

XII Congreso Internacional  
Expresión Gráfica aplicada a la Edificación  
Graphic Expression applied to Building  
International Conference



**APEGA 2014**

## REPERCUSIÓN DEL EMPLEO DE LA PROYECCIÓN UTM EN EL CÁLCULO DE LA SUPERFICIE DE FINCAS

**PÉREZ-ROMERO, Antonio Miguel; AMARO-MELLADO, José Lázaro**

Departamento de Ingeniería Gráfica, Universidad de Sevilla

Sevilla, España

tao@us.es

jamaro@us.es

### Resumen

La representación de la Tierra o de una parte de ella lleva asociada una serie de limitaciones. La forma y dimensiones de la misma hacen que, cuando se trata de representar de forma métrica un territorio de cierta extensión, haya que trabajar con sistemas y superficies de referencia (elipsoides, esferas, etc.), así como con sistemas de representación o cartográficos (proyecciones cartográficas como UTM, Lambert, etc.). El hecho de trabajar con programas informáticos cada vez más potentes no debe enmascarar el trasfondo de conocimientos necesarios para dar resultados lo más correctos posibles o, en cualquier caso, saber qué limitaciones tiene el resultado aportado. El empleo de sistemas de representación conlleva una deformación (anamorfosis) aun cuando las proyecciones utilizadas son generalmente conformes (las formas se mantienen, pero no así las distancias – anamorfosis lineal– ni las superficies), por lo que esto deriva en que el valor de las distancias y superficies se ve alterado, siendo este valor el proporcionado por los programas de cálculo. En este trabajo, se analiza la repercusión de la ubicación de una finca en el cálculo de la superficie de la misma, cuando se trabaja con la proyección UTM, frente al valor que podría considerarse “sin deformación” a través de una serie de ejemplos.

**Palabras clave:** Sistemas de Representación, Proyección UTM, Topografía, Cartografía

### Abstract

#### ***Impact of the use of UTM projection on the calculation of the surface of estates***

Representation of the Earth or a part of the same implies some restrictions. Its shape and size mean that, when representing a territory of a certain size in a metric manner, reference systems and surfaces must be used (ellipsoids, spheres, etc.), as well as representation or cartographic systems (cartographic projections such as UTM, Lambert, etc.). The use of increasingly powerful computer programs must not mask the background of knowledge that is necessary in order to reach the most accurate results possible or, in any case, to understand the limitations of the results obtained. The use of representation systems involves deformation (distortion) even when the projections used generally conformal (the shapes are maintained, but distances (lineal distortion) and surfaces are not), which leads to alteration of the values of the distances and surfaces, with this value being provided by the calculation programs. This work analyzes the impact of the location of an estate when calculating the surface of the same with UTM projection, in comparison with the value that could be considered "deformation-free" through a series of examples.

**Keywords:** Representation Systems, UTM Projection, Topography, Cartography

## 1. Introducción

La obtención de información geométrica y estadística a través de planos y mapas es una de las principales aplicaciones de los mismos. A esto hay que añadir el uso cada vez mayor de información almacenada numéricamente en bases de datos, información digital de muy fácil obtención y distribución. Ahora bien, para tratar estos conjuntos de datos de forma correcta es necesario ser consciente del trasfondo matemático y geométrico que subyace a su representación, esto es conocer los procesos que han sufrido los datos hasta ser representados, así como las limitaciones de los mismos y las precauciones de su uso. Esto se debe al hecho de que la Tierra no es plana.

La comunicación presentada se estructura como se cita a continuación: en el primer apartado se introducirán los fundamentos del manejo de sistemas de proyección así como los distintos enfoques con los que abordar su uso; el apartado 2 será donde se mencionen los objetivos del trabajo; en el apartado 3 se expondrán unos ejemplos en los que quede de manifiesto la importancia del conocimiento de los sistemas cartográficos; y en el apartado 4 se comentan los resultados obtenidos y se apuntan las conclusiones.

### 1.1. Fundamento

El problema fundamental que se plantea es el de la representación de una superficie tridimensional irregular en unas dimensiones reducidas. Ante esto surge como opción más válida el plano o el mapa (según las dimensiones de la zona a representar) que son representaciones planas de la superficie de Tierra curva (aun sin considerar el relieve), por lo que las deformaciones son inherentes a la transformación. Obviando el problema de las superficies de referencia a utilizar, el hecho es que se hace necesario proyectar, de tal forma que se reduzcan al mínimo las deformaciones y/o se permita conservar los elementos que más importan al usuario del plano/mapa (ángulos o formas –proyecciones conformes–, superficies –proyecciones equivalentes– o distancias según una direcciones –líneas automecoicas–; no conservan ninguna características, pero se minimizan las deformaciones –proyecciones afilácticas–).

