

# Proyecto E.I.E.L.: Experiencia de Diseño de un SIG

Nieves R. Brisaboa, José A. Cotelo Lema, Antonio Fariña Martínez, Miguel R. Luaces, José R. Viqueira

Laboratorio de Bases de Datos, Universidad de A Coruña  
Campus de Elviña s/n. 15071. A Coruña. España  
brisaboa@udc.es  
{jaclema, fari, luaces, joserios}@mail2.udc.es

**Abstract.** En este artículo se presenta la experiencia del desarrollo de la aplicación E.I.E.L., un sistema software que permite la creación y explotación de una enorme base de datos con información alfanumérica y geográfica relativa a equipamientos e infraestructuras locales de los municipios de la provincia de A Coruña.

## 1 Introducción

En este artículo, se presenta la experiencia del desarrollo en el Laboratorio de Bases de Datos de la Universidad de A Coruña de un sistema de información geográfica (SIG) para la Diputación Provincial de A Coruña.

El objetivo del proyecto E.I.E.L., es la creación de una enorme base de datos (BD) con información tanto alfanumérica como geográfica asociada a las infraestructuras y equipamientos de la provincia. Las tareas incluidas en este proyecto son, por tanto, el diseño y desarrollo de las aplicaciones necesarias tanto para la creación de dicha BD, como para el mantenimiento y explotación de la información almacenada.

Para el alcance de este artículo estamos interesados en la provincia de A Coruña. A Coruña consta de 94 municipios, una extensión de 7.951 km<sup>2</sup>, y una población, el 1 de enero de 1999, de 1.108.980 habitantes, distribuidos entre más de 3500 núcleos de población. Como provincia española, tiene una administración local denominada "Diputación Provincial", encargada de ciertas responsabilidades que la administración central española delega en ella; entre ellas, la realización de la E.I.E.L.

Este artículo se organiza como sigue: En primer lugar, presentación de una breve descripción de las características del proyecto E.I.E.L.; a continuación, descripción del modelo de datos que organiza todos los datos requeridos y de la estructura del sistema desarrollado. Finalmente se presentan las conclusiones de nuestro trabajo.

## 2 El proyecto E.I.E.L.

El Ministerio de Administraciones Públicas, M.A.P., pide cada cinco años a cada Diputación Provincial, un inventario de los equipamientos e infraestructuras de los

municipios de la provincia, junto con sus características, estado, etc. Para proveer al M.A.P. con esta información cada Diputación Provincial debe llevar a cabo la “Encuesta de Infraestructuras y Equipamientos Locales” (E.I.E.L.). Para desarrollar dicha encuesta es necesario enviar a todos los municipios de la provincia, un gran equipo de expertos especializados encargados de recabar todos los datos necesarios.

El conjunto de datos requeridos por el M.A.P. incluye una enorme cantidad de datos alfanuméricos y algunos mapas temáticos predefinidos, en los que el estado de las infraestructuras y equipamientos pueda ser reconocido visualmente. Un ejemplo es un mapa temático donde el color de cada tramo de calle es determinado a partir del valor de sus atributos de estado. Para alcanzar un resultado homogéneo para todas las provincias, el M.A.P. provee a cada Diputación Provincial con un conjunto de cuestionarios que serán rellenados con los resultados de la encuesta, junto con instrucciones para guiar su proceso de relleno. Es responsabilidad de cada Diputación Provincial el reunir los datos de los cuestionarios, y almacenarlos en una BD con un esquema dado por el M.A.P.

La Diputación Provincial de A Coruña decidió hacer frente al problema de realización de la E.I.E.L. del año 2000 mediante un proyecto de dos años firmado con la Universidad de A Coruña, y con unos objetivos más ambiciosos; en concreto: extender la cantidad de información alfanumérica a recabar para los elementos de cada municipio y almacenar también referencias gráficas de los mismos.

Con el objetivo de recoger los datos, se formaron tres grupos diferentes de expertos especializados en tres áreas bien diferenciadas. Cada uno de estos tres grupos está actualmente visitando los diferentes municipios, recogiendo los datos reales mediante entrevistas a su respectivo personal responsable en cada municipio, o bien mediante observación directa. Teniendo en cuenta estos grupos de expertos, el conjunto de datos a ser adquirido puede ser clasificado entre los siguientes tres tipos: *Información del ciclo del agua*, *información acerca de infraestructuras* (vial, alumbrado, plan urbanístico, etc) y *equipamientos* (hospitales, parques, etc).

Un cuarto grupo de expertos en cartografía se encarga de tratar la cartografía digital.

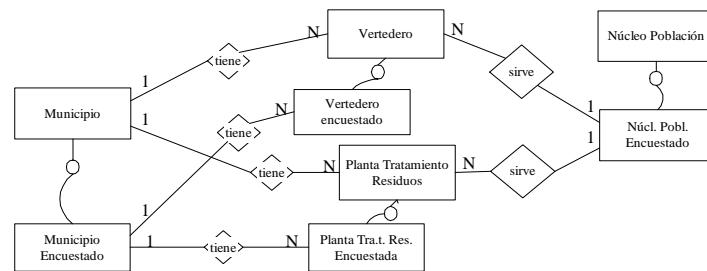
Nuestro trabajo involucra el diseño y desarrollo de las aplicaciones necesarias para almacenar los datos (tanto alfanuméricos como geográficos) y mantener y explotar la base de datos final. Esto es, la realización de todas las tareas necesarias para desarrollar el SIG al completo. Estas tareas se describen en la sección 4.

### **3 El modelo de datos E.I.E.L.**

En esta sección se describe el modelo de datos de la base de datos EIEL con el objetivo de observar en detalle la naturaleza y cantidad de los datos almacenados. Para ello utilizamos los diagramas E-R que se explican posteriormente. Antes de entrar en más detalle son necesarias unas breves puntualizaciones.

La existencia de infraestructuras y equipamientos no encuestados que prestan servicio a núcleos de población de un municipio encuestado, obliga a distinguir entre elementos encuestados, de los que almacenaremos un conjunto completo de datos, y no encuestados, de los que sólo conocemos de su existencia. Para modelarlos usamos una especificación (una relación representada por un círculo en lugar de un rombo).

Debido al tamaño del modelo de datos, hemos evitado mostrarlo aquí por completo. En su lugar, se ha tratado de identificar semejanzas entre las entidades del modelo viendo las relaciones que presentan con algunas entidades centrales. Así, describimos este comportamiento como una *plantilla* que puede ser instanciada con las entidades actuales para construir el modelo de datos. Como ejemplo, presentamos en la figura 1 cómo modelar los vertederos y las plantas de tratamiento de residuos. En el lado izquierdo de la figura, podemos observar las entidades para los municipios y los municipios encuestados. A la derecha situamos las entidades *Núcleo de Población* y *Núcleo de Población Encuestado*. Las entidades para los vertederos (*Vertederos* y *Vertederos Encuestados*) se encuentran en la parte superior, en tanto que las relativas a las plantas de tratamiento de residuos se sitúan en la parte inferior. Se puede ver cómo las relaciones *tiene* y *sirve* son similares tanto en el caso de los vertederos como en el de las plantas de tratamiento de residuos. Además, construimos una plantilla que describe de forma genérica los equipamientos y luego enumeramos las entidades que se usan con dicha plantilla, de modo que el modelo E-R permanece pequeño. Las plantillas utilizadas pueden ser vistas en las figuras 4 y 5.



**Fig. 1.** Semejanzas entre tratamiento de las entidades *Vertedero* y *Planta de Tratamiento de Residuos*

Se ha usado un atributo denominado *geometría* para señalar cada una de las entidades que tiene un objeto geográfico. Esto se realiza únicamente al describir la entidad, pero no en todos los diagramas. El tipo actual de los objetos geográficos se muestra detalladamente en la descripción de la entidad utilizando para ello los siguientes tipos: (i)*Punto*: Consiste en un punto simple en el plano euclídeo. Es utilizado para almacenar la posición de un objeto. (ii)*Puntos*: Una colección de valores *punto*, usados para representar la posición de un conjunto de objetos sin información de cada uno de ellos individualmente. (iii)*Línea*: Una colección de segmento, usados para describir una red. (iv)*Región*: Una colección de polígonos que puede o no contener agujeros, usada para representar superficies.

Siguiendo la estrategia mostrada más arriba, el modelo de datos de la base de datos E.I.E.L. puede ser dividido en las cuatro categorías siguientes: Estructura territorial, relaciones interterritoriales y planeamiento urbano; red viaria, ciclo del agua y vertederos, y equipamientos. Describiremos cada una de estas cuatro categorías mediante un diagrama E-R con una vista parcial del modelo de datos global. Las entidades centrales que conectan todos los diagramas son *Núcleo de Población* y *Municipio*.

**(1) Estructura territorial, relaciones interterritoriales y planeamiento urbano.**

Esta categoría comprende las entidades que describen la división administrativa de España, junto con las relaciones interterritoriales entre municipios, y el planeamiento urbano de los municipios que tienen uno. Su diagrama E-R puede verse en la figura 2.

Estas entidades almacenan información obtenida a nivel de municipio y de núcleo de población sin entrar en detalles relativos a los equipamientos o infraestructuras encuestados. Sus atributos geográficos comprenden los límites del municipio como un valor *región*; el límite y el centroide de cada núcleo de población como valores *región* y *punto* respectivamente, mientras que para cada uno de los distintos tipos de usos existentes en el planeamiento del municipio se usa un valor *región*. Además, un conjunto de atributos geográficos de la entidad *Municipio* almacena aquellos equipamientos para los cuales no se requiere información detallada.

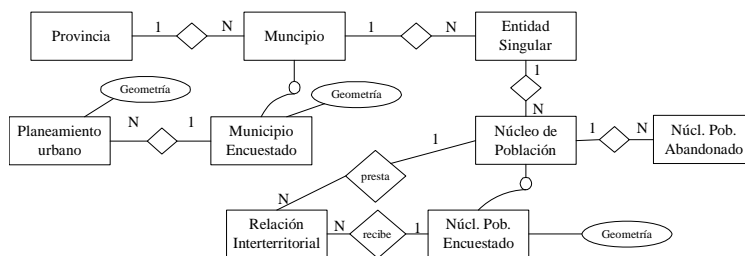
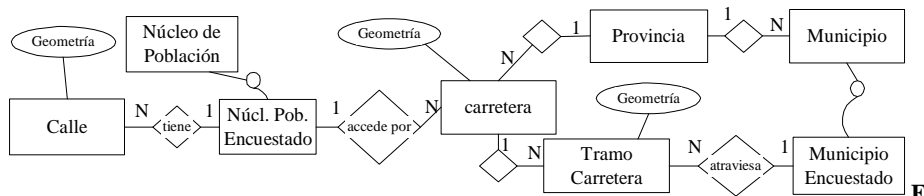


Fig. 2. Modelo E-R para estructura territorial, relación interterritorial y plan urbanístico.

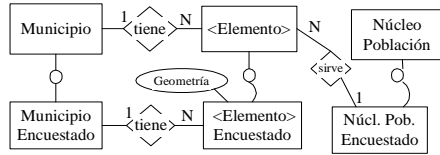
**(2) Red viaria.** Las carreteras y calles son modeladas de acuerdo a la figura 3. El atributo geográfico de la entidad *Calle* guarda valores *región* reflejando su superficie. Los tramos de *Carretera* almacenan tanto un valor *región* como un valor *línea*.



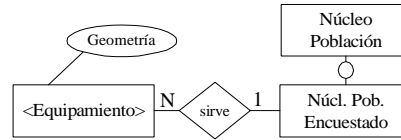
ig. 3. Modelo E-R para la red viaria

**(3) Ciclo del agua y vertederos.** La plantilla para las entidades de esta categoría puede observarse en la figura 4. Las entidades que instancian esta plantilla en el modelo de datos son: vertedero, captación de agua, colector, conducción, depósito, depuradora, red de distribución, red de saneamiento y planta de tratamiento de residuos. Los atributos geográficos almacenan un valor *línea* o *punto* para entidades que representen una conducción o una instalación respectivamente. Los vertederos son una excepción porque sus atributos geográficos almacenan un valor *región* y un valor *punto*, asociados respectivamente a la superficie ocupada y a su centroide.

**(4) Equipamientos.** La plantilla mostrada en la figura 5 es instanciada por las siguientes entidades: alumbrado público, centro de enseñanza, casa consistorial,



**Fig. 4.** Plantilla del modelo E-R para ciclo del agua y vertederos.



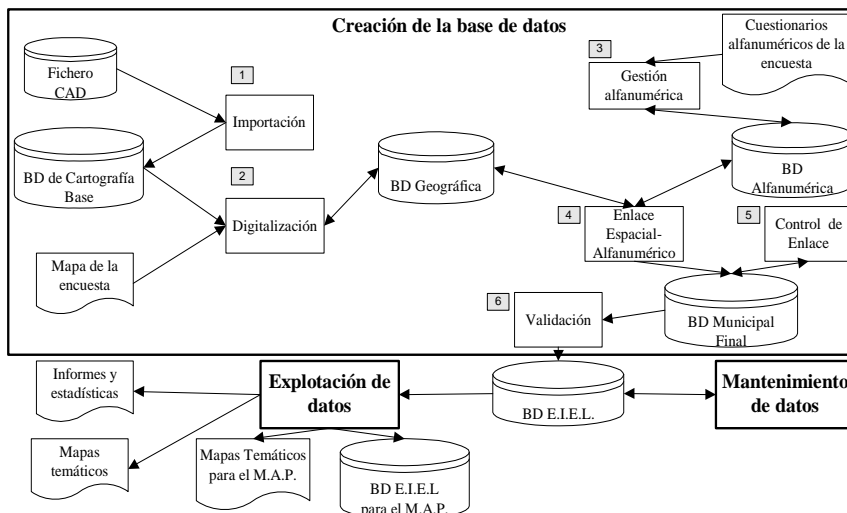
**Fig. 5.** Plantilla del modelo E-R para un equipamiento

edificio público sin uso, centro de protección civil, mercado, instalación deportiva, parque, centro cultural, matadero, cementerio, tanatorio, centro sanitario y centro asistencial. La información geográfica almacenada comprende un valor *región* y un valor *punto* que almacenan la superficie y el centroide, para cada entidad.

Mientras que el comportamiento general del alumbrado público es similar al mostrado arriba, sus atributos geográficos siguen una aproximación ligeramente distinta. Para evitar la digitalización de numerosos puntos individuales, cuando los puntos de luz aparecen equidistantes, sólo almacenamos un valor *línea* junto con la distancia entre los puntos de luz sucesivos. Distinguimos entre *puntos de luz* y *líneas de luz*, modelándolos mediante entidades diferentes. Los primeros se almacenan como valores *punto*, y las últimas son almacenadas mediante valores *línea*.

#### 4 Descripción del sistema

En esta sección, describimos las distintas tareas (ver figura 6) que son necesarias para llevar a cabo el proyecto E.I.E.L.



**Fig. 6.** Flujo de datos a través de los módulos de la aplicación E.I.E.L.

#### 4.1 Tareas de creación de la base de datos

La creación de la base de datos, con la información recogida en la encuesta, se lleva a cabo mediante cinco subtareas, realizadas concurrentemente por distintos grupos de usuarios especializados. Dichas subtareas se describen a continuación, junto con los módulos de software desarrollados para realizarlas.

- **Subtarea de inserción de datos geográficos:** El resultado de esta subtarea es una cartografía digital del municipio en proceso, que contiene los objetos geográficos de interés. Para la introducción de dichos objetos se utiliza como base la cartografía digital disponible. Dicha cartografía ha de ser depurada e importada desde su formato CAD original al formato del SIG. El grupo de usuarios de cartografía se encarga de la inserción de todos los datos geográficos, haciendo uso para ello de los dos módulos siguientes.

**Módulo de importación (1):** Permite depurar e importar la cartografía disponible (fichero CAD) a una *Base de Datos de Cartografía Base* en el formato SIG. Los ficheros CAD contienen objetos geográficos de los siguientes tipos: Objetos geográficos sin interés para el proyecto E.I.E.L. (no son importados a la *Base de Datos de Cartografía Base*), información de contexto para la visualización de los datos de la E.I.E.L. (se importan con una depuración mínima), objetos usados como base para digitalizar los objetos geográficos de la encuesta (son desechados posteriormente) y objetos geográficos para los que la E.I.E.L. recoge información alfanumérica. (se almacenan directamente en la cartografía final).

La depuración de los objetos anteriores permite arreglar errores encontrados en la cartografía CAD (edificios no cerrados, ...), transformar su formato (formar áreas a partir de límites de municipio), etc. El resultado final producido es una base de datos con la *cartografía base* en el formato correcto y libre de errores.

**Módulo de digitalización (2).** Usando como entrada la *cartografía base*, resultado del módulo anterior y los *mapas de campo*, en los que cada grupo de usuarios especializados recoge los datos geográficos, permite insertar los objetos de interés para la encuesta. Dichos objetos son almacenados en la *Base de Datos Geográfica*. Más en concreto, el módulo permite dibujar objetos geográficos usando como contexto la cartografía base. (p. ej. viario, depósitos de agua, etc) y clasificar objetos geográficos provenientes de la *cartografía base* en las tablas adecuadas de la *base de datos geográfica* del municipio. (p. ej. clasificar edificios dentro de hospitales, mercados, etc.). Además, los objetos geográficos usados como contexto para visualización, deben ser copiados directamente desde la *cartografía base* a la *base de datos geográfica* del municipio.

- **Subtarea de inserción de datos alfanuméricos:** Cada grupo de usuarios especializados es responsable de introducir la información alfanumérica que recoge en el campo. El **módulo de gestión alfanumérica (3)** permite inserciones, actualizaciones y borrados en las tablas de datos alfanuméricos. Tres aplicaciones distintas permiten insertar los datos recogidos en los cuestionarios de cada uno de los tres grupos.
- **Subtarea de enlace espacial-alfanumérico:** Enlaza los datos alfanuméricos y geográficos de cada entidad. El **módulo de enlace espacial-alfanumérico (4)**.

permite a un usuario especializado el enlace, interactivo, de los datos de la *base de datos alfanumérica* con los datos geográficos de la *base de datos geográfica*. A través de este proceso de unión se construye la *base de datos municipal final* descrita en la sección 3.1. El **módulo de control del enlace (5)** permite comprobar el proceso de enlace, y deshacerlo si es necesario.

- **Subtarea de validación:** El **módulo de validación (6)** permite a un revisor, validar la base de datos final de cada municipio, mirando si se cumplen ciertas condiciones. Si los datos son correctos y el revisor está satisfecho con su calidad, la base de datos puede ser copiada a la base de datos final, donde serán almacenados los datos de todos los municipios; esto es, la base de datos E.I.E.L. Los trozos de objetos geográficos que se extienden por varios municipios (ríos, ferrocarril, etc), deben ser unidos en la base de datos E.I.E.L.
- **Subtarea de gestión de usuarios:** Para permitir un acceso más seguro a los datos, cada aplicación pide a sus usuarios que se identifiquen al ser iniciada. Así, hay un control permanente sobre qué usuarios pueden realizar qué tareas en el sistema. Por ejemplo, los usuarios del grupo de cartografía nunca podrán modificar datos alfanuméricos del grupo de viarios. Además, se guarda información de qué usuario ha insertado qué datos, simplificando el proceso de corrección de errores.

Para finalizar con esta tarea, es interesante remarcar que aunque sería más simple tener una única tarea de inserción de los objetos geográficos con su información alfanumérica correspondiente, la subdivisión propuesta permite la especialización del grupo de usuarios de cartografía en la inserción de datos exclusivamente geográficos. Además, el proceso de enlace sirve, a su vez, de supervisión de los datos introducidos.

## 4.2 Tarea de mantenimiento de la base de datos

Esta tarea consiste en mantener actualizada la base de datos E.I.E.L, una vez ha sido creada por la tarea anterior. Para ello, se realizan altas, bajas y modificaciones en las tablas de dicha base de datos. Las actualizaciones realizadas en la base de datos se deben principalmente a dos motivos: cambios en la realidad que deben ser reflejados en la base de datos y corrección de errores. La inserción de nuevas entidades debe contemplar tanto su parte alfanumérica, a través de formularios, como su parte geográfica, a través de un entorno de digitalización. En el caso de actualizaciones y borrados, el software utilizado debe proporcionar facilidades para la localización eficiente de los objetos que deben ser modificados o borrados.

