

## **ENERGY EFFICIENCY STUDY OF PUBLIC LIGHTING NETWORK USING A GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS (GIS)**

López Rodríguez, F. ; Moral García, F. J.; Canito Lobo, J. L.; Benítez Bodes, J. P.

Universidad de Extremadura

Nowadays, GIS is used in different institutions that apply to sectors like regional planning, urbanism, etc., to better understand the spatial relationships between the elements which define the real world.

In this work it is shown how using a particular GIS, Geomedia Professional, digitizing and implementing of data regarding to the public lighting network is carried out, analysing the tools to completely define all network elements in this particular GIS.

Later, the simplified study method of energy efficiency, according to 'Energy efficiency regulation of external lighting installations and its complementary technological instructions', currently in force, is presented and it is shown how the GIS graphic representation from this study is useful to know the regulation compliance according to current legislation, the condition of different installations, and even to determine priority zones in which regulation is not satisfied. It is illustrated applying in a town sector in the province of Badajoz (southwestern Spain).

**Keywords:** GIS; Energy; Efficiency; Town

## **ESTUDIO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LAS REDES DE ALUMBRADO PÚBLICO MEDIANTE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)**

Actualmente, el uso de los SIG está implantado en diferentes instituciones que lo aplican a sectores como ordenación del territorio, urbanismo, etc., para entender las relaciones espaciales entre los elementos que definen la realidad.

En el presente trabajo se muestra como mediante la aplicación de un SIG en concreto, Geomedia Professional, se lleva a cabo la digitalización e implementación de los datos referentes a la red de alumbrado público, analizándose las herramientas existentes que se utilizan para la definición completa de todos los elementos de dicha red dentro del SIG mencionado.

Posteriormente se presentará el método simplificado de estudio de eficiencia energética en las redes de alumbrado público, según el 'Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior y sus instrucciones técnicas complementarias', vigente en la actualidad, y se mostrará como la representación gráfica realizada en el SIG, derivada de este estudio de eficiencia energética, permite conocer el nivel de cumplimiento de la normativa, el estado en el que se encuentran las diferentes instalaciones, e incluso determinar las zonas que deberían ser prioritarias en posteriores intervenciones debido a su menor grado de cumplimiento. Se ilustra con la aplicación en un sector de un municipio de la provincia de Badajoz.

**Palabras clave:** SIG; Eficiencia; Energía; Municipio

Correspondencia: benitezbodesjp@gmail.com

## 1. Introducción

Los sistemas de Información geográfica (SIG) son el resultado de la aplicación de las llamadas Tecnologías de la Información (TI) a la gestión de la Información Geográfica (IG).

El término Sistema de Información Geográfica (SIG) tiene tres acepciones: el SIG como disciplina, el SIG como proyecto (cada una de las realizaciones prácticas, de las implementaciones existentes, etc.) y el SIG como software (programas y aplicaciones de un proyecto SIG).

En definitiva, es un modelo informatizado del mundo real, en un sistema de referencia ligado a la Tierra para satisfacer unas necesidades de información concreta, compuesto de datos, hardware, software, recursos humanos y un esquema organizativo.

Como aplicaciones actuales, la tecnología de los Sistema de Información Geográfica puede ser utilizada para investigaciones científicas, la gestión de los recursos, gestión de activos, la arqueología, la evaluación del impacto ambiental, la planificación urbana, la cartografía, la sociología, la geografía histórica, la logística, por nombrar unos pocos.

En el presente trabajo se utiliza el SIG como software, estudiándose en concreto el programa Geomedia Professional, herramienta de examen y análisis que permite combinar datos geográficos de distintas procedencias, en formatos diferentes y con proyecciones de mapas diferentes, todo ello en un único entorno. Permite realizar consultas complejas con datos espaciales y de atributos de distintas procedencias, así como crear numerosas vistas de mapas muy refinadas en un único GeoWorkspace (espacio de trabajo del software). Además cuenta con la opción de imprimir esas vistas de mapas en una sola hoja y agregar bordes, notas al margen y otros detalles de acabado, opciones de gran utilidad para el desarrollo de diferentes trabajos.

