

Los Sistemas de Información Geográfica y las Infraestructuras de Datos Espaciales: adquisición, estructuración, gestión y modelización de la información

Miguel Marchamalo Sacristán

Juan Carlos Ojeda Manrique

Rubén Martínez Marín

Laboratorio de Topografía y Geomática

E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos (UPM)

miguel.marchamalo@upm.es

RESUMEN

En la actualidad existe un acceso amplio y creciente a información relevante para la formulación, gestión y evaluación de proyectos en ingeniería. Este caudal de información debe ser tratado de manera que se optimice el uso de la misma y se permita la combinación de distintas fuentes. Una de las características más habituales en la información actual es la geo-referenciación. El desarrollo de las aplicaciones de las tecnologías GPS-GNSS y su incorporación a numerosos aparatos e instrumentos a un precio asequible, cámaras fotográficas, navegadores, móviles,... permite geo-referenciar prácticamente toda la información de la práctica profesional: estadillos, fotografías, rutas, mediciones,...

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se han desarrollado en las últimas décadas con una tendencia clara hacia la interoperabilidad y la integración de las fuentes de información disponibles. Esta evolución ha llevado al desarrollo reciente de las Infraestructuras de Datos Espaciales (IDE), con la publicación en web de datos geográficos y la información y servicios asociados a los mismos. Todo ello se enmarca en la Geomática, que es un campo emergente, como consecuencia de los avances en informática, comunicaciones y medición, así como en el campo de la de teledetección espacial.

En esta comunicación se presentan los SIG y las IDE en el marco de los proyectos de ingeniería. Se analizan las posibilidades de integrar y estructurar la información en el marco de estas tecnologías, con especial atención a los proyectos de infraestructuras lineales.

1. INTRODUCCIÓN

La geomática es un término científico actual que engloba las ciencias relativas a la producción, gestión y explotación de información geoespacial empleando medios automáticos o informáticos. Este término, acuñado por Bernard Dubuisson en 1969, integra actualmente disciplinas como la Teledetección, la Fotogrametría, los Sistemas de Información Geográfica, los Sistemas Globales de Navegación por Satélite (GNSS),...

Los Sistemas de Información Geográfica han sido definidos de diversas formas, cada una de ellas aporta un componente de su realidad:

- Un sistema informático capaz de juntar, almacenar, manipular y visualizar información geográfica geo-referenciada (USGS)
- Una herramienta informática para cartografiar y analizar elementos que existen o pueden ocurrir en la Tierra, esta tecnología puede integrar operaciones de base de datos tal como preguntas y análisis estadístico, con el beneficio de ofrecer una visualización y análisis geográfico de mapas. (ESRI)
- Un sistema integrado de hardware, programas y personal cualificado en el tratamiento de fuentes de datos relacionados con la información geográfica. (NASA)
- Un conjunto de herramientas para reunir, introducir, almacenar, recuperar, transformar y cartografiar datos espaciales sobre el mundo real, para una serie de objetivos. (Burrough, 1986)
- Un sistema de información compuesto por hardware, software y procedimientos para capturar, manejar, manipular, analizar, modelizar y representar datos geo-referenciados, con el objetivo de resolver problemas de gestión y planificación. (NCGIA)

2. FUENTES Y TIPOS DE INFORMACIÓN GEOESPACIAL

La información que incorporamos a los SIG es de dos tipos fundamentales: información geo-referenciada o geoespacial e información no geo-referenciada (Figura 1). Los datos geoespaciales pueden ser datos vectoriales (objeto con información: punto, línea, polígono) o ráster (variables proyectadas sobre una superficie de paso de malla fijo).

Otro grupo de información no está geo-referenciada y se incorpora al sistema de información mediante vínculos de base de datos, fundamentalmente unión (join) de tablas con atributos comunes.