## 4.3 Tarea de explotación de datos

La explotación de los datos de la E.I.E.L incluye la generación de mapas temáticos, informes alfanuméricos y estadísticas. Una subtarea de ésta, se encarga de la generación de la base de datos, los mapas y listados impresos que requiere el M.A.P. cada cinco años. En el contexto de este artículo, un *mapa* es un conjunto de elementos gráficos, cada uno de ellos con un conjunto de propiedades visuales, como color, estilo, patrón de relleno, etc, que representan a un conjunto de objetos geográficos. Las propiedades de visualización de cada objeto gráfico se obtiene como una función

de los atributos alfanuméricos de su correspondiente objeto geográfico. El *Módulo de Explotación de Datos* permite a los usuarios tanto la generación de mapas predefinidos como la definición de mapas ad-hoc. Estos mapas pueden ser visualizados en pantalla, impresos o incluso exportados a distintos formatos gráficos, como imágenes o ficheros CAD. Esta tarea también contempla la generación de informes predefinidos o definidos por el usuario. Estos informes podrían tratar desde consultas simples hasta análisis de datos estadísticos complejos.

## 5 Conclusiones

En este artículo se describen brevemente los modelos de datos y aplicación desarrollados para el proyecto E.I.E.L. El modelo relacional alfanumérico proporcionado por el M.A.P., fue extendido con nuevos atributos geográficos [4,5]. Esto permite la inclusión de referencias geográficas de las entidades almacenadas. Además se ha desarrollado un conjunto de aplicaciones específicas, con funcionalidades geográficas, para la creación, mantenimiento y explotación de la enorme base de datos resultante de la encuesta. Respecto al modelo de datos, debido a que los datos geográficos almacenados son siempre referencias geográficas de entidades, se ha considerado una visión del espacio geográfico basada en objetos [2, 6]. Además, se ha conseguido un efecto multi-escala insertando más de un atributo geográfico para una entidad dada. Así, por ejemplo, en el caso de tramos de carretera, se almacena tanto una superficie como una línea. La línea será mostrada cuando la carretera se vea a baja escala, mientras que la superficie se muestra en escalas más altas. Para el almacenamiento de los datos se ha utilizado el SGBDR Microsoft SQL Server. Por otra parte, para el desarrollo de las aplicaciones, la funcionalidad SIG se obtuvo de los controles y las librerías de clase de la herramienta Geomedia Profesional 4.0. Esta funcionalidad simplificó el desarrollo de los interfaces gráficos que permiten la visualización, digitalización y edición de valores geográficos. No obstante, respecto a la conexión con la base de datos, la herramienta facilita una arquitectura SIG de segunda generación [3]. La migración a un sistema con arquitectura de tercera generación se contempla como una posibilidad de futuro.

## 4 Referencias

- [1] Esri, *Understanding GIS, The ARC/INFO Method*. E. S. R. I. Fourth edition. 1997.
- [2] Michael F Worboys. *GIS: A Computing Perspective*. Ed London Taylor Francis. 1995.
- [3] Nieves R. Brisaboa, José A. Cotelo Lema, Miguel R. Luaces, José R. Viqueira. *State of the Art and Requirements in GIS*, 3<sup>er</sup>. ENC' 01. Aguascalientes, México. 2001 (to appear).
- [4] N. A. Lorentzos, J. R. Rios Viqueira, N. Tryfona. *Quantum-Based Spatial Extension to the Relational Model*. Proc. of the 7th HCI, World Scientific 2000, pp 188-199.
- [5] R. Hartmut Güting. *Geo-Relational Algebra: A Model and Query Language for Geometric Database Systems*. Proc. International Conference EDBT88, Venice, 506-527, 1988.
- [6] R. Laurini and D. Thompson. *Fundamentals of Spatial Information Systems*. London Academic Press, 1992.
- [7] W. Fredrick Limp and Debbie Harmon. *Inside Geomedia*. OnWord Press, 1998.