

---

---

## XVI Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica 25, 26 y 27 de Junio de 2014. Alicante.

---

---

# Métricas para el control posicional 3D de bases geoespaciales mediante elementos lineales

Antonio T. Mozas-Calvache<sup>a</sup>, Francisco Javier Ariza-López<sup>a</sup>, Paula Gil de la Vega<sup>a</sup>

<sup>a</sup> *Departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría, Universidad de Jaén*  
*E-mail: antmozas@ujaen.es.*

---

### Resumen

El control posicional de los productos cartográficos ha venido realizándose a través de la comparación de una muestra de puntos del producto a controlar con los correspondientes puntos extraídos de una fuente de mayor exactitud. Estos métodos y estándares han incluido el cálculo de la exactitud posicional de la componente altimétrica, tanto de forma independiente, como dependiente del resto de componentes. Recientemente, han aparecido algunos trabajos que proponen la realización de este control posicional a través de un conjunto de líneas existentes en la cartografía utilizando como fuente de control las correspondientes líneas obtenidas de una fuente más exacta. Sin embargo, hasta el momento las métricas aplicadas en estos casos se han limitado a las componentes planimétricas. En este trabajo se propone la adaptación de una serie de métricas, planteadas para el control planimétrico, para la realización del control posicional tridimensional mediante elementos lineales. Estas métricas han sido aplicadas a un caso real confirmado los resultados la viabilidad de este tipo de control y de las métricas utilizadas.

Palabras clave: calidad; exactitud posicional; líneas; control posicional 3D; bases geoespaciales; incertidumbre posicional

---

### 1. Introducción

En la actualidad es posible determinar la exactitud posicional de las bases de datos espaciales (BDE) mediante la comparación de una muestra de elementos lineales presentes en las mismas, con los correspondientes elementos obtenidos de una fuente más exacta. Su desarrollo supone una alternativa al tradicional uso de puntos en casos donde la definición de los mismos no es posible y un complemento al uso

de los mismos en otros supuestos. El uso de elementos lineales está principalmente basado en el actual desarrollo de las técnicas de adquisición de este tipo de elementos. En este sentido, el levantamiento cinemático GNSS de elementos lineales, principalmente carreteras, es una alternativa en ocasiones más rentable que el levantamiento de puntos debido a la necesidad de una buena distribución y definición de los mismos. Las líneas están consideradas como el mayor grupo de elementos en una BDE. Cuenin (1972) estima que aproximadamente el 80% de los elementos de una BDE son líneas. El control posicional basado en líneas basa su potencial en la habitual existencia de un gran número de estos elementos sobre el territorio (en zonas habitadas hay presencia de carreteras, caminos, etc.), su buena distribución en el espacio geográfico, la actual facilidad para la obtención de la base de datos de líneas de control (levantamientos GNSS cinemáticos), la mayor información geométrica de estos elementos (definidos por los vértices y los segmentos que los unen) y el desarrollo actual de metodologías y métricas para la realización de dicho control.

En este contexto, recientemente han aparecido algunos trabajos (Mozas y Ariza, 2010) que proponen la realización de este control posicional a través de un conjunto de líneas existentes en la cartografía, más concretamente carreteras, utilizando como fuente de control las correspondientes líneas obtenidas de una fuente más exacta. En base a esta hipótesis de trabajo, se han presentado algunos trabajos que desarrollan un control posicional basado en este tipo de elementos a distintos tipos de líneas como líneas de costa, carreteras, líneas sintéticas, ríos, curvas de nivel, etc. (Goodchild y Hunter, 1997; Van Niel y McVicar, 2002; Mozas y Ariza, 2010, Ariza y Mozas, 2012, Mozas et al., 2013a, Mozas et al., 2013b), que estudian la eficiencia de este control por técnicas cinemáticas GNSS (Ruiz et al., 2009), y que analizan la muestra y características de líneas necesarias para realizarlo (Ariza et al., 2011).

Los métodos de control posicional mediante elementos lineales aparecidos hasta la fecha están basados en el concepto de banda de incertidumbre o banda Épsilon. Así por ejemplo, Abbas et al. (1995) describen una métrica basada en el cálculo de la distancia de Hausdorff (Hangouët, 1995), Skidmore y Turner (1992) proponen el cálculo de la incertidumbre a partir del área existente entre la línea de control y a controlar, y Mozas y Ariza (2010) realizan el cálculo de una distancia promedio entre estas líneas. Más recientemente, Mozas y Ariza (2011) presentan una nueva métrica basada en el cálculo de vectores de desplazamiento entre los vértices de la línea de control y la línea a controlar teniendo en cuenta los segmentos adyacentes a estos vértices.