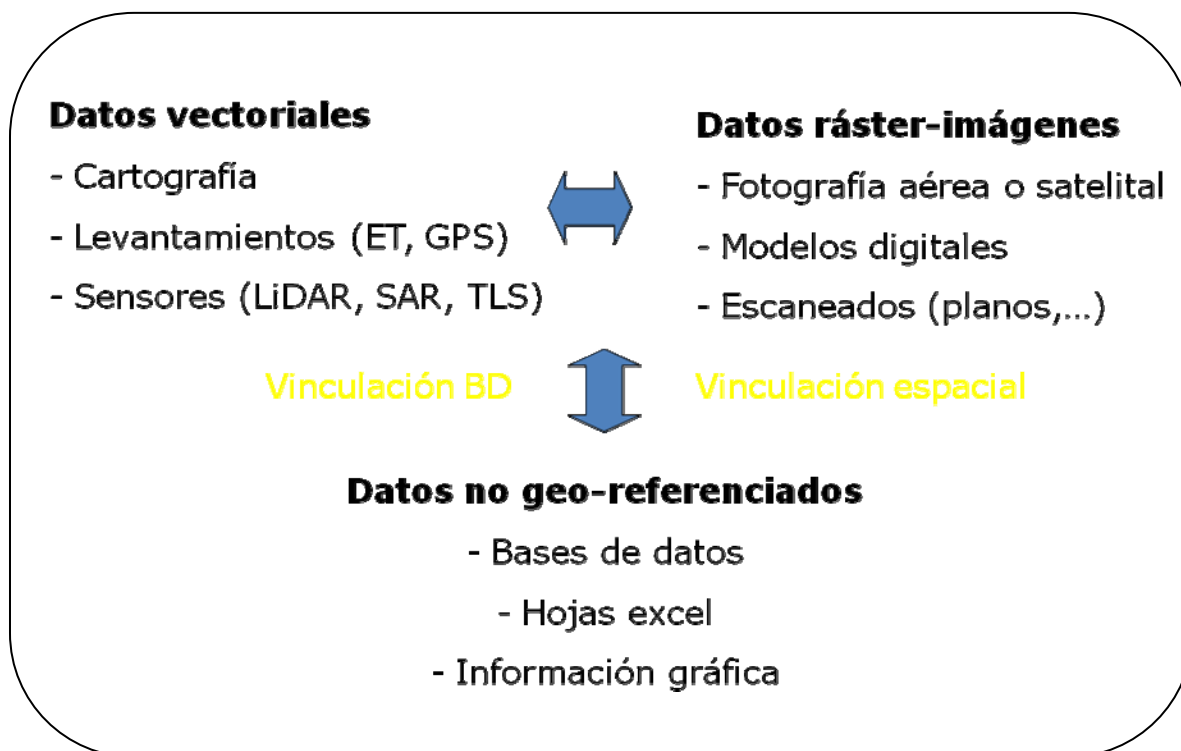


Figura 1-. Fuentes de información en Sistemas de Información Geográfica

2. TRATAMIENTO Y ESTRUCTURACIÓN DE INFORMACIÓN GEOESPACIAL

La información geoespacial recopilada para un proyecto debe ser tratada previamente, con el fin de depurarla y ajustarla a las especificaciones o formatos requeridos por el proyecto. El tratamiento de la información incluye los siguientes procesos:

- Tratamiento geométrico (Posición, Forma, Tamaño, Orientación)
- Tratamiento topológico: Propiedades espaciales que **no** dependen de la métrica (cualitativas)
- Tratamiento semántico (*Códigos, Nombres y Atributos*)

Dentro del tratamiento básico de la información, debe considerarse la proyección de los datos a sistemas de referencia espaciales que permitan la integración de la misma.

En la actualidad hay dos sistemas geodésicos de referencia oficiales en España, según el REAL DECRETO 1071/2007, de 27 de julio, (BOE 27 agosto 2007): ETRS89 y ED1950 en la península, mientras que en Canarias se utiliza el REGCAN95.

El ETRS89 (European Terrestrial Reference System 1989) está basado en el elipsoide GRS80 y tiene las siguientes características:

Elipsoide de referencia: GRS80 (~WGS84).

Datum: geocéntrico

Meridiano: Greenwich

Datum altimétrico: Nivel medio del Mediterráneo en Alicante.

El sistema geodésico de referencia en España entre 1970-2007 es European Datum 1950, con las siguientes características:

Elipsoide de referencia: Internacional Hayford 1924.

Datum: Potsdam (Alemania).

Meridiano: Greenwich

Datum altimétrico: Nivel medio del Mediterráneo en Alicante.

La información del SIG debe ser integrada de manera eficiente en una o varias bases de datos (BD). Hay varias alternativas de organización de los datos, entre las que destacan:

- Las BD relacionales
- Las BD orientadas a objetos
- Las BD centralizadas
- Las BD distribuidas
- El modelo cliente/servidor
- Las BD sobre la red
- Las BD espaciales

La segmentación dinámica es una forma de almacenar información eficiente para redes, como es el caso de las infraestructuras lineales. Esta técnica se basa en la localización de eventos en la red mediante referencias lineales (P.K) lo que permite no tener que segmentar físicamente la red de carreteras, sino solamente incluir el valor de km en cada nodo. De esta manera, el SIG puede emplear información basada en P.K. calculando rápidamente su ubicación en la red sin necesidad de fragmentarla físicamente, lo que reduce el tiempo de proceso.

Una vez integrada y estructurada la información es posible realizar consultas con herramientas comunes en los software SIG:

- ¿Qué hay en un punto o en una zona?
- ¿Qué distancia hay entre dos puntos?
- ¿Qué superficie tiene un polígono?
- ¿Cuál es la longitud de un elemento?

3-. ANÁLISIS Y MODELIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN

Una de las principales ventajas de los SIG es la realización de análisis de forma rápida, tanto de forma gráfica como en base de datos. Esta capacidad de análisis se basa en las siguientes herramientas de los software SIG.

En SIG vectorial las principales operaciones son:

- Análisis de elementos próximos (buffer, áreas de influencia, análisis de vecindad,...)
- Análisis de redes (topología lineal): ruta óptima, máxima distancia,...
- Álgebra de mapas: intersección, unión, borrar, identidad, pegar,... (Figura 2)