Dentro de unos límites, el plano/mapa puede ser lo suficientemente preciso para efectuar sobre él un determinado número de medidas, en función de las propiedades geométricas características del sistema de proyección empleado.

Esta necesidad de representar los puntos en una proyección cartográfica determinada es muy habitual. Esto lleva a que las distancias y superficies representadas, no coincidan con las que corresponderían al aplicar la escala nominal del plano/mapa; aparecen “problemas” con las distancias en los replanteos, con las superficies calculadas, etc. El motivo es la alteración (anamorfosis) de alguna/s magnitud/es (ángulos, superficies o distancias) al representar en una superficie bidimensional (mapa o plano) una realidad tridimensional (la superficie terrestre); ya que esto implica el proceso de referir los puntos de la superficie terrestre, primeramente a una superficie (física e irregular) equipotencial de la gravedad (el geode); después a una superficie matemática (un elipsoide de revolución) que varía según el sistema de referencia considerado (ED50, ETRS89, etc.); y finalmente a un plano mediante una proyección cartográfica (matemática) –variable y elegida según las necesidades– [1].

### 1.2. Antecedentes.

Desde los tiempos de los navegantes, el empleo de proyecciones conformes ha sido el más extendido dentro del mundo cartográfico. Actualmente la proyección más extendida, al menos en nuestro entorno, es la proyección *Universal Transversa Mercator* (en adelante, UTM). Se trata de una proyección cilíndrica conforme que, aun sin entrar en detalles (que se puede consultar en gran número de manuales de la misma, como [2]) sí es importante reseñar que la Tierra se divide en 60 husos de 6° de amplitud en longitud (se trata de 60 cilindros tangentes en el meridiano central de cada huso) y que al tratarse de una proyección conforme los parámetros como las distancias y las superficies se verán alterados respecto de su valor original, considerando la escala correspondiente.

Esta variación será más acusada cuanto más separado se esté de las líneas automecoicas de cada huso, así como cuando por las circunstancias se tenga que recurrir a trabajar en un huso que no sea el “natural”, como se da en casos en los que haya que preservar la continuidad de la representación. Este caso sería el de la Comunidad Autónoma de Andalucía, que abarca, aproximadamente desde longitud 7° 33' W hasta 1° 38' E. Cabe decir que los husos dentro de la proyección UTM abarcan 6°, correspondiendo a la zona indicada los numerados como 29 (desde 12° W hasta 6° W) y 30 (6° W

hasta 0°), pero siendo habitual la representación de la cartografía oficial andaluza en un único huso, el 30.

Un concepto inherente a la proyección es el de anamorfosis lineal ( $k$ ), que expresa la deformación (proporción) de una magnitud lineal entre el mapa y la superficie de referencia. El valor ideal del factor de escala (como también se le conoce) es 1 (lo que indicaría que no existe deformación) pero como se ha indicado antes eso sólo es posible en una serie de líneas (automecoicas) dentro de cada huso. Este  $k$  presenta su valor menor (0.9996) en el meridiano central del huso (3°W en el caso del 30) y va aumentando cuanto mayor es la distancia al meridiano central (1.0004 aproximadamente en el extremo del huso para nuestras latitudes).

Se hace mención a que la deformación es algo inseparable del concepto de proyección ya que se puede pensar que al trabajar con sistemas modernos como los de navegación, *Global Navigation Satellite System – GNSS*, es decir, GPS, GLONASS, GALILEO, etc.) ésta no aparecerá, y no es así.

Por otro lado, existen herramientas informáticas que ayudan a tratar con estos datos de forma precisa. Un ejemplo de esto es la calculadora geodésica del Programa de Aplicaciones Geodésicas (en adelante, PAG), desarrollado por el Instituto Geográfico Nacional (IGN) y puesto a disposición de los usuarios en [5], que permite realizar la transformación de coordenadas de puntos individuales o ficheros entre ED50 y ETRS89, tanto en coordenadas geográficas como en UTM, así como obtener los valores de ondulación del geoide y desviación de la vertical.