En todo proceso de evaluación se consideran dos conjuntos: los elementos lineales a controlar XL y los elementos lineales de control QL. Los elementos QL deben proceder de una fuente o trabajo más preciso que los XL. En el caso de la métrica basada en la distancia de Hausdorff (Figura 1a), ésta consiste en la determinación de las distancias planimétricas entre las líneas XL y QL, siendo las distancias  $d_1$  y  $d_2$  las correspondientes distancias máximas de  $XL \rightarrow QL$  y de  $QL \rightarrow XL$ . La distancia de Hausdorff es la mayor de ellas. La métrica de las distancias medias fue inicialmente descrita por McMaster (1986) para analizar la calidad del proceso de generalización de líneas. Posteriormente, Mozas y Ariza (2010) la aplican para la realización de una evaluación posicional. La métrica (Figura 1b) consiste en la determinación de todas las distancias planimétricas desde los vértices de QL a la línea homóloga XL y la determinación de un valor promedio de desplazamiento. Además, el cálculo del desplazamiento promedio se puede realizar desde XL a QL, aunque los autores aconsejan utilizar la línea con mayor densidad de vértices (que en su caso es la línea de control obtenida a partir de un levantamiento cinemático GNSS). La métrica basada en el cálculo de la superficie encerrada entre las dos líneas supone la determinación de todos los polígonos interiores definidos por las dos líneas teniendo en cuenta los cruces entre ambas líneas y la posterior suma de sus superficies (S1-S4 en Figura 1c). Finalmente se determina un desplazamiento promedio dividiendo la superficie total entre la

longitud de la línea controlada (la de menor longitud). Por último, el método VIM consiste en la determinación de los vectores de desplazamiento planimétricos desde los vértices de QL a su homóloga XL. La determinación del vector de desplazamiento global se realiza ponderando cada uno de los vectores individuales por la longitud de los segmentos adyacentes al vértice implicado en cada caso ( $i$  en Figura 1d). De la misma forma que el caso b, el cálculo también se puede realizar desde los vértices de XL hacia QL, aunque los autores aconsejan utilizar la línea con mayor número de vértices que suele ser la línea de control.

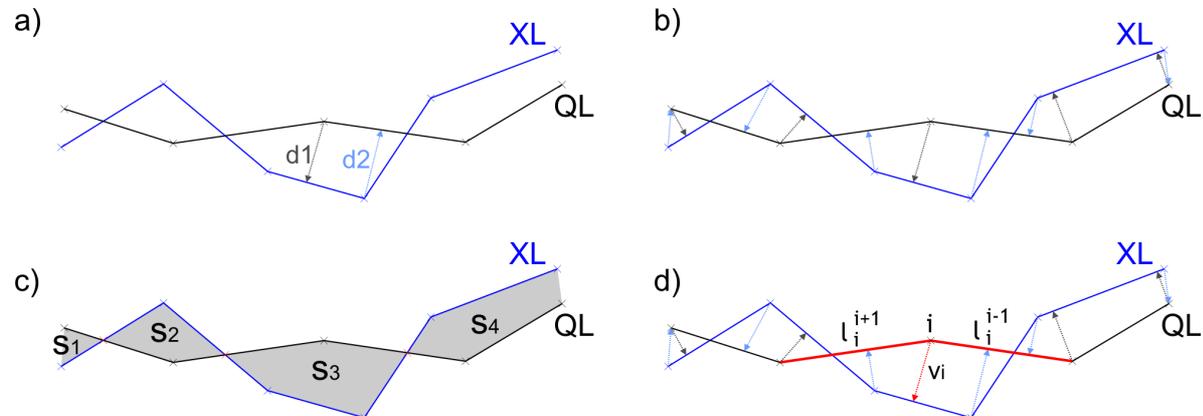


Fig. 1. Métricas de control posicional por elementos lineales: (a) Distancia de Hausdorff; (b) Distancias medias; (c) Superficie; (d) VIM

Hasta el momento las métricas aplicadas para el control posicional por elementos lineales se han limitado al estudio de las componentes planimétricas sin tener en cuenta la componente altimétrica. En este trabajo se proponen una serie de métricas para la realización de este control posicional mediante elementos lineales incluyendo la componente altimétrica. Para ello se realiza la adaptación de algunas métricas desarrolladas y contrastadas para estudios 2D al caso 3D.

Las métricas presentadas en este trabajo han sido aplicadas a un caso real, más concretamente a una carretera. Así pues, se ha controlado una línea procedente de dos productos oficiales (Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía e Instituto Geográfico Nacional) utilizando una línea de control obtenida mediante un levantamiento GNSS cinemático. Los resultados han confirmado la viabilidad de este tipo de evaluación, de las métricas 3D utilizadas y nos ha permitido obtener una estimación del comportamiento 3D de estas dos BDE.