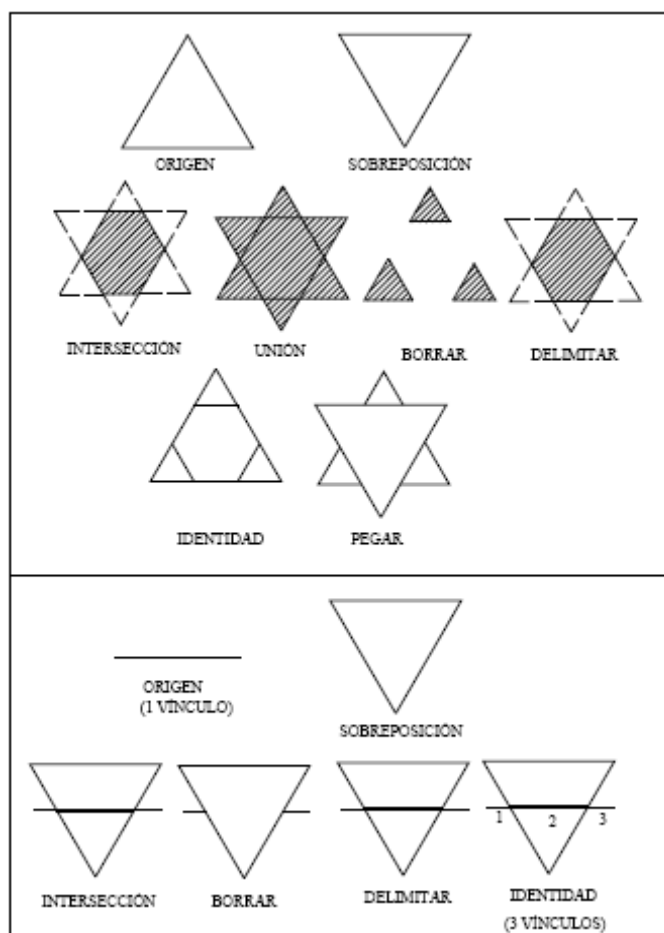


Figura 2: Operaciones de álgebra de mapas en SIG vectorial

En SIG ráster se pueden realizar operaciones de cálculo directo con mallas, siempre que las mismas representen variables en las unidades y tamaño de celda adecuados. Esto permite aplicar en SIG ráster modelos numéricos, obteniendo una salida ráster con la variable calculada (Figura 3).

Estimación sedimentación en SIG ráster (RUSLE + SDR)

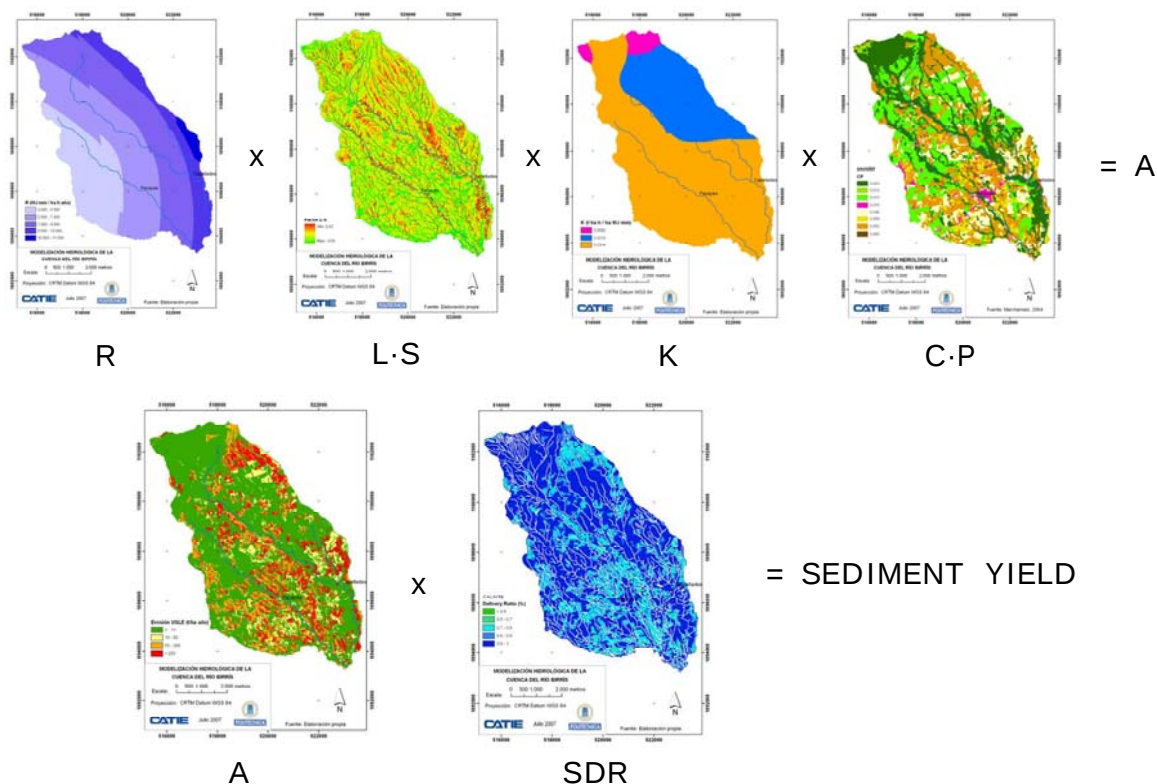


Figura 3: Modelización de la sedimentación (t/ha/año) en la cuenca del río Birrís empleando el modelo RUSLE y valores calibrados en campo de Sediment Delivery Ratio (SDR)

Gracias a estas potencialidades de los Sistemas de Información Geográfica se pueden realizar análisis de relevancia para el proyecto y gestión de infraestructuras como son:

- Análisis de impacto visual de obras, empleando un modelo digital del terreno (MDT) y definiendo adecuadamente los parámetros de visibilidad (Otero et al., 2009)
- Evaluación de la vulnerabilidad a deslizamientos o movimientos en masa, que pueden afectar a infraestructuras lineales. En los Alpes se han calibrado modelos por puntuación (*scoring*) de la vulnerabilidad a deslizamientos, como el modelo de Ruff y Czurda (2008), que expresa la vulnerabilidad como la suma de los factores debidos a pendiente, orientación, características geotécnicas, estratificación geológica, presencias de fallas, cobertura vegetal y rasgos de erosión.
- Selección de rutas óptimas y planificación logística, empleando análisis de redes, como en el caso de los navegadores comerciales equipados con GPS para uso en vehículos.

- Análisis del deslumbramiento potencial a la salida de túneles. La metodología propuesta por Jurado et. Al (2010) permite el análisis del problema desde el punto de vista del conductor que circula por la vía, la cual además se considera extensible al resto de tramos de las redes de carreteras cualesquiera que sea su ubicación.
- Análisis de la seguridad en carreteras mediante el análisis de la consistencia de su diseño en SIG, comparando las características geométricas de la carretera con las condiciones esperadas por el conductor. La metodología Highway Design Analysis (HDA), desarrollada por Castro-Malpica et al. (2008), fue aplicada a carreteras rurales con características diferenciales. Para ello los autores simularon los perfiles de velocidad de distintas carreteras rurales, comparándolos con su diseño geométrico, con el fin de obtener la consistencia de su diseño.

4. INFRAESTRUCTURAS DE DATOS ESPACIALES (IDE)

Las Infraestructuras de Datos Espaciales son el fruto de la evolución de los Sistemas de Información Geográfica en la Sociedad de la Información e Internet. Las IDE son estructuras integradas por datos geo-referenciados, organizados en bases de datos y distribuidos en diferentes sistemas de información geográfica, accesibles vía Internet con un mínimo de protocolos y especificaciones normalizadas que incluyen:

- los datos
- sus descripciones (metadatos)
- las tecnologías de búsqueda y acceso a dichos datos
- las normas para su producción, gestión y difusión
- Acuerdos entre promotores y usuarios (interoperabilidad y coordinación institucional)

El establecimiento de una IDE, a nivel local, regional, estatal o global, requiere del acuerdo de los productores, integradores y usuarios de datos espaciales del ámbito territorial en el que se establece.

Este acuerdo debe considerar también las IDE definidas, o en definición, en otros ámbitos territoriales superiores, hacia las cuales deberá converger.

Esta iniciativa, que se está desarrollando a todos los niveles en Europa, está respaldada por INSPIRE (*Infrastructure for Spatial Information in Europe*) 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. En una primera etapa, a través de un geoportal (<http://www.inspire->

geoportal.eu/), se ofrece a los Estados miembros la posibilidad de acceso a todas las bases de datos geográficos procedentes de las distintas organizaciones responsables de su gestión para, en etapas posteriores, llevar a cabo la organización y armonización de toda esta información. Esta red de información geográfica deberá estar completamente operativa en diez años, contando desde la fecha de aprobación de la iniciativa INSPIRE.

En el campo de las IDE existen normas, estándares y recomendaciones, con el fin de asegurar la interoperabilidad y la fiabilidad de la información compartida. Las principales normas son las establecidas por ISO, CEN y AENOR. Los estándares permiten que los datos, recursos y servicios de una IDE, puedan ser utilizados por diferentes administraciones, organizaciones y usuarios. Los principales estándares han sido establecidos por el *Open Geospatial Consortium* (OGC).



Figura 4: Estructura de la IDE de España

Los principales componentes de una IDE son los datos, los metadatos y los servicios (Figura 4). Entre los datos se distinguen los de referencia y los temáticos:

■ Datos de referencia:

- Sistema de Coordenadas
- Cuadrículas Geográficas
- Nombres geográficos
- Unidades Administrativas
- Redes de Transporte
- Hidrografía
- Lugares Protegidos
- Elevación

- Identificadores de Propiedad
- Parcelas Catastrales
- Cubierta Terrestre
- Ortoimágenes

- Datos temáticos: son los datos propios de aplicaciones específicas que explotan la Información Geográfica con una finalidad concreta. Incluyen valores cualitativos y cuantitativos que se corresponden con atributos asociados a los datos de referencia como por ejemplo: vegetación, geología, clima, tráfico, contaminación, etc.

Los metadatos son los “*datos de los datos*” y se han de ajustar a una serie de normas

- ISO 19115 “*Geographic information – Metadata*”
- Núcleo Español de Metadatos “NEM”
- Dublin Core Metadata Initiative

Una IDE es en realidad un conjunto de servicios, que ofrecen una serie de funcionalidades que resultan útiles e interesantes a una comunidad de usuarios. Los servicios IDE ofrecen funcionalidades accesibles vía Internet con un simple navegador o browser, sin necesidad de disponer de otro software específico para ello (IDEE). A continuación se definen los principales servicios de una IDE:

Servicio de Mapas en Web (WMS)

Su objetivo es poder visualizar Información Geográfica. Proporciona una representación del mundo real para un área requerida. Esta representación puede provenir de un fichero de datos de un SIG, un mapa digital, una ortofoto, una imagen de satélite,...Está organizada en una o más capas, que pueden visualizarse u ocultarse una a una. Se puede consultar cierta información disponible y las características de la imagen del mapa. Una especificación del Open Geospatial Consortium (OGC) establece cómo debe ser un WMS estándar e interoperable, que permita superponer visualmente datos vectoriales, ráster, en diferente formato, con distinto Sistema de Referencia y Coordenadas y en distintos servidores.

Servicio de Fenómenos en Web (WFS)

Ofrece el poder acceder y consultar todos los atributos de un fenómeno (feature) geográfico como un río, una ciudad o un lago, representado en modo vectorial, con una geometría descrita por un conjunto de coordenadas. Habitualmente los datos proporcionados están en formato GML, pero cualquier otro formato vectorial puede ser válido. Un WFS permite no solo visualizar la información tal y como permite un WMS, sino también consultarla libremente.

Servicio de Coberturas en Web (WCS)

Es el servicio análogo a un WFS para datos ráster. Permite no solo visualizar información ráster, como ofrece un WMS, sino además consultar el valor de los atributos o atributos almacenados en cada píxel.

Servicio de Nomenclátor (Gazetteer)

Ofrece la posibilidad de localizar un fenómeno geográfico de un determinado nombre. Se define como un servicio que admite como entrada el nombre de un fenómeno, con las posibilidades habituales de nombre exacto, comenzando por, nombre incluido,...y devuelve la localización, mediante unas coordenadas, del fenómeno en cuestión. Adicionalmente, la consulta por nombre permite fijar otros criterios como la extensión espacial en que se desea buscar o el tipo de fenómeno dentro de una lista disponible (río, montaña, población,...). Si hay varios que cumplen la condición de búsqueda, el servicio presenta una lista de los nombres encontrados con algún atributo adicional para que el usuario pueda elegir el que desea. Evidentemente este servicio necesita disponer de un conjunto de nombres con coordenadas.

Servicio de Geoparser

Un Servicio de Geoparser analiza palabra por palabra un texto digital dado, efectúa comparaciones con un conjunto de nombres geográficos dado y crea los vínculos o enlaces necesarios para que exista una referencia permanente en el texto original a los fenómenos geográficos aludidos. Transforma el texto original en un hipertexto con vínculos geográficos. Este servicio se basa y utiliza un Servicio de Nomenclátor.

Servicio de Catálogo (CSW)

Un Servicio de Catálogo permite la publicación y búsqueda de información (metadatos) que describe datos, servicios, aplicaciones y en general todo tipo de recursos. Los servicios de catálogo son necesarios para proporcionar capacidades de búsqueda e invocación sobre los recursos registrados dentro de una IDEs.

Descriptor de Estilo de Capas (SLD)

Esta especificación de la OGC describe un conjunto de reglas de codificación que permite al usuario definir estilos de simbolización de las entidades personalizados.

Los servicios OGC pueden ser encadenados y combinados en un Geoportal (Figura 5), ofreciendo por ejemplo la posibilidad de: buscar un fenómeno por nombre (Nomenclátor) y visualizar el resultado sobre unos datos de referencia (WMS); localizar un producto seleccionando algunas características (Catálogo) y visualizarlo en pantalla (WMS o WCS). También es posible basarse en un servicio OGC para implementar servicios que ofrezcan funcionalidad adicional, por ejemplo desarrollar un servicio de camino mínimo por carretera basado en un WFS que acceda a todos los atributos de un conjunto de datos de poblaciones y carreteras.



Figura 5: Servicios IDE

El software para manejar datos IDE se clasifica en las siguientes categorías:

- Clientes ligeros: visualizadores de datos IDE (aplicaciones web)
- Clientes pesados: software SIG con capacidad de análisis de datos IDE según las especificaciones del OGC
- Clientes muy pesados: descarga de datos geográficos para su procesamiento local

La IDEE (www.idee.es) es la Infraestructura de Datos Espacial Española, dependiente del Consejo Superior Geográfico, que integra IGN, SCE, MARM y los Institutos Cartográficos CCAA. Sus principales objetivos son:

- Facilitar el intercambio y uso conjunto de datos entre las Administraciones Públicas, evitando duplicidades de esfuerzo y amortizando las inversiones realizadas y garantizando que se emplee un núcleo común de datos geográficos básicos (datos de referencia)
- Contribuir al desarrollo de la Administración Electrónica (*e-government*)
- Poner a disposición del ciudadano la Información Geográfica a través de servicios IDE libres, abiertos y gratuitos
- Ampliar la IDE al sector privado y público en general, para que puedan publicar Información Geográfica en la IDEE cumpliendo requisitos mínimos de normalización y armonización.

En la IDEE hay un directorio de servicios con los vínculos actualizados a los datos de cada organismo participante (Figura 6).

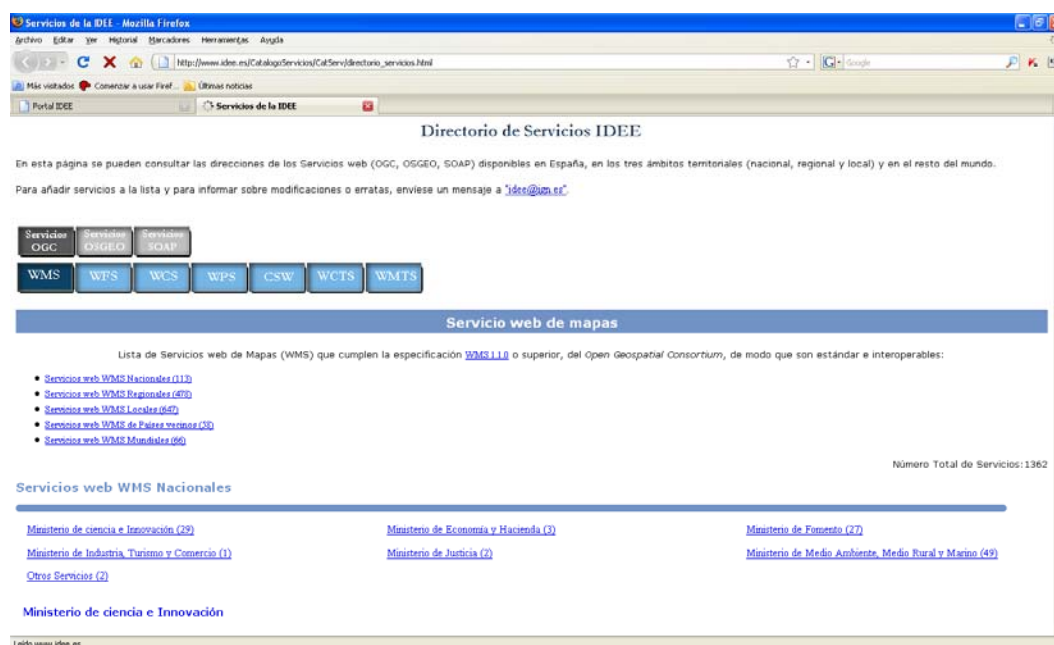


Figura 6: Directorio de servicios de la IDEE

5-. CONCLUSIONES

Los Sistemas de Información Geográfica son herramientas fundamentales en la planificación territorial, formulación y evaluación de proyectos de ingeniería. Las aplicaciones de los SIG a carreteras son muy variadas, incluyendo aplicaciones útiles en la formulación, el diseño y la evaluación de proyectos.

La evolución de los SIG lleva hacia nuevas posibilidades como son:

- El empleo de SIG en dispositivos móviles con GPS, como PDA, móviles y ordenadores portátiles para el inventario en tiempo real

- La incorporación en SIG de todo tipo de información, incluidas las fotografías tomadas en campo.
- El empleo creciente de navegadores equipados con GPS y SIG vectorial en logística y vehículos industriales y privados.
- La posibilidad de compartir información con clientes, usuarios en plataformas como Google Earth, publicando la información en formatos como KML y KMZ
- La publicación de la información en Infraestructuras de Datos Espaciales, de forma que puedan ser consultada y empleada desde Internet.

REFERENCIAS

Boletín Oficial del Estado. 2007. REAL DECRETO 1071/2007, de 27 de julio, (BOE 27 agosto 2007)

Burrough, P.A., 1986. Principles of geographical information systems for land resources assessment
Clarendon Press (Oxford Oxfordshire and New York) ISBN 0198545630

Castro-Malpica, M., L. Iglesias, R. Rodríguez-Solano, y J. A. Sánchez. 2008. Highway safety analysis using geographic information systems. Proceedings of the Institution of Civil Engineers Transport 161 May 2008 Issue TR2 Pages 91–97 doi: 10.1680/tran.2008.161.2.91

IDEE. Infraestructura de Datos Espaciales Española. Consejo Superior Geográfico. www.idee.es

Jurado Piña, R., Pardillo Mayora, J. y Jiménez, R. (2010): A methodology to analyze sun glare related safety problems at highway tunnel exits. Journal of Transportation Engineering, Vol. 136, No. 6, June 1, 2010, pp. 545-553,. DOI: 10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000113

Martínez Marín et al. 2009. Introducción a los Modelos Digitales del Terreno y al GIS-vectorial. Colección Escuelas. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

Ojeda, J.C. 2005. Sistemas de Información Geográfica. Doctorado en Ingeniería del Terreno. Universidad Politécnica de Madrid

Otero I., E. Varela, S. Mancebo, A. Ezquerro. 2009. El análisis de visibilidad en la evaluación de impacto ambiental de nuevas construcciones Informes de la Construcción. Vol. 61, 515, 67-75, julio-septiembre 2009 ISSN: 0020-0883 eISSN: 1988-3234 doi: 10.3989/ic.09.014

Otero, I., Mancebo, S., Ortega, E., Casermeiro, M.A. Mapa de calidad del paisaje de España M+A. Revista Electrónica de Medioambiente 2007, 4: 18-34

Ruff. M yK Czurda (2008) Landslide susceptibility analysis with a heuristic approach at the Eastern Alps (Vorarlberg, Austria) Geomorphology 94: 3-4. 314-324