En el presente trabajo se plantea, además de la creación de un SIG en el software antes mencionado para conocer el estado de los equipos e instalaciones que definen la red de alumbrado público en el mismo, un programa que establece el valor de la eficiencia energética de una instalación de alumbrado público, siguiendo las instrucciones que se indican en el actual 'Reglamento de eficiencia energética para las instalaciones de alumbrado exterior'.

Finalmente se pretende, como parte práctica y representativa, aplicar este estudio de eficiencia energética en una red de alumbrado exterior existente, perteneciente a un sector de un municipio situado en la provincia de Badajoz, Extremadura, España.

## 2. Objetivos

Los objetivos principales del presente trabajo son los siguientes:

- Obtener una base de datos gráfica del estado de la red de alumbrado público en diferentes municipios, utilizando el SIG descrito en el presente estudio.
- Realizar el estudio de la eficiencia energética correspondiente a dicha red, utilizando el 'Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior y sus Instrucciones técnicas complementarias', comprobándose la gran utilidad que presenta el SIG para la realización de esta tarea, demostrándose además, lo sencillo que puede ser la interpretación de los datos obtenidos gracias a este.
- Facilitar el trabajo el estudio de la eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior creando un programa informático en el que únicamente se introducirán los datos obtenidos en la práctica y nos ofrecerá como resultado su correspondiente calificación

de eficiencia energética, comprobando de este modo si se adecua al reglamento vigente en la actualidad.

### 3. Metodología

#### 3.1 Introducción de datos de la red de alumbrado público en Geomedia Professional

La estructura que sigue la introducción de datos de la red de alumbrado público en el programa Geomedia Professional es la siguiente:

- Digitalizar nueva entidad. En este apartado se crean los diferentes elementos de la red de alumbrado público (módulo de medida, centro de mando, circuito y puntos de luz).
- Copiar elementos. Función del programa que permite la copia masiva de puntos de luz para facilitar la digitalización de estos.
- Actualizar atributos. Herramienta que proporciona la posibilidad de modificar algún atributo común a varios elementos de la red.

Con la opción 'digitalizar nueva entidad' se definirán dentro del programa los elementos que componen la red de alumbrado público y sus características correspondientes. Los elementos que la componen son los siguientes:

- Módulos de medida. Aparatos que contienen el contador de energía activa y en su caso, el de energía reactiva. Deben ser independientes del centro de mando, aunque a veces se encuentran en el mismo armario. Suelen alimentar a un centro de mando, aunque en ocasiones, a más de uno (alumbrado público, semáforos, etc.).
- Centros de mando y protección. Cuadros eléctricos donde se controla el funcionamiento de la instalación. Incluye las protecciones generales, las protecciones de maniobra y las de cada uno de los circuitos. Puede incluir elementos de ahorro de energía (reductores de consumo de cabecera, etc.).
- Circuitos. Interconexión de elementos eléctricos unidos entre sí de forma que pueda fluir una corriente eléctrica.
- Puntos de luz.

El proceso para la correcta creación de estos debe seguir el orden aquí expuesto.

Una vez creados los circuitos y los puntos de luz, se tiene que introducir dentro de las características de estos, el número de identificación del elemento de inicio, según sea este el propio centro de mando o sea otro circuito si se está creando un circuito secundario perteneciente a un circuito base.

La siguiente función, 'copiar elementos', permite únicamente la copia múltiple de puntos de luz de entre los diferentes elementos que definen la red de alumbrado público.

En esta será necesario introducir el número de identificación del elemento que queremos copiar, el número de copias a realizar e indicar la capa en la que queremos que se realicen las copias, que en este caso será la capa 'alumbrado'.

Por último, la función 'actualizar atributos' es una herramienta muy útil, utilizada para la actualización de información antigua que haya sido modificada ó para la edición de información común a diversos elementos de la red de alumbrado público.

### 3.2 Proceso de cálculo de la eficiencia energética en redes de alumbrado exterior

El Real Decreto 1890/2008 de 14 de noviembre, por el que se aprueba el 'Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior y sus instrucciones técnicas complementarias', pretende regular el impacto que tienen las instalaciones de alumbrado exterior sobre el medio ambiente, evitando los usos no racionales de la energía eléctrica, así como de la posible contaminación lumínica.

La mejor forma de poder controlar estos aspectos se consigue mediante la obtención de una correcta eficiencia energética en este tipo de instalaciones, establecida por dicho Reglamento y sus instrucciones técnicas complementarias ITC-EA-01 hasta la ITC-EA-07.