## 2. Metodología

La metodología presentada en este trabajo adapta las principales métricas descritas para el control posicional 2D por elementos lineales al caso 3D y las aplica a un caso real con el fin de analizar su viabilidad. En la Tabla 1 se presenta un resumen de la adaptación a 3D de las distintas métricas previamente descritas para el caso planimétrico.

Tabla 1. Adaptación de métricas 2D a 3D

| Métrica                | 2D  | 3D   |
|------------------------|---|--|
| Distancia de Hausdorff | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Determinar las distancias planimétricas de XL a QL y viceversa.</li> <li>- Determinar las distancias máximas.</li> <li>- Obtener el valor de la distancia de Hausdorff.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Determinar las distancias 3D de XL a QL y viceversa.</li> <li>- Determinar las distancias máximas.</li> <li>- Obtener el valor de la distancia de Hausdorff.</li> </ul>   |
| Distancias medias      | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Determinar las distancias planimétricas de QL a XL.</li> <li>- Obtener el valor de desplazamiento promedio.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Determinar las distancias 3D de QL a XL.</li> <li>- Obtener el valor de desplazamiento promedio.</li> </ul>   |
| Superficie             | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Determinar los cruces entre XL y QL.</li> <li>- Determinar los polígonos entre XL y QL.</li> <li>- Calcular la superficie de cada polígono.</li> <li>- Sumar las superficies y dividir por la longitud de XL.</li> </ul>                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Realizar una triangulación 3D entre las dos líneas XL y QL.</li> <li>- Calcular la superficie de cada triángulo.</li> <li>- Sumar las superficies y dividir por la longitud de XL.</li> </ul>   |
| VIM                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Determinar el vector bidimensional de cada vértice de la línea QL a la línea XL.</li> <li>- Determinar el vector de desplazamiento ponderando los vectores individuales por la longitud de los segmentos adyacentes a cada vértice.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Determinar el vector tridimensional de cada vértice de la línea QL a la línea XL.</li> <li>- Determinar el vector de desplazamiento ponderando los vectores individuales por la longitud de los segmentos adyacentes a cada vértice.</li> </ul> |

En algunos casos esta adaptación es simple, ya que supone la inclusión de la nueva componente a los cálculos de distancias, pero en otros, la adaptación de 2D a 3D supone el desarrollo de nuevos algoritmos de cálculo, como en el caso del cálculo de la superficie, ya que no es posible trasladar el procedimiento seguido para 2D a 3D.

La aplicación de estas métricas 3D es realizada mediante un ensayo sobre una carretera que está incluida en dos bases de datos geoespaciales oficiales en España. Más concretamente, se ha seleccionado un tramo de la carretera CA-8102 (Figura 2) entre Prado del Rey y Algodonales en la provincia de Cádiz. De este tramo se dispone de cartografía 3D dentro del Mapa Base de Andalucía a escala 1:10000, producido por el Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía (esta línea será denominada ICA), así como de la Base Topográfica Nacional a escala 1:25000, producida por el Instituto Geográfico Nacional (línea que será denominada IGN). El control se realiza mediante una fuente de mayor exactitud a través de un levantamiento cinemático GNSS sobre un vehículo que recorre la vía. Este levantamiento es realizado en ambos sentidos de la vía, para posteriormente determinar el eje medio de la misma. La longitud del tramo objeto de este estudio es de 17 kilómetros. El receptor GNSS utilizado fue un Racelogic VBox a 10hz recibiendo correcciones diferenciales a través de una conexión GPRS desde la red de estaciones de referencia de la RAP (Red Andaluza de Posicionamiento). El sistema también cuenta con una unidad inercial IMU que complementa al GNSS en caso de pérdidas de señal. La distancia media entre cada punto fue de 1.3 metros. Posteriormente se realiza una transformación de coordenadas altimétricas a alturas ortométricas, para lo que se utilizaron las ondulaciones del geoide obtenidas a partir del modelo de geoide EGM08-REDNAP. La línea de control obtenida es denominada GPS. Finalmente se realiza una edición para obtener el conjunto de líneas a controlar (ICA y IGN) y de control (GPS) correspondientes. La aplicación de las métricas 3D objeto de este estudio se realiza a través del software CPLin3D desarrollado en JAVA<sup>TM</sup> para este fin.