El estudio que se presenta en esta comunicación hace referencia a la repercusión del empleo de la proyección UTM (conforme) a la hora de calcular superficies de fincas, aunque también se puede cuantificar en medidas lineales. Como se verá a continuación, para hacer los cálculos de la forma más rigurosa posible es necesario contar con la ondulación del geoide en el entorno de la parcela.

### 1.3. Propuesta de solución del problema del cálculo de superficies

Para la obtención de la superficie más correcta de una parcela a partir de su representación en cartografía UTM (y así “eliminar” la proyección) se puede utilizar distintos métodos, como los que se comentan a continuación.

a) Aplicar un factor de escala  $k$  único para toda la zona, lo que puede ser válido para zonas no muy extensas.

b) Realizar una transformación de coordenadas UTM a locales a través de giros [3].

c) Trabajo con una proyección equivalente (que conserva las áreas).

a) Dentro de esta solución lo más razonable es considerar los puntos con mayor variación del factor de escala (que suelen ser los más extremos en longitud) y tomar el punto medio. Además de la aplicación de un único  $k$  medio hay que considerar la reducción al horizonte de altura media de los puntos, para lo que hacen falta los valores de alturas elipsoidales ( $h$ , sobre el elipsoide). Habitualmente, se dispone de alturas sobre el nivel medio del mar (ortométricas,  $H$ ), por lo que se hace necesario considerar la ondulación del geoide ( $N$ ) de los puntos, o de la zona, de acuerdo a la fórmula  $h = N + H$ . El valor de  $N$  se puede calcular a través del PAG. Es el método más simple y da buenos resultados si la extensión de la parcela no es elevada y la precisión requerida no es alta. Por ejemplo, en el extremo del huso y a una latitud de 36° 11' N, con un desplazamiento de 2000 metros en longitud hacia el Este,  $k$  varía de 1.3 E-5, que para esa misma distancia supone más de 2.5 cm.

b) La transformación se basa en dos giros, respecto de dos de los ejes del sistema geodésico local (también llamado cartesiano local),  $x$  (*East*) y  $z$  (*Up*), con lo que se simula el horizonte (geodésico) del lugar en el punto considerado. El sistema es “geodésico” (no astronómico) porque no se considera el valor de la desviación de la vertical (ángulo formado entre las perpendiculares al elipsoide y al geoide), de magnitud despreciable para trabajos de poca extensión como los levantamientos de parcelas, topográficos, etc. (Fig. 1).

Las expresiones aplicadas para realizar las transformaciones entre coordenadas locales a globales y viceversa son las recogidas en [3].

Dado que para calcular las coordenadas cartesianas tridimensionales ( $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ) intervienen las coordenadas geodésicas clásicas, (es decir, las alturas consideradas son elipsoidales) son necesarias las consideraciones, respecto a las alturas citadas en el punto anterior.

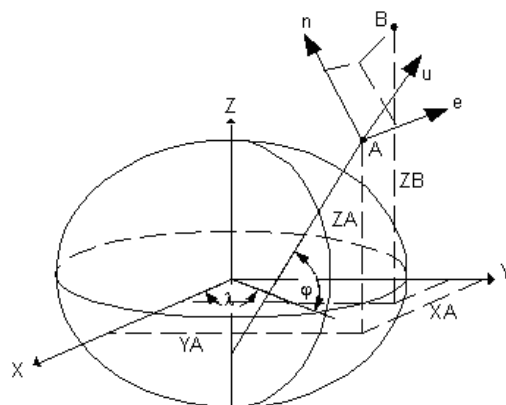


Fig. 1. Relación en el sistema geodésico clásico y el sistema geodésico local

c) Una tercera opción sería el de la transformación de las coordenadas de la parcela desde el sistema UTM a otro que fuera equivalente como por ejemplo la proyección Azimutal Equivalente de Lambert que es la que recomienda la directiva INSPIRE para análisis estadístico espacial (como sería el valor del área). Para ello hace falta dominar el manejo entre sistemas, así como tener los programas específicos para tal fin, así como disponer de los datos en formato digital (casi siempre disponibles). Es más utilizada en mapas de escala media y pequeña y no es habitual en el ámbito topográfico.

## 2. Objetivos

El principal objetivo de la presente comunicación es cuantificar la repercusión del empleo de una proyección conforme como es la proyección cilíndrica UTM cuando se trata de suministrar datos de superficie con la inherente deformación asociada. Esto se hace con el fin de que los técnicos e investigadores de ramas afines a la topografía y a la cartografía sean conscientes de las limitaciones que tiene facilitar información a partir de datos que no son especialmente preparados para ello. Evidentemente, para la mayoría de las aplicaciones los errores cometidos serán asumibles, pero es necesario conocer el orden de magnitud de los errores para poder valorar esta circunstancia.

Además, se pretenden plantear una serie de soluciones de cara a la subsanación de estas inexactitudes de una forma tan rigurosa como sea necesaria en función de los requerimientos del trabajo.

## 3. Metodología. Ejemplos prácticos

A través de una serie de ejemplos, se pondrá de manifiesto la repercusión de la posición dentro de un huso de una parcela a la hora de comparar los valores “reales” y proporcionados por la proyección UTM. Para todos los casos la “eliminación” de la proyección se hará por el método de las transformaciones antes apuntado (b), con el auxilio de una aplicación de desarrollo propio [1].

### 2.1. Parcela 1, situada cerca de línea automecoica ( $k=1$ )

Como primer ejemplo ilustrativo se ha seleccionado una parcela (1) del término municipal de Cortegana (Huelva). Se parte de un levantamiento de la linde de la misma, realizado con un equipo GPS-GNSS en modo *Real Time Kinematic (RTK)*. Las coordenadas de los puntos que definen el perímetro están en UTM ETRS89 H29 (EPSG 25829).

Dadas las “reducidas” dimensiones de la finca, algo más de 86 ha, es de esperar que los valores de la ondulación del geode sean estables, pero como medida de precaución, se calculará su valor para los cuatro puntos situados en los extremos, como se puede apreciar en la (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

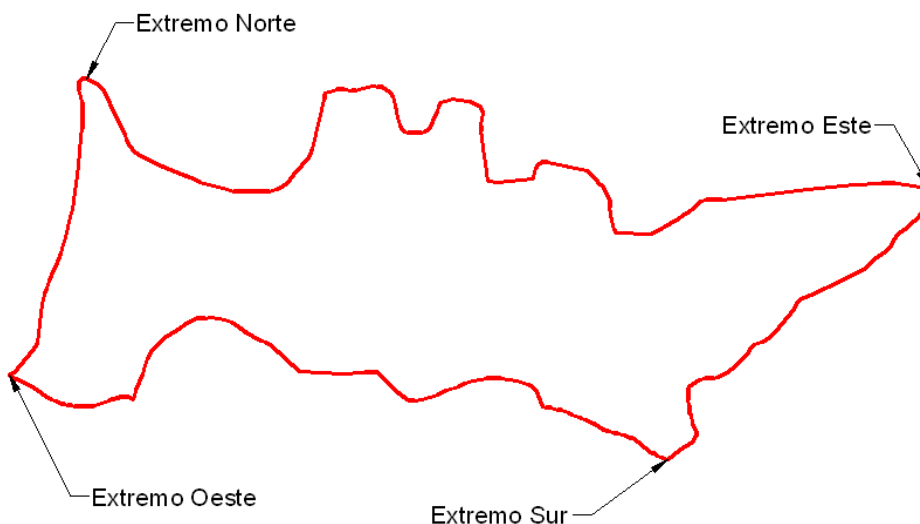


Fig. 2. Representación de la parcela 1 con indicación de puntos extremos para el cálculo de la ondulación media

Con el PAG se puede calcular el valor de la ondulación del geoide para cada uno de los puntos de control, obteniendo los valores siguientes:

|                |          |
|----------------|----------|
| Extremo Norte: | 55.155 m |
| Extremo Sur:   | 55.136 m |
| Extremo Este:  | 55.161 m |
| Extremo Oeste: | 55.135 m |

Como valor a adoptar se considerará la media aritmética, **55.147 m**.

Si se traza la linde de la finca partiendo de los puntos medidos con GPS-GNSS, se obtiene un dibujo representado en UTM H29 ETRS89 (EPSG 25829). Si se calcula directamente (con las coordenadas UTM) la superficie, el valor obtenido es de 86 ha, 14 a y 2.44 ca (o m<sup>2</sup>). Si se “elimina” la proyección y se recalcula la superficie el resultado es de 86 ha, 15 a y 27.41 ca, siendo este el valor más aproximado a la realidad. El error cometido es de 124.97 m<sup>2</sup> menos de lo que corresponde. El error relativo es menos del 0.015%. Esto se debe a que el coeficiente de anamorfosis lineal en la zona es muy próximo a la unidad, ya que la parcela se encuentra cerca de una de las líneas automecoicas del huso.

## 2.2. Parcela 1, situada en zona de huso ampliado

Si, en lugar de trabajar con los puntos en el huso 29 (el idóneo para la zona de trabajo), se decide transformar las coordenadas al huso 30, con el fin de superponer la medición con una cartografía de base que esté en dicho huso y se hacen los correspondientes cálculos de superficies, igual que en el ejemplo anterior, las diferencias serán mucho más significativas.

La superficie en la proyección será ahora de 86 ha, 31 a y 61.98 ca, mientras que si se “elimina” la proyección, resulta ser 86 ha, 15 a y 27.62 ca, prácticamente idéntica (la diferencia se debe al cambio de huso y los redondeos sucesivos) a la obtenida en el ejemplo anterior (varia 0.21 m<sup>2</sup>). La diferencia que existe ahora entre ambas superficies es de 1634.36 m<sup>2</sup>, lo que supone casi un 0,2% del total.

## 2.3. Parcela 2, situada en el extremo del huso

Para comprobar en cuánto puede repercutir trabajar en una de las zonas extremas, con máxima deformación, se considera una parcela (2) correspondiente al término municipal de Dos Hermanas (Sevilla). Dicha parcela tiene una parte en el huso 29 y otra en el 30 (Fig. 3). En este caso, para conservar una continuidad en el trazado, es obligatorio proyectar todos sus vértices en un único huso, que en este caso concreto será el 30, por ser el que se corresponde con la mayor parte del término municipal y por tanto en el que se encuentra, por defecto, toda la cartografía del mismo. Finalmente, los cálculos se han realizado en UTM H30 ETRS89 (EPSG 25830).

Para poder “eliminar” la proyección se requiere conocer la ondulación del geode en los puntos extremos de la finca (Fig. 3).

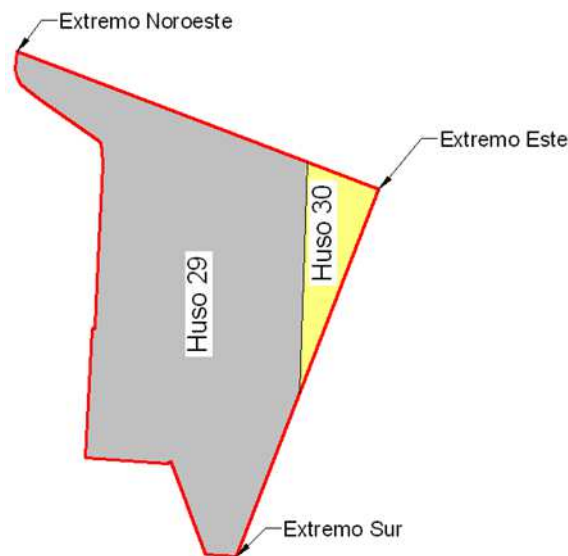


Fig. 3. Representación de la parcela 2 con indicación de puntos extremos para el cálculo de la ondulación media

Con el PAG se obtienen los siguientes valores de ondulación del geode:

Extremo Noroeste: 48.203 m  
Extremo Este: 48.117 m  
Extremo Sur: 48.037 m

Como valor a adoptar se considerará la media aritmética, **48.119 m**.

Al calcular la superficie sobre el dibujo en UTM, su valor es de 111 ha, 23 a y 58.09 ca. Posteriormente tras “eliminar” la proyección y el recálculo de la superficie da 111 ha, 13 a y 17.07 ca. La diferencia entre ambas es de 1041.02 m<sup>2</sup>, es decir, casi un 0,1% del total.

#### 4. Resultados y Conclusiones

Tras presentar los distintos ejemplos, se comentan los resultados obtenidos, así como se establecen las conclusiones del trabajo.

Si se consideran los dos primeros ejemplos, en los que se ha trabajado con la misma parcela, se puede afirmar que siempre que sea posible se deberá trabajar en el huso que corresponda a la zona de medición. En caso contrario las deformaciones producidas por el empleo del sistema cartográfico serán muy superiores. También se puede deducir que, si el valor unitario de la superficie que se está midiendo no es muy alto, en determinadas circunstancias (el coeficiente de anamorfosis lineal es muy próximo a la unidad por estar cerca de una de las dos líneas automecoicas de la proyección) se podría admitir calcular la superficie directamente de su representación en UTM. No obstante, lo más recomendable será, siempre, realizar todos los cálculos de superficies, trazados y acotaciones de proyectos, sobre el dibujo al que se le haya “eliminado” la proyección, o hacer las aclaraciones pertinentes de forma explícita y clara. Si fuera necesario representar todos los trazados efectuados nuevamente georreferenciados, bastará con restituir la proyección.

Relacionando estos dos primeros ejemplos se comprueba la diferencia que resulta de trabajar directamente sobre la proyección o eliminándola, tanto en el cálculo de superficies como por supuesto en la medida de distancia.

El ejemplo 3 pone de manifiesto cómo se agrava la situación cuando la parcela está bastante separada de las líneas automecoicas (donde el coeficiente de anamorfoxis es la unidad) y está próxima al meridiano central del huso o a sus bordes exteriores, como se aprecia en la (Fig. 4).

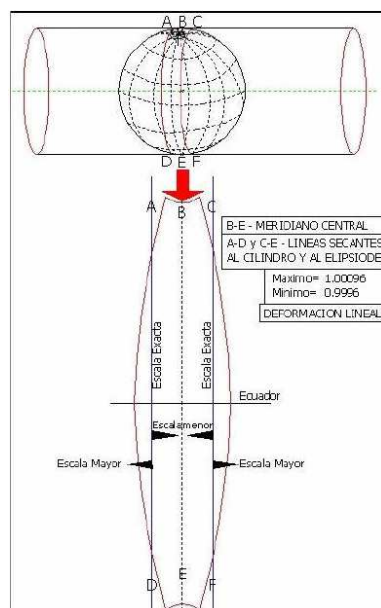


Fig. 4. Variaciones del coeficiente de anamorfoxis lineal en función de la posición dentro del huso. Fuente: modificado de Alonso, 2001 [2]

Obtenidos y analizados los resultados de los ejemplos presentados, se puede concluir que calcular la superficie de fincas directamente desde su representación en la proyección UTM supone diferencias con respecto a la superficie “real” de las mismas. También se puede afirmar que esas diferencias son variables en función de la localización geográfica y que se hacen especialmente inaceptables cuando estamos muy próximos al meridiano central del huso o, especialmente, a sus bordes. Finalmente, es preciso aclarar que si la representación UTM de la finca se realiza en un huso que no le corresponde (“pertenece” al 29 pero se muestra en el 30, por ejemplo) el error cometido es todavía mayor.

Siendo conscientes de todo esto, lo más recomendable para calcular la superficie de una finca representada en UTM es “eliminarle” la proyección. Igualmente, si se necesita realizar cálculos de proyectos, hacer particiones, etc., lo más indicado es trabajar en coordenadas relativas y una vez concluidas todas las operaciones, restituir el dibujo a la proyección original.

## 5. Citas y Referencias bibliográficas

- [1] AMARO-MELLADO, JL., PÉREZ-ROMERO, AM., CELADA-PÉREZ, JA., RUIZ-CAPISCOL, S. Propuesta de una metodología de trabajo para mediciones topográficas y catastrales a partir de la tecnología actual y una herramienta de desarrollo propio en entorno CAD. En AA.VV. *Actas del 1er Congreso Internacional de Catastro Unificado y Multipropósito, Jaén, 16-18 de junio de 2010*. Jaén: Universidad de Jaén, 2010, p. 353-368.
- [2] ALONSO FERNÁNDEZ-COPPEL, I. *Las coordenadas geográficas y la proyección UTM*. Universidad de Valladolid, 2001.
- [3] GONZÁLEZ-MATESANZ, FJ. *Aportaciones al estudio de los modelos de distorsión para el cambio de datum entre ED50 y ETRS89*. Tesis Doctoral. Universidad de Alcalá de Henares, 2007.
- [4] UNIÓN EUROPEA. *INSPIRE Specification on Coordinate Systems – Guidelines*, 2010. Disponible en [http://inspire.ec.europa.eu/documents/Data\\_Specifications/INSPIRE\\_Specification\\_CRS\\_v3.1.pdf](http://inspire.ec.europa.eu/documents/Data_Specifications/INSPIRE_Specification_CRS_v3.1.pdf) (último acceso en agosto de 2014).
- [5] Web: <http://www.ign.es/ign/layoutIn/herramientas.do> (último acceso agosto de 2014).
- [6] Web: <http://topoetsia.blogspot.com.es/> (último acceso agosto de 2014).