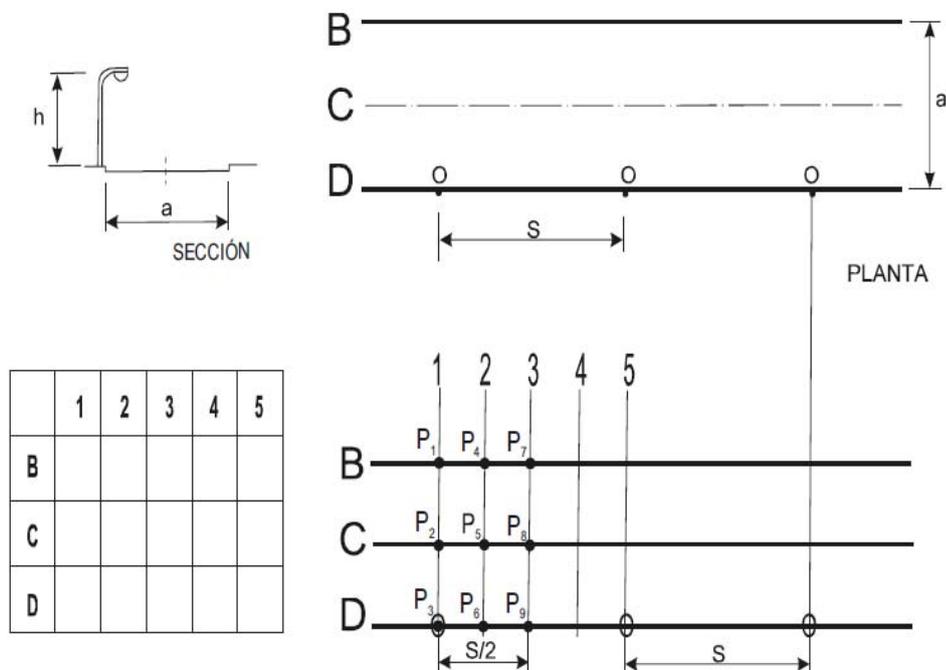
El citado reglamento se puede considerar complementario a la normativa existente del REBT 842/2002 de 2 de agosto, por el que se regula la ejecución de las instalaciones eléctricas en Baja Tensión.

Este reglamento propone un método simplificado, denominado 'método de los nueve puntos', para la medida de la iluminancia media, así como también las uniformidades media y general, a partir de las cuales se puede obtener la correspondiente calificación energética de la red de alumbrado exterior en la vía estudiada.

Podemos resumir el proceso de obtención de la calificación energética en los siguientes pasos:

1. Mediante el luxómetro se mide la iluminancia en los quince puntos de la calzada, resultantes de la intersección de las abscisas B, C, D, con las ordenadas 1, 2, 3, 4 y 5, como se muestra en la figura 1.

**Figura 1: Medida de iluminancias en el 'método de los nueve puntos'**



2. Se determina la 'iluminancia media horizontal ( $E_m$ )', mediante una media ponderada, de acuerdo con el denominado método de los 'nueve puntos'. Además se obtienen la 'uniformidad media ( $U_m$ )' y la 'uniformidad general ( $U_g$ )'.

$$E_m = (E_1 + 2E_2 + E_3 + 2E_4 + 4E_5 + 2E_6 + E_7 + 2E_8 + E_9) / 16 \quad (1)$$

Donde:

$$E_1 = (B1 + B5) / 2 \quad (2)$$

$$E_2 = (C1 + C5) / 2 \quad (3)$$

$$E_3 = (D1 + D5) / 2 \quad (4)$$

$$E_4 = (B2 + B4) / 2 \quad (5)$$

$$E_5 = (C2 + C4) / 2 \quad (6)$$

$$E_6 = (D2 + D4) / 2 \quad (7)$$

$$E_7 = B3 \quad (8)$$

$$E_8 = C3 \quad (9)$$

$$E_9 = D3 \quad (10)$$

Y:

$$U_m = \min (E_i) / E_m \quad (11)$$

$$U_g = \min (E_i) / \max (E_i) \quad (12)$$

3. Posteriormente, y conocida la potencia de la luminaria y la superficie iluminada como resultado de la práctica, se calcula el valor de la 'eficiencia energética ( $\epsilon$ )', tal y como se precisa en la primera instrucción técnica complementaria (ITC-01) del reglamento.

$$\epsilon = (S \cdot E_m) / P = \epsilon_L \cdot f_m \cdot f_u \quad (13)$$

Donde:

- ' $\epsilon$ ' es el valor de la eficiencia energética, medido en  $((m^2 \cdot \text{lux}) / W)$ .
  - ' $P$ ' expresa la potencia activa de las lámparas y equipos auxiliares, medida en (W).
  - ' $S$ ' indica la superficie iluminada, medida en  $(m^2)$ .
  - ' $E_m$ ' es la iluminancia media en servicio de la instalación, considerando el mantenimiento previsto, medida en (lux).
  - ' $\epsilon_L$ ' es el valor de la eficiencia de lámparas y equipos auxiliares, medida en  $((\text{lum} / W) = ((m^2 \cdot \text{lux})/W))$ .
  - ' $f_m$ ' es el factor de mantenimiento de la instalación, en valores por unidad.
  - ' $f_u$ ' es el factor de utilización de la instalación, en valores por unidad.
4. Con los valores de eficiencia energética e iluminancia media obtenidos, comparamos los resultados con los valores que muestra la tabla 1 (incluida en la primera instrucción técnica complementaria), donde comprobaremos que cumple los requisitos mínimos de

eficiencia energética en instalaciones de alumbrado vial, y deducimos el valor de la 'eficiencia energética de referencia ( $\epsilon_r$ )', comparando con los valores que se muestran en la tabla 2.

**Tabla 1: Requisitos mínimos de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado vial funcional**

| Iluminancia media en servicio $E_m$ (lux) | Eficiencia Energética mínima ( $m^2 \cdot \text{lux/W}$ ) |
|---|---|
| $\geq 30$                                 | 22  |
| 25  | 20  |
| 20  | 17,5  |
| 15  | 15  |
| 10  | 12  |
| $\leq 7,5$                                | 9,5   |

**Tabla 2: Valores de eficiencia energética de referencia en instalaciones de alumbrado vial funcional**

| Iluminancia media en servicio proyectada $E_m$ (lux) | Eficiencia Energética de referencia $\epsilon_R$ ( $m^2 \cdot \text{lux/W}$ ) |
|--|---|
| $\geq 30$  | 32  |
| 25   | 29  |
| 20   | 26  |
| 15   | 23  |
| 10   | 18  |
| $\leq 7,5$   | 14  |

5. Conocidos por tanto los valores de la eficiencia energética y la eficiencia energética de referencia, se calcula el 'índice de eficiencia energética ( $I\epsilon$ )' y el 'índice de consumo energético (ICE)', tal y como se expresa a continuación.

$$I\epsilon = \epsilon / \epsilon_R \quad (14)$$

$$ICE = 1 / I\epsilon \quad (15)$$

6. Finalmente, comparando los valores resultantes con los que se muestran en la tabla 3 (incluida en la primera instrucción técnica complementaria), donde se expresa la

calificación energética de una instalación de alumbrado, obtenemos el grado de calificación de la instalación en la vía estudiada.

**Tabla 3: Calificación Energética de una instalación de alumbrado exterior**

| Calificación Energética | Índice de consumo energético | Índice de Eficiencia Energética |
|-------------------------|------------------------------|---------------------------------|
| A                       | $ICE < 0,91$                 | $I\epsilon > 1,1$               |
| B                       | $0,91 \leq ICE < 1,09$       | $1,1 \geq I\epsilon > 0,92$     |
| C                       | $1,09 \leq ICE < 1,35$       | $0,92 \geq I\epsilon > 0,74$    |
| D                       | $1,35 \leq ICE < 1,79$       | $0,74 \geq I\epsilon > 0,56$    |
| E                       | $1,79 \leq ICE < 2,63$       | $0,56 \geq I\epsilon > 0,38$    |
| F                       | $2,63 \leq ICE < 5,00$       | $0,38 \geq I\epsilon > 0,20$    |
| G                       | $ICE \geq 5,00$              | $I\epsilon \leq 0,20$           |

Además del correspondiente etiquetaje según indica el propio reglamento y que se muestra en la figura 2.

**Figura 2: Etiqueta de calificación energética en instalaciones de alumbrado exterior**



### 3.3 Caso práctico en un municipio de la provincia de Badajoz

En el trabajo se ha aplicado dicho reglamento sobre un sector de un municipio perteneciente a la provincia de Badajoz (Extremadura, España). En ella, se recogieron los datos referentes a los valores de iluminancia de las luminarias de dicho sector, el tipo de luminaria, la potencia de estas y la superficie iluminada.

A continuación se detallará el proceso para el caso particular de una vía del sector de dicho municipio, en el que aplicaremos el 'método de los nueve puntos' antes desarrollado.

En primer lugar indicamos los datos regidos en la práctica:

- Tipo de luminaria: vapor de sodio de alta presión.
- Características: soporte tipo báculo y luminaria tipo asimétrica cerrada.
- Superficie iluminada: 200 m<sup>2</sup>.
- Potencia de la luminaria: 250 W.
- Medida de la iluminancia: como se muestra en la tabla 4, expresada en lux.

**Tabla 4: Medida de Iluminancias recogidas en la práctica**

|   | 1  | 2 | 3 | 4 | 5  |
|---|----|---|---|---|----|
| B | 4  | 2 | 2 | 3 | 6  |
| C | 8  | 3 | 1 | 3 | 12 |
| D | 11 | 2 | 1 | 2 | 16 |

Procedemos a continuación a los cálculos y obtención de la calificación energética de la red de alumbrado exterior en esta vía, aplicando el desarrollo expuesto en el apartado anterior.

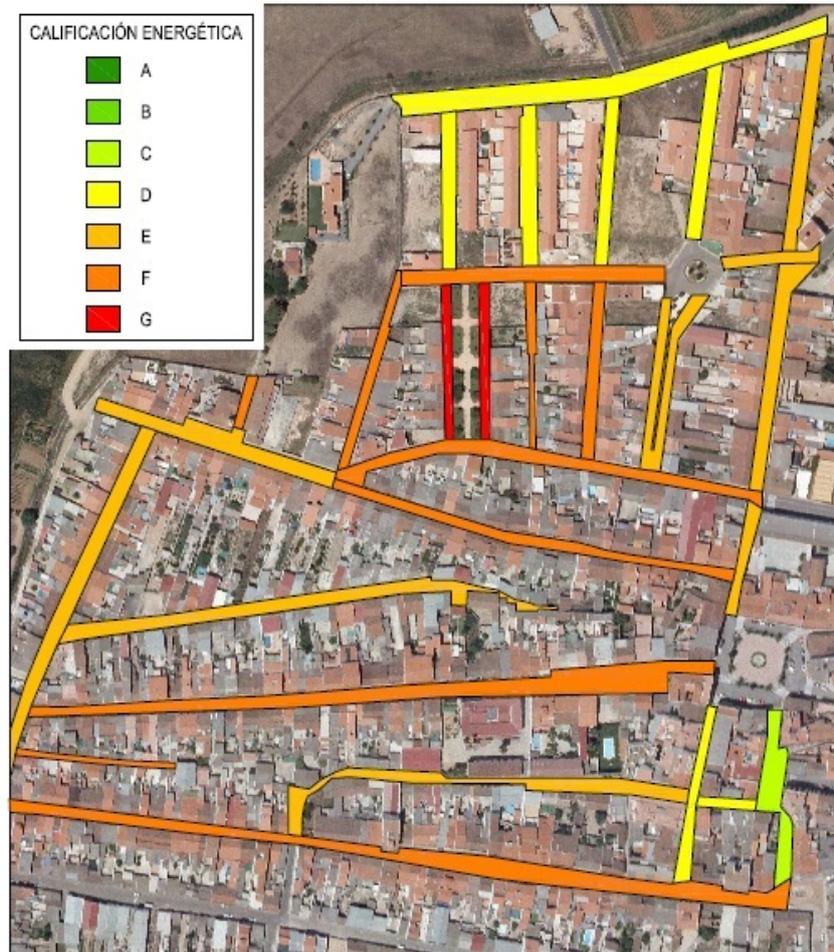
- luminancia media horizontal ( $E_m$ ) = 4,0313 (aplicando la fórmula (1)).
- Uniformidad media ( $U_m$ ) = 0,25 (aplicando la fórmula (11))
- Uniformidad general ( $U_g$ ) = 0,074 (aplicando la fórmula (12))
- Eficiencia energética ( $\epsilon$ ) = 3,225 (aplicando la fórmula (13))
- Eficiencia energética de referencia ( $\epsilon_r$ ) = 14 (comparando con la Tabla 2)
- Índice de eficiencia energética ( $I\epsilon$ ) = 0,23036 (aplicando la fórmula (14))
- Índice de consumo energético (ICE) = (aplicando la fórmula (15))

Finalmente, y comparando los resultados obtenidos con los que se muestran en la tabla 3, el grado de calificación energética obtenido en esta vía estudiada es una calificación F.

## 4. Resultados

Como resultado del estudio realizado en el sector del municipio perteneciente a la provincia de Badajoz (Extremadura, España), obtenemos la representación gráfica del de los resultados del cálculo de la calificación energética de la red de alumbrado exterior, en el SIG anteriormente indicado, según el código de colores que este establece. Esta representación se muestra en la figura 3.

**Figura 3: Representación gráfica de la Calificación Energética resultante tras la práctica**



De la visualización de la figura 3 se puede deducir con facilidad la relación de las 30 vías estudiadas con su correspondiente calificación, tal y como muestra la tabla 5.

**Tabla 5: Relación de vías estudiadas con su correspondiente Calificación Energética**

| Calificación Energética | Número de vías |
|-------------------------|----------------|
| A                       | 0              |
| B                       | 0              |
| C                       | 2              |
| D                       | 7              |
| E                       | 8              |
| F                       | 11             |
| G                       | 2              |

## 5. Conclusiones

De la realización de este estudio se pueden obtener las siguientes conclusiones.

- En el caso particular del municipio estudiado se descubre, al realizarse el examen de la calificación energética de la red de alumbrado en las vías señaladas, que el nivel de cumplimiento de la normativa no es bueno o no es muy eficiente, puesto que la calificación media se puede estimar entre E ó F en términos de eficiencia, siendo los tramos de mayor grado de cumplimiento los tramos de nueva ejecución, que se incorporaron a la red general posteriormente a la entrada en vigor de dicha normativa.
- Hay mediciones que ofrecen una dificultad importante debido a que se deben realizar con los condicionantes favorables para la ejecución de las mismas (medida de iluminancias sin perturbaciones, como la circulación de vehículos, alumbrados particulares, escaparates, etc.), por lo que se ha elegido en el presente trabajo un sector residencial del municipio donde la incidencia de estos agentes perturbadores era mínima para la correcta ejecución de las medidas.
- La importancia de la implementación de los resultados obtenidos en un Sistema de Información Geográfica (SIG) reside en el hecho de permitir una rápida y fácil interpretación de los datos resultantes del estudio de la calificación energética en la red de alumbrado exterior, permitiendo conocer el estado de dicha red e incluso donde deberían realizarse futuras intervenciones para adecuarla al actual marco regulatorio, siendo prioritarias las vías calificadas como E (de color naranja claro), F (de color naranja oscuro) ó G (de color rojo).

## 6. Referencias

- Gallego, J., Trujillo, T., de la Cruz, J.M. *Medios Técnicos para las instalaciones autorizadas. Equipos de medida y herramientas*. Ediciones Experiencia.
- Manual del usuario de Geomedia Professional*. Intergraph.
- Ministerio de Política Territorial (2010). *Encuesta de Infraestructura y Equipamientos Locales. Manual de Instrucciones*.
- Real Decreto-ley 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el reglamento electrotécnico para baja tensión. *Boletín Oficial del Estado*, 8 de septiembre de 2002, núm. 224.
- Real Decreto-ley 1890/2008, de 14 de noviembre, por el que se aprueba el reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior y sus instrucciones técnicas complementarias EA-01 a EA-07. *Boletín Oficial del Estado*, 19 de noviembre de 2008, núm. 279.
- Sistemas de Información Geográfica*. Instituto Geográfico Nacional, Centro Nacional de Información Geográfica:  
<http://www.ign.es/ign/layoutIn/actividadesSistemaInfoGeografica.do>