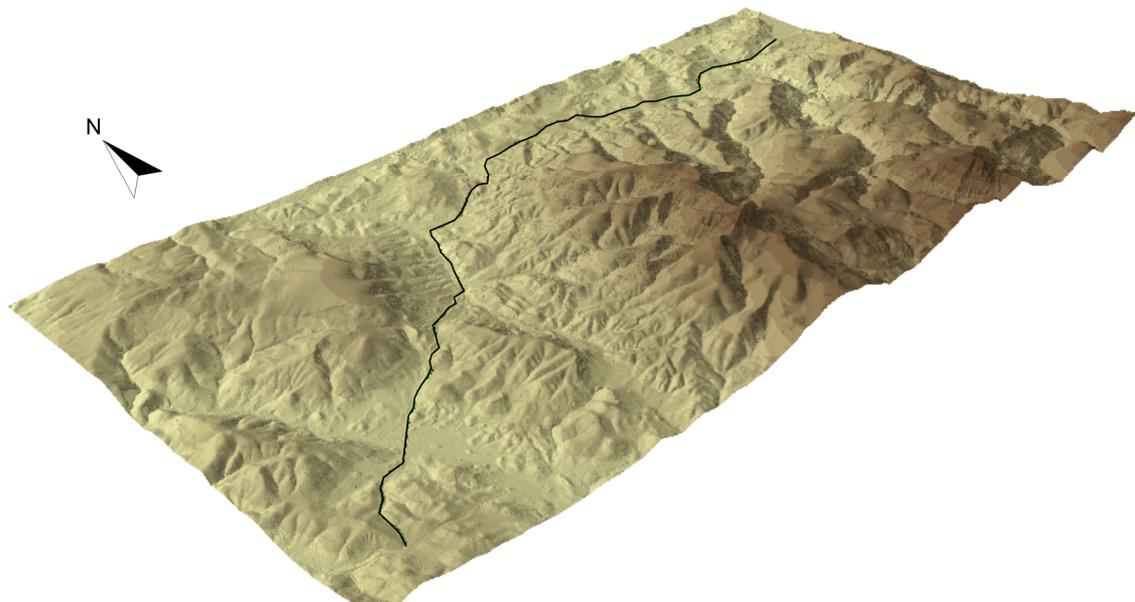


Fig. 2. Vista 3D obtenida con ArcScene™ v10 del tramo de carretera utilizado en el ensayo metodológico. DEM procedente del Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía a 10m

### 3. Resultados

Los resultados obtenidos en este estudio son presentados en la Tabla 2. Obviamente, la distancia de Hausdorff presenta valores superiores en ambos casos (ICA e IGN) al resto de métricas debido a que esta métrica refleja desplazamientos máximos de las líneas. En cuanto al resto de métricas los valores de desplazamiento promedio obtenidos son muy similares en ambos casos, sobre todo en el desplazamiento derivado del cálculo de la superficie y VIM3D. Por otro lado, se puede observar que la comparación de los valores obtenidos en las dos bases de datos geospaciales refleja desplazamientos superiores en el caso IGN con respecto al caso ICA. Esto es lógico si se tiene en cuenta que ambos productos tienen distinta escala. Sin embargo, esta diferencia de escalas nominales (2.5 veces menor en el caso del IGN) no tiene una repercusión proporcional en los resultados, ya que el desplazamiento promedio en el caso IGN es aproximadamente 1.5 veces superior con respecto al caso ICA, resultado que vendría a confirmar que el producto del IGN posee una escala de producción 1:12500.

Tabla 2. Resultados de la aplicación de las métricas de control posicional 3D

|                           | ICA     | IGN      |
|---------------------------|---------|----------|
| Distancia de Hausdorff 3D | 9.693 m | 17.953 m |
| Distancias medias 3D      | 4.535 m | 6.798 m  |
| Superficie/Longitud       | 4.508 m | 6.826 m  |
| VIM3D                     | 4.505 m | 6.814 m  |

En la Figura 3 se presentan distintas vistas tridimensionales de la aplicación realizada. Esta representación 3D realizada con el software ArcScene™ v10 ha permitido verificar la correcta adaptación de las métricas propuestas y de los resultados obtenidos. Así, se han representados los distintos vectores de desplazamiento y distancias calculadas (Figura 3a) entre ambas líneas (GPS-ICA/IGN) y la triangulación tridimensional realizada para el cálculo de la superficie (Figura 3b).

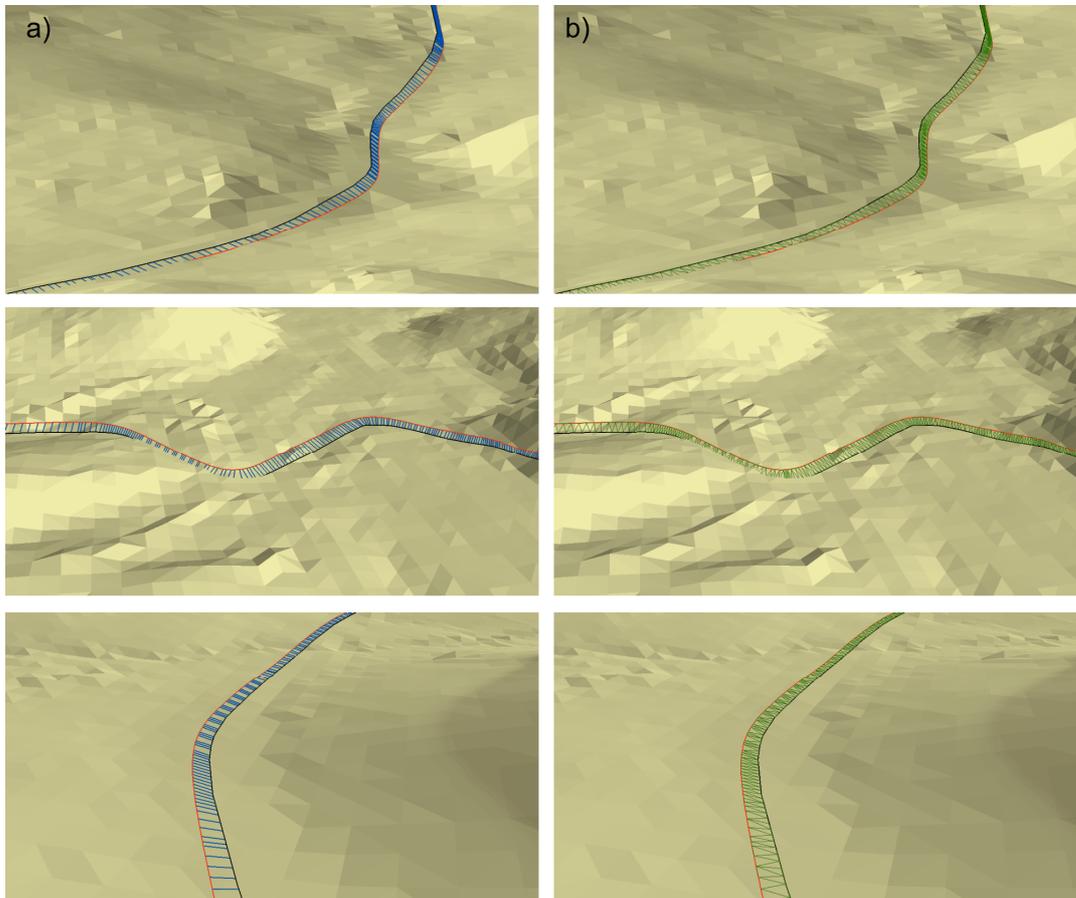


Fig. 3. Vistas 3D obtenidas con ArcScene™ v10 de la aplicación de las distintas métricas de control posicional 3D (DEM procedente del Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía a 10m): (a) Cálculo de distancias y vectores 3D; (b) Triangulación y cálculo de áreas

#### 4. Discusión

Las métricas aplicadas han permitido obtener los valores de desplazamiento tridimensional máximo y promedio tridimensionales de una carretera perteneciente a dos bases de datos geospaciales oficiales. Los resultados obtenidos con la aplicación de dichas métricas son coherentes de forma particular y cuando son comparados entre sí. Por lo tanto, estas métricas son válidas para la realización de un control posicional 3D de una BDE mediante elementos lineales.

## 5. Conclusiones

En este trabajo se ha presentado la adaptación de distintas métricas de control posicional 2D por elementos lineales al caso 3D. La aplicación sobre un tramo de carretera real, controlando las líneas que la representan en dos bases de datos oficiales mediante una línea de control obtenida de una fuente de mayor exactitud (GPS), ha permitido comprobar la operatividad y viabilidad de dichas métricas para la realización de controles posicionales 3D por elementos lineales. Estos controles podrán ser aplicados a cualquier producto cartográfico que contenga este tipo de elementos. En este sentido, habrá que tener en cuenta aspectos importantes sobre la obtención de los elementos de la fuente de mayor exactitud, la determinación del tamaño de muestra, etc. Estos aspectos serán analizados más profundamente en futuros trabajos.

## Agradecimientos

Este trabajo se ha realizado dentro del proyecto de investigación “Evaluación 3D de elementos lineales de información geográfica” del Ministerio de Ciencia e Innovación (BIA2011-23271).

## Referencias

- Abbas, I., Grussenmeyