster tienen formato ESRI *grid* que es común para ArcView, Arc/Info y ArcGIS.

Todas las herramientas de visualización, consulta, selección, etc. Se pueden aplicar sobre el mapa ráster.

En la tabla hay un campo con el nº de píxeles, que multiplicado por la resolución al cuadrado da directamente la superficie.

Los nombres de las capas ráster deben tener menos de 13 letras, no tener espacios ni caracteres “raros” como ñ, ´,...

En muchas ocasiones, tras realizar operaciones de análisis en ráster la capa de salida será un *grid* temporal, se puede hacer permanente en la ventana de contenidos.

Antes de empezar a realizar análisis en ráster se debe definir el directorio de trabajo, la extensión de los mapas y el tamaño de celda a utilizar, es decir, la resolución. Esto se realiza a través de *options* que aparece al pinchar en el módulo de Spatial Analyst, esta opción también nos permite ver las características de las imágenes cargadas.

### 9.2 Comandos

Operación		Comando de ArcGIS
Conversión vectorial a ráster		<i>Convert-Features to raster</i>
Conversión ráster a vectorial		<i>Convert-Raster to features</i>
Estadísticas entre celdas de una misma capa		<i>Neighborhood statistics</i>
Estadísticas entre celdas de varias capas		<i>Cells statistics</i>
Resúmenes estadísticos basados en unidades de otra capa		<i>Zonal statistics</i>
Interpolación		<i>Interpolate to raster</i>
Cálculo de densidades		<i>Density</i>
Reclasificación		<i>Reclassify</i>
Operaciones de análisis		<i>Raster calculator</i>
Cálculo de distancias	Línea recta	<i>Distance-Straight Line</i>
	Distancia con coste acumulado	<i>Distance-Cost weighted distance</i>
	Camino mínimo	<i>Distance-Shortest path</i>
Creación Modelos Digitales Elevaciones		<i>Create TIN (3D Analyst)</i>
		<i>Topo to raster (en ArcToolbox)</i>
Isolíneas		<i>Surface analysis-Contour</i>
Mapa de pendientes		<i>Surface analysis-Slope</i>
Mapa de orientaciones		<i>Surface analysis-Aspect</i>
Mapa de sombras		<i>Surface analysis-Hillshade</i>
Mapa cuencas visuales		<i>Surface analysis-Viewshed</i>

## 10 Análisis ráster en Arc/Info

El manejo de capas ráster en Arc/Info es muy similar al de ArcMap. El formato en ambos casos es el mismo, ESRI GRID, y la velocidad de ejecución de las operaciones es prácticamente idéntica. El *raster calculator* de ArcMap es casi idéntico al módulo ráster de Arc/Info. En nuestra opinión, es más cómodo el uso de ArcMap, si bien en ocasiones sí convendría usar Arc/Info. Por ejemplo, cuando se quiere hacer uso de las tablas asociadas a los *grids* ArcMap presenta limitaciones en su manejo, especialmente en las versiones anteriores a la 9.2.

### 10.1 Acceso al módulo ráster

Al módulo ráster de Arc/Info se accede ejecutando *grid*:

**Arc: grid**

Muchos de los comandos ráster usan una notación distinta al resto de comandos de Arc/Info, de tal forma que la capa ráster de salida es lo primero que se especifica, seguida de un igual y el comando con sus parámetros. Por ejemplo, si vemos el uso del comando *costdistance*:

**Usage: (F) COSTDISTANCE (<source\_grid>,<cost\_grid>,{o\_backlink\_grid},  
{o\_allocate\_grid},{max\_distance},{value\_grid})**

vemos que a la izquierda del comando aparece una F, lo que nos está indicando que primero necesita el nombre de la capa de salida (que en este caso será de tipo *Float* o de números reales). Un ejemplo:

**griddistancia = costdistance (gridorigen, gridcostes)**

Las posibles salidas son F (*Float*), I (*Integer*), C (*Cover*), T (*Table*), \* (variable)...

### 10.2 Comandos

Operación		Comando de Arc/Info
Conversión vectorial a ráster		<i>pointgrid, linegrid, polygrid</i>
Conversión ráster a vectorial		<i>gridpoint, gridline, gridpoly</i>
Estadísticas entre celdas de una misma capa		<i>focalsum, focalmean... blocksum, blockmean...</i>
Estadísticas entre celdas de varias capas		<i>sum, mean, min, max, range, minority, majority...</i>
Resúmenes estadísticos basados en unidades de otra capa		<i>zonalstats</i>
Interpolación		<i>idw, spline, kriging</i>
Cálculo de densidades		<i>pointdensity, linedensity</i>
Reclasificación		<i>reclass</i>
Operaciones de análisis		*véase el siguiente epígrafe
Cálculo de distancias	Línea recta	<i>eucldistance</i>
	Distancia con coste acumulado	<i>costdistance</i>
	Camino mínimo	<i>costpath</i>
Creación Modelos Digitales Elevaciones		<i>createtin topogrid, topogridtool</i>
Isolíneas		<i>contour</i>
Mapa de pendientes		<i>slope</i>
Mapa de orientaciones		<i>aspect</i>
Mapa de sombras		<i>hillshade</i>
Mapa cuencas visuales		<i>visibility</i>



### 10.3 Operaciones de análisis

Es posible operar con capas ráster como si de una calculadora se tratara, por ejemplo son válidas expresiones como estas:

```
Grid: gridsuma = grid1 + grid2
```

```
Grid: gridproducto = grid1 * grid2
```

La lista de funciones disponibles es muy amplia, por ejemplo la potenciación sería:

```
Grid: gridexpo = pow(grid, 2)
```

## 11 Análisis 3D

El módulo **3D Analyst** permite la realización de modelos de elevaciones del territorio mediante triangulación, a través del comando TIN (*Triangulated Irregular Network*). El método TIN recubre la superficie a representar de una red irregular de triángulos almacenando el valor de z en cada nodo del triángulo.

Para la realización del TIN partimos de información en formato vectorial, se pueden utilizar capas de puntos o líneas como elementos de entrada que contengan el atributo z (altitud). El comando permite combinar capas con diferentes tipos de elementos y los denomina *mass points*, *breaklines* y *polygons*.

*Masspoints* son puntos que contienen la altitud (cotas), constituyen los nodos de la red de triangulación. Si la superficie a representar es muy accidentada será necesario conocer la altitud de un mayor número de puntos que si es más homogénea para lograr mayor precisión en la representación.

*Breaklines* representan líneas que pueden tener o no altitud, curvas de nivel, ríos, carreteras... Existen dos tipos de *breaklines*: *hard* y *soft*. *Hard breaklines* representan una discontinuidad brusca en la pendiente de la superficie (curvas de nivel, ríos, carreteras). *Soft breaklines* representan líneas que no alteran la pendiente de una superficie (fronteras...).

# Análisis de redes

Ortega Pérez, E. (2006) y Mancebo Quintana, S. (2008)

El análisis de redes permite resolver muchos problemas comunes del transporte, como por ejemplo, determinar la ruta de mínimo coste entre varios puntos o encontrar una zona de servicio alrededor de una localización. Los más comunes son los siguientes:

## Encontrar la mejor ruta

La mejor ruta es el mejor camino para ir de una localización a otra, añadiendo, si se desea, paradas intermedias. Esto puede resultar muy útil en el diseño de rutas de distribución de mercancías por ejemplo.

La mejor ruta es la que presente menos impedancia, siendo la impedancia definida por el usuario, lo habitual es que esta impedancia sea el tiempo o la distancia.

## Encontrar el servicio más cercano

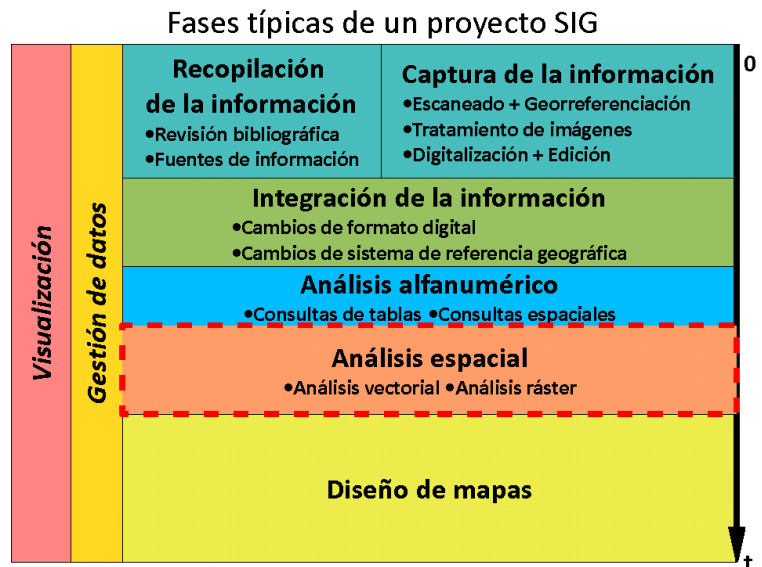
Se utiliza, por ejemplo, para localizar el hospital más cercano a un accidente, el parque de bomberos a un incendio, etc. La herramienta permite determinar cuántas localizaciones se pueden encontrar, el sentido del viaje (ir del hospital al accidente o al contrario), o establecer un tiempo máximo de desplazamiento.

## Encontrar áreas de servicio

Un área de servicio es una región que es accesible desde un determinado punto. Por ejemplo, el área de servicio de un almacén serán todas las calles a las que puede llegar en un tiempo determinado.

## Crear una matriz de orígenes y destinos

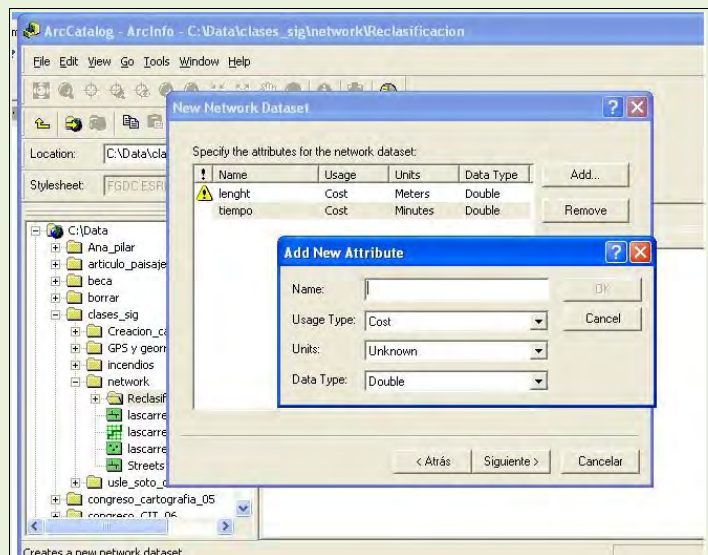
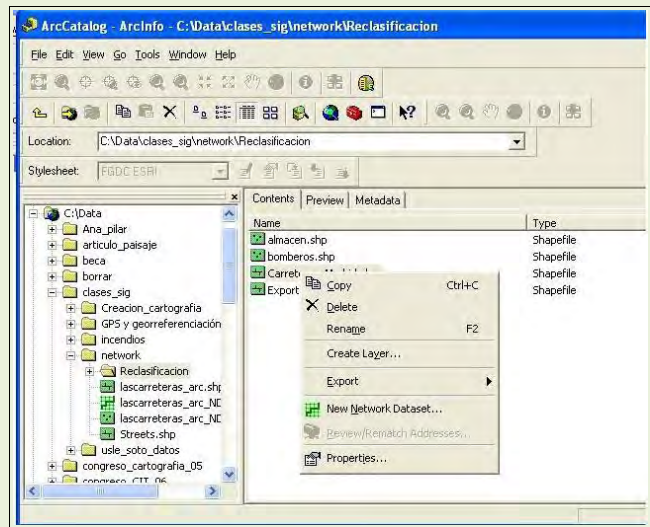
Una matriz de orígenes y destinos que contiene las impedancias totales (tiempo, distancia, etc.) entre cada origen y cada destino.



# 1 Cálculo con ArcGIS

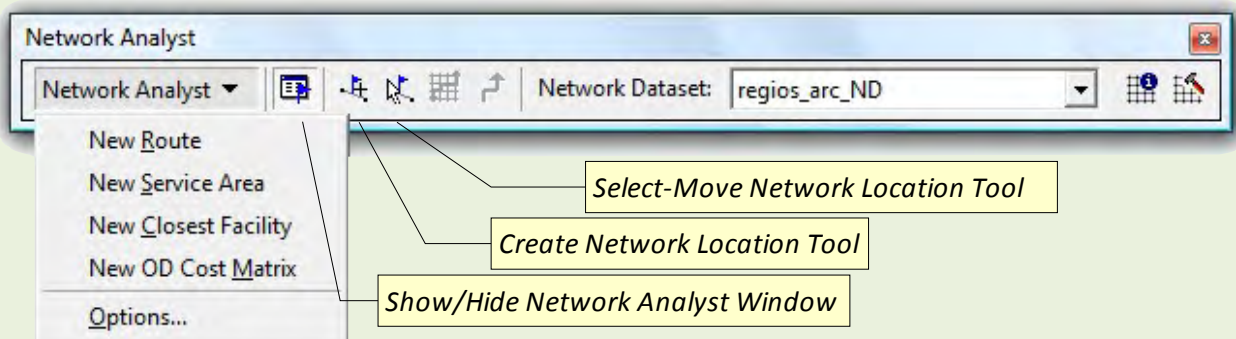
## Creación de una capa de red basada en un *shapefile*

1. Se activa la extensión Network Analyst en ArcCatalog.
2. Crear una nueva base de datos de red a partir de un *shapefile* existente: botón derecho, *New Network Dataset*.
3. A continuación pregunta sobre la conectividad existente entre las distintas redes que puedan existir, definiendo si existe en cualquier nodo o en un punto final. También se puede definir que la conectividad es en función de la altitud, existiendo si las redes están en la misma cota y no en caso contrario, por ejemplo en puentes o túneles.
4. Por último se deben especificar los atributos. ArcGIS busca en el *shapefile* si existen los siguientes campos: "Meters", "Minutes" ("FT\_Minutes" y "TF\_Minutes", uno para cada dirección), y "Oneway". Si no los hay se deben añadir manualmente.



## Preparación en ArcMap

1. Se activa la extensión Network Analyst en ArcMap.
2. Se añade la red antes creada en ArcCatalog.
3. Se carga la barra de herramientas *Network Analyst*:



4. Se activa la ventana *Network Analyst Window* usando el botón *Show/Hide Network Analyst Window*.

## Encontrar la mejor ruta

1. Seleccionar **New Route**. En la *Network Analyst Window* aparece una lista de paradas “Stops”, rutas “Routes” y barreras “Barriers” y en la tabla de contenidos aparece una nueva capa de análisis de rutas llamada “Route”.
2. Añadir paradas; para ello en la *Network Analyst Window* debe estar seleccionado “Stops” y con la herramienta *Create Network Location Tool* se añaden todas las paradas que queramos, se van numerando automáticamente e indica el orden en que serán visitadas en el cálculo de la ruta. El orden se puede cambiar en la *Network Analyst Window* pinchando y arrastrando las paradas. Existe la posibilidad de cambiar la localización de una parada, esto se hace con la herramienta *Select-Move Network Location Tool*.
3. A continuación se deben configurar los parámetros del análisis en el menú contextual de la capa “Route” *Properties-Analysis Settings*:
  1. Impedancia, por lo general será tiempo.
  2. Giros, permitidos o no.
  3. Especificar si se reordenan las paradas para encontrar la ruta óptima.
4. Existe la posibilidad de añadir barreras en las vías o calles que serán tenidas en los cálculos y modificaran el trazado de la ruta. Se selecciona en la *Network Analyst Window* “Barriers” y con la herramienta *Create Network Location Tool* se añaden las barreras.
5. Una vez calculadas las rutas, éstas se pueden guardar desde el menú contextual de “Routes” pinchando en *Export Data*.

## Encontrar el servicio más cercano

1. Seleccionar **New Closest Facility**. En la *Network Analyst Window* aparece una lista de servicios, como pueden ser hospitales, parque de bomberos, etc. “Facilities”, incidentes “Incidentes”, rutas “Routes” y barreras “Barriers”.
2. Añadir la situación de los servicios; para ello en la *Network Analyst Window* debe estar seleccionado “Facilities” y con la herramienta *Create Network Location Tool* se añaden todas las que queramos. Se puede añadir una capa completa con la orden *Load Locations* en el menú contextual de “Facilities”.
3. A continuación se deben configurar los parámetros del análisis, en el menú contextual de la capa “Closest Facility” *Properties-Analysis Settings*.
  1. Impedancia, por lo general será tiempo.
  2. *Default Cutoff value*, se buscarán solo los servicios que estén dentro del tiempo especificado.
  3. Número de servicios a buscar.
  4. Giros, permitidos o no.
4. Por último se da una localización a un incidente o lugar donde se va a prestar el servicio. La ruta irá desde el servicio más cercano hasta este lugar.
5. También existe la posibilidad de añadir barreras en las vías o calles que modificaran el trazado de las rutas.
6. Una vez calculadas las rutas, éstas se pueden guardar desde el menú contextual de “Routes” pinchando en *Export Data*.

### Encontrar áreas de servicio

1. Seleccionar **New Service Area**. En la *Network Analyst Window* aparece una lista de servicios, como pueden ser almacenes, parques de bomberos, etc. "Facilities", barreras "Barriers", áreas de servicio "Polygons" y líneas "Lines".
2. Añadir la situación de los servicios como en el caso anterior.
3. A continuación se deben configurar los parámetros del análisis en el menú contextual de la capa "Service Area" *Properties-Analysis Settings*.
  1. Impedancia, por lo general será tiempo.
  2. Intervalos de tiempo a calcular. (e. g. 5 10 15 min.).
  3. Sentido.
  4. Giros, permitidos o no.
4. Una vez calculadas las áreas de servicio, éstas se pueden guardar desde el menú contextual de "Polygons" pinchando en *Export Data*.

### Cálculo de una matriz de orígenes y destinos

1. Seleccionar **New OD Cost Matrix**. En la *Network Analyst Window* aparece una lista de orígenes "Origins", destinos "Destinations", líneas "Lines" y barreras "Barriers".
2. Añadir la situación de los orígenes y destinos de forma análoga a los servicios.
3. A continuación se deben configurar los parámetros del análisis en el menú contextual de la capa "OD Cost Matrix" *Properties-Analysis Settings*.
  1. Impedancia, por lo general será tiempo.
  2. *Default Cutoff value*, se buscarán los destinos que estén dentro del tiempo especificado.
  3. Número de destinos a encontrar.
  4. Giros, permitidos o no.
4. El resultado es una tabla en la que aparecen todas las relaciones existentes entre los orígenes y los destinos.



## 2 Cálculo con Arc/Info

Las herramientas de análisis de redes están integradas en el módulo *Arcplot*, al cual se accede con el comando *arcplot*:

```
Arc> arcplot
```

### Preparación de la red

La red es una cobertura de líneas. Las impedancias se especifican en un campo de la tabla de las líneas. Los orígenes, destinos y paradas son nodos de la red. La tabla de nodos se crea con el comando *build*:

```
Arc> build <cover> NODE
```

la tabla se llama *<cover>.nat* y se le puede dotar de información a partir de una cobertura de puntos con el comando *pointnode*:

```
Arc> pointnode <net_cover> <point_cover>
```

Opcionalmente se pueden introducir impedancias de giro que se almacenan en una tabla. La creación de esta tabla es automática con el comando *turntable*:

```
turntable <net_cover>
```

Designación de la red se hace con el comando *netcover*, que solicita el nombre que tendrá el sistema de rutas:

```
Arcplot> netcover <net_cover> <route_system>
```

Designación de impedancias con el comando *impedance*:

```
Arcplot> impedance <from_to_impedance_item> <to_from_impedance_item>  
<turn_impedance_item>
```

Designación de orígenes, destinos y paradas creando una tabla con los identificadores internos y con el comando *stops*:

```
Arcplot> stops <table>
```

### Obtención de matrices origen-destino

Con el comando *nodedistance*:

```
Arcplot> nodedistance stops
```

### Obtención de rutas óptimas

Con el comando *paths*:

```
Arcplot> paths
```

### Asignación de demanda

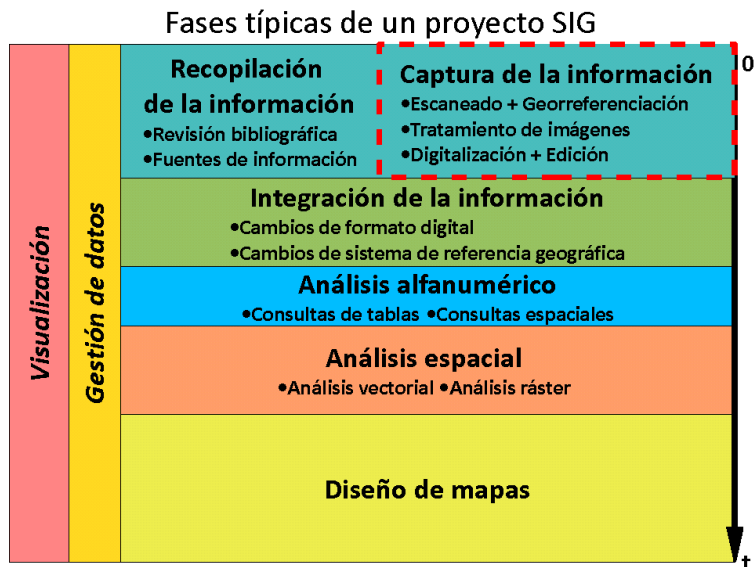
Con el comando *allocate*:

```
Arcplot> allocate
```

# Topología

Catalán Herrero, J. (2007) y Mancebo Quintana, S. (2008)

La topología es una rama de la matemática, que estudia relaciones espaciales. En los SIG es una herramienta que nos va a permitir mantener ciertas relaciones espaciales entre elementos geográficos. De esta forma, no habrá huecos entre dos fronteras, los arcos que se supone tienen que estar conectados lo estarán, dos superficies no se solaparán... Emplearemos la topología para imponer una serie de normas a los elementos geográficos.



## 1 Topología en ArcGIS

Los formatos de almacenamiento de ESRI no son equivalentes en cuanto a su comportamiento respecto a la topología:

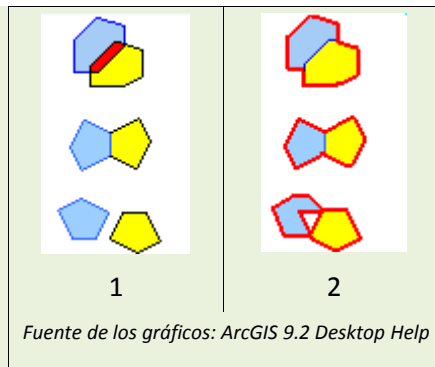
- El *shapefile* no admite la creación ni verificación de reglas topológicas.
- La cobertura de Arc/Info presenta un conjunto de reglas predefinidas, de cumplimiento obligatorio y cuya verificación y corrección es manual o automática.
- La *geodatabase* presenta un conjunto de reglas predefinidas, de aplicación opcional y cuya verificación y corrección es manual.

En ArcGIS, para trabajar con la topología, en primer lugar hemos de trabajar en una *geodatabase*, más concretamente dentro de un *Feature dataset*, dentro del cual almacenaremos las capas que nos interesen.

ArcGIS permite una gran variedad de reglas topológicas predefinidas, si bien, éstas no se aplican por defecto, sino que es necesario especificar qué reglas se aplican sobre qué capas. En ArcCatalog crearemos la topología (*New-Topology*), para ello el programa nos pedirá el *Cluster tolerance* que es la distancia límite utilizada para considerar que dos puntos son coincidentes. Ésta estará en la unidades métricas que tengamos como referencia en las capas. Después seleccionaremos las capas que intervengan en la topología.

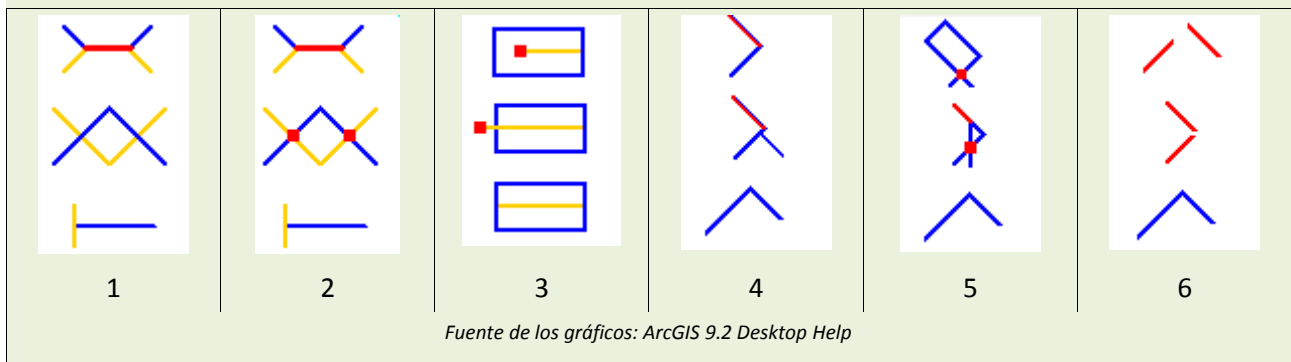
Posteriormente aparecerá un cuadro en el que se da la posibilidad de añadir las reglas que consideremos necesarias a cada una de las capas, así como una opción para cargar reglas prediseñadas desde cualquier carpeta del ordenador (*Load Rules*).

Algunas reglas que tiene ArcGIS útiles para el mantenimiento de capas de polígonos son:



5. *Must not overlap*: marca un error cuando dos polígonos se superponen.
6. *Must not have gaps*: marca un error cuando existen huecos entre los polígonos.

Algunas reglas que tiene ArcGIS útiles para preparar redes hidrográficas y de transporte (líneas) para algunos análisis son:



1. *Must not overlap*: marca un error cuando dos líneas de la misma capa están solapadas total o parcialmente.
2. *Must not intersect*: marca un error cuando dos líneas de la misma capa se cruzan o están total o parcialmente solapadas. No hay error si dos líneas comparten un nodo final.
3. *Must not have dangles*: marca un error cuando una línea no tiene alguno de sus dos extremos sobre otra línea. El extremo suelto se conoce como nodo colgado, *dangle* en inglés.
4. *Must not self-overlap*: marca un error cuando una línea se superpone total o parcialmente consigo misma.
5. *Must not self-intersect*: marca un error cuando una línea se cruza o superpone total o parcialmente consigo misma.
6. *Must be single part*: marca un error cuando una línea tiene más de una parte.




Una vez creada y validada la topología se cargará en ArcMap como una capa más.


Tras la creación de las reglas y su validación, hay que corregir manualmente cada uno de los errores, para lo cual, hay que visualizar la topología en ArcMap, poner en edición la capa que nos interese y activamos la barra de herramientas *Topology*:




En primer lugar aparece el nombre de la topología ya que se puede operar con varias topologías.

Los tres botones siguientes nos permiten validar la topología en distintas extensiones, esto se utilizará cuando hayamos editado los elementos que intervienen en la topología y queramos ver si cumplen o no las normas agregadas en la topología. Cada vez que un elemento sea editado, creado, borrado o modificado existirá una zona en la que la topología puede estar obsoleta, y por tanto, habrá que validarla.

- El botón  nos permite validar la topología en la extensión de la vista
- El botón  nos permite validar la topología en la extensión seleccionada
- El botón  nos permite validar la topología en toda la extensión de la capa

El botón  sirve para Marcar los errores topológicos. Una vez seleccionado un error con el botón derecho nos aparecen una serie de opciones:

- *Zoom to*: zoom para ver con claridad el error en el mapa
- *Pan to*: mover la imagen para que aparezca el error centrado
- *Select features*: seleccionar el elemento que tiene el error
- *Show rule description*: mostrar la norma que incumple el elemento
- Acciones sugeridas para corregir el error:
  - *Subtract* (polígonos): elimina la zona superpuesta de ambos polígonos, abriendo un agujero.
  - *Merge* (polígonos): une la zona superpuesta a uno de los polígonos, eliminándola del resto. El programa pregunta qué polígono mantendrá la zona superpuesta.
  - *Create Feature* (polígonos): crea un nuevo polígono a partir de la zona superpuesta, eliminándola de los demás polígonos. Esta es la única opción disponible si se trata de un agujero.
  - *Extend* (líneas): introduciendo una medida *Maximum distance* el programa prolonga la línea que induce el error a la línea más cercana siempre que la distancia entre ambas sea menor que la *Maximum distance*.
  - *Trim* (líneas): introduciendo una medida *Maximum distance* el programa acorta la línea que produce el error hasta que su extremo quede sobre la línea más cercana. La distancia entre el extremo de la línea y la línea cercana ha de ser menor que *Maximum distance*.
  - *Snap* (líneas): introduciendo una medida *Snap tolerance* el programa une el punto o la línea al punto o línea más cercano siempre que la distancia entre ambos sea menor que el *Snap tolerance*.
  - *Subtract* (líneas): asigna el segmento superpuesto a una de las líneas, eliminándola de las demás. El programa pregunta qué línea mantendrá el segmento superpuesto.
  - *Explode* (líneas): divide las partes de una línea en varias líneas independientes.
  - *Split* (líneas): divide las líneas que se cruzan por el punto de intersección.
  - *Simplify* (líneas): en una línea que se superpone a sí misma, elimina el segmento superpuesto.
- *Mark as exception*: la última opción nos permite marcar el error como una excepción, de esta forma ya no aparece marcado como error. La condición de excepción es reversible.

El botón  nos abre una tabla en la que podemos ver y consultar todos los errores: bien los relativos a una de las reglas en concreto o bien todos los errores de todas las reglas definidas. También tiene la opción de restringir la búsqueda al área visible o abarcar toda la capa. De la misma forma pueden buscarse las excepciones.

## 2 Topología en Arc/Info

Las reglas topológicas de las coberturas no se pueden modificar, consistiendo básicamente en que los polígonos no pueden presentar agujeros ni solapes, las líneas no pueden solaparse, ni cruzarse sin que exista un nodo en la intersección, y los puntos no pueden solaparse. Para evitar estas limitaciones, existen ciertos tipos de entidades vectoriales en Arc/Info que permiten transgredir las reglas. Para polígonos existen las regiones y para líneas, las rutas.

La corrección manual de los errores topológicos no la explicamos por lo mismo que no hemos explicado la edición en Arc/Info, es excesivamente tediosa y engorrosa.

Si bien, la corrección automática sí puede ser útil para verificar la correcta transformación de *shapefiles* o *geodatabases* a cobertura. Esta corrección se lleva a cabo con los comandos *build* y *clean*.

El comando *build* verifica la correcta intersección de las líneas (sin realizar ninguna modificación) y crea o actualiza la tabla de polígonos, líneas o puntos. Así, permite crear polígonos a partir de una cobertura de líneas o una tabla de nodos para su uso en análisis de redes. La sintaxis es:

```
Usage: BUILD <cover> {POLY | LINE | POINT | NODE | ANNO.<subclass>}
```

El comando *clean* es muy parecido, pero corrige los errores topológicos detectados, creando intersecciones siempre que dos líneas se cruzan, eliminando líneas solapadas, puntos solapados... Todos los errores se corrigen automáticamente desplazando, si fuera necesario, una cierta distancia los vértices y puntos involucrados. La distancia máxima aplicable en las correcciones se llama *fuzzy tolerance*. Esta *fuzzy tolerance* la estima Arc/Info en función de la extensión de la cobertura, se puede comprobar y modificar con el comando *tolerance*:

```
Usage: TOLERANCE <cover>
{LIST | FUZZY | DANGLE | TIC_MATCH | EDIT | NODESNAP | WEED | GRAIN | SNAP}
      {tolerance_value}
Arc: tolerance los_regios
Tolerance      Value
-----
Fuzzy          2.061 Verified
Dangle         0.000
...
Arc: tolerance los_regios fuzzy 2
```

La sintaxis del comando *clean* es la siguiente:

```
Usage: CLEAN <in_cover> {out_cover} {dangle_length} {fuzzy_tolerance}
      {POLY | LINE}
Arc: clean los_regios # # 2 line
```

El ejemplo corrige errores topológicos solo de las líneas (sin crear polígonos) con un margen de desplazamiento de 2 metros (las unidades vienen definidas por el sistema de referencia).

# Fuentes de información

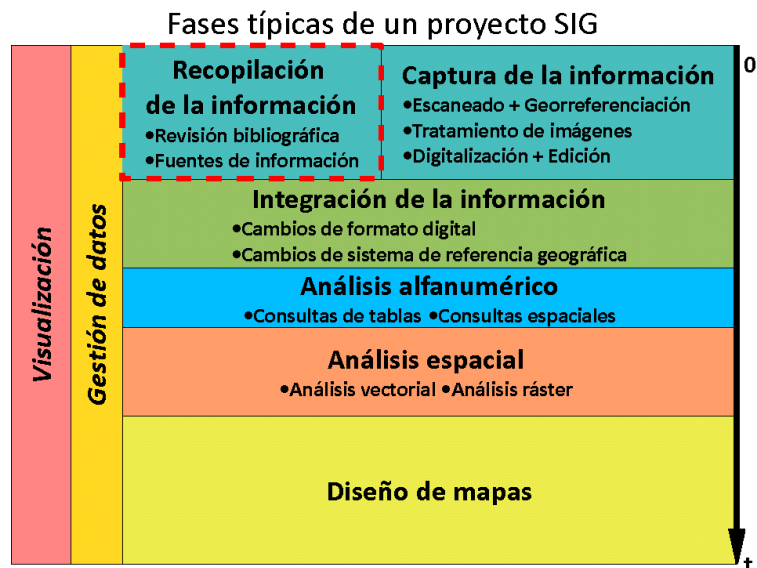
Ortega Pérez, E. (2008)

## 1 Búsqueda de recursos

A medida que se ha ido generalizando el uso de los S.I.G. en los últimos años se ha hecho más común la posibilidad de disponer de información cartográfica, ya sea gratuitamente o de pago.

Existen dos formas de facilitar la información:

- mediante visualizadores de la información geográfica, que solo permiten ver la capas y hacer consultas, pero no realizar operaciones de análisis
- proporcionando capas para su descarga en un ordenador propio, por lo que se permite el análisis posterior con la información contenida en ellas



A continuación se presentan unas páginas web, entre las muchas que existen, que facilitan dicha información.

### Carácter mundial o europeo

- **EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (EEA)** <http://www.eea.europa.eu/>  
Proporciona información ambiental y territorial de la Unión Europea de forma gratuita.
- **USGS** <http://www.usgs.gov/>  
Servicio geológico de los Estados Unidos.

### Carácter estatal

- **MMA**  
[http://www.mma.es/portal/secciones/biodiversidad/banco\\_datos/](http://www.mma.es/portal/secciones/biodiversidad/banco_datos/)  
<http://www.mma.es/portal/secciones/biodiversidad/rednatura2000/>  
Ministerio de Medio Ambiente. Proporciona información acerca de la Red Natura 2000, hábitats, inventario forestal nacional, etc.  
<http://www.mapa.es/es/sig/pags/siga/intro.htm>  
Ministerio de Medio Ambiente. Proporciona un Mapa de Cultivos y Aprovechamientos de España e información climatológica.



<http://sigpac.mapa.es/fega/visor/>

Ministerio de Medio Ambiente. Visor SIGPAC: ortofotos e información catastral y de usos de suelo.

- **IGN** <http://www.ign.es/ign/es/IGN/home.jsp>

Instituto geográfico Nacional. En él se encuentra información geográfica a nivel nacional, generalmente de pago.

- **IDEE** <http://www.idee.es/>

Es la Infraestructura de datos espaciales de España; que tiene como objetivo el integrar a través de Internet los datos, metadatos, servicios e información de tipo geográfico que se producen en España, a nivel nacional, regional y local, facilitando a todos los usuarios potenciales la localización, identificación, selección y acceso a tales recursos, a través de este geoportal.

- **CNIG** <http://www.cnig.es/>

Centro Nacional de Información Geográfica. Permite el acceso a varios visualizadores de información geográfica.

## Carácter autonómico o local

La mayoría de las Comunidades Autónomas disponen de un servicio cartográfico con visualizadores y con la posibilidad de descargar de forma gratuita capas de información ambiental o territorial.

- **Comunidades autónomas**

<http://www.jccm.es/medioambiente/index2.htm>

<http://www.madrid.org/>

<http://www.larioja.org/ma/index.htm>

<http://www.madrid.org/sigpac/>

- **Ayuntamientos**

<http://www.munimadrid.es/>

- **Otros: Cátedra de topografía**

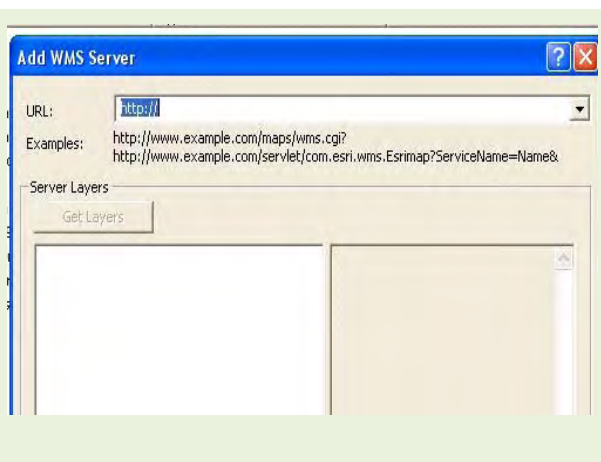
<http://topografia.montes.upm.es/>

## 2 Servidores WMS

El servicio WMS permite visualizar información geográfica suministrada por diferentes organismos a través de Internet. Se puede encontrar un listado con un gran número de servidores WMS de carácter, nacional, autonómico y local en: <http://www.idee.es/CatalogoServicios/cat2/indexWMS.html>.

El proceso a seguir con ArcGIS es el siguiente:

- 1º En ArcCatalog: en el directorio *GIS Servers*, se añade un WMS Server escribiendo la dirección URL de la página web que sirve la información geográfica. Pinchando en *get layers* se podrá ver qué capas proporciona el servidor.
- 2º En ArcMap: se pincha en *Add data* y en el directorio *GIS Servers*. Debe aparecer la dirección que hemos añadido anteriormente y pinchando sobre ella y añadiéndola se visualizará la información proporcionada.



### 3 Directiva INSPIRE

INSPIRE (*Infrastructure for Spatial Information in Europe*) es una iniciativa de la Comisión Europea cuyo funcionamiento se recoge en la Directiva 2007/2/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 14 de marzo de 2007, publicada en el Diario Oficial de la UE (DOUE) el 25 de Abril de 2007, que tiene como objetivo la creación de una Infraestructura de Datos Espaciales en Europa. La Directiva establece los objetivos, y los Estados miembros tendrán dos años desde su publicación para ajustar sus respectivas legislaciones y procedimientos administrativos nacionales

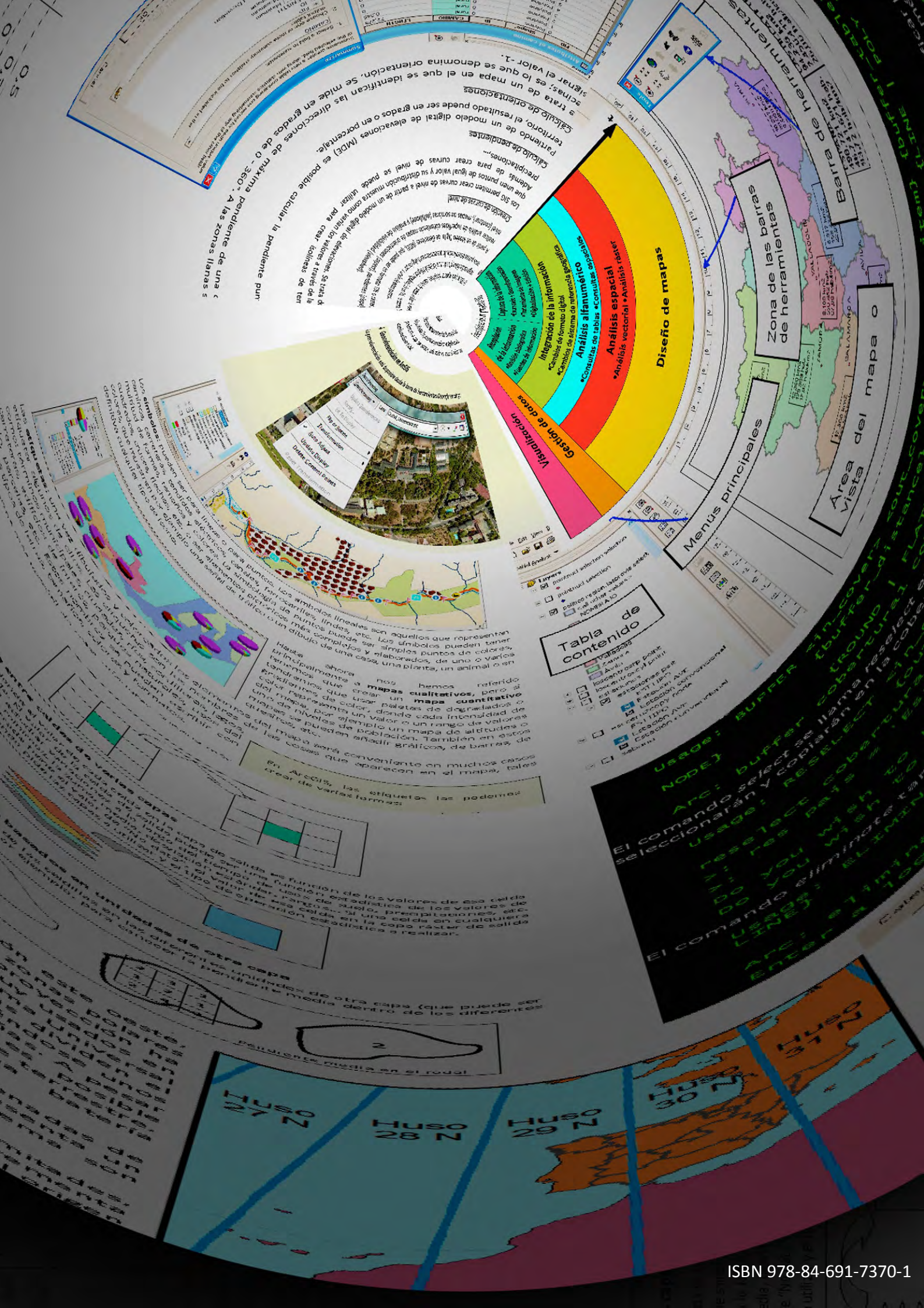
INSPIRE ha sido desarrollada en colaboración con Estados miembro y países en estado de adhesión con el propósito de hacer disponible información geográfica relevante, concertada y de calidad de forma que se permita la formulación, implementación, monitorización y evaluación de las políticas de impacto o de dimensión territorial, de la Comunidad Europea.

INSPIRE es una iniciativa legal que establece estándares y protocolos de tipo técnico, aspectos organizativos y de coordinación, políticas sobre la información que incluye el acceso a los datos y la creación y mantenimiento de información espacial.

INSPIRE es el primer paso de una amplia iniciativa multilateral que inicialmente dirigirá su interés sobre la información espacial necesaria para políticas medioambientales y que estará disponible para satisfacer las necesidades prácticas de otras áreas, tales como la agricultura y el transporte.

Más información sobre esta iniciativa en: <http://www.ec-gis.org/inspire/>





# Diseño de mapas



### Tabla de contenido

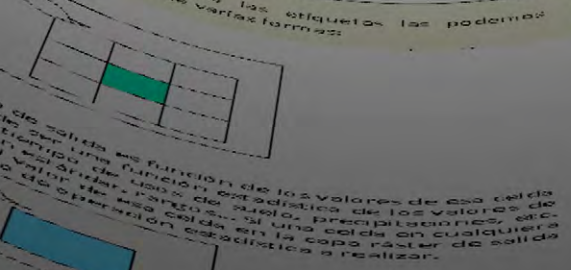
- 1. Introducción
- 2. ArcGIS
- 3. Herramientas de edición
- 4. Herramientas de análisis espacial
- 5. Herramientas de análisis alfanumérico
- 6. Herramientas de integración de la información
- 7. Herramientas de visualización
- 8. Herramientas de gestión de datos

```
usage: BUFFER <input> <output> <distance> <units> <options>
NOPE
Arc: buffer
El comando se ejecutará y copiará el resultado en la tabla de salida.
usage: RESAMPLE <input> <output> <cellsize> <options>
NOPE
Arc: resample
El comando se ejecutará y copiará el resultado en la tabla de salida.
```

El resultado de un mapa digital de elevaciones (MDE) es posible calcular la pendiente pura. Además de crear curvas de nivel a partir de un modelo digital de elevaciones, se trata de crear curvas de nivel a partir de un modelo digital de elevaciones (MDE) es posible calcular la pendiente pura. Además de crear curvas de nivel a partir de un modelo digital de elevaciones, se trata de crear curvas de nivel a partir de un modelo digital de elevaciones (MDE) es posible calcular la pendiente pura. Además de crear curvas de nivel a partir de un modelo digital de elevaciones, se trata de crear curvas de nivel a partir de un modelo digital de elevaciones (MDE) es posible calcular la pendiente pura.



Hasta ahora nos hemos referido principalmente a mapas cualitativos, pero si queremos crear un mapa cuantitativo de color representado por paletas de degradados o un mapa de niveles, por ejemplo un mapa de alturas o un mapa de población. También en estos casos se pueden utilizar gráficos de barras de la capa que será conveniente en muchos casos crear de varias formas:



En este caso, las zonas polares serán unidos en un solo elemento. A pesar de que sea posible, no se recomienda. Las zonas de un elemento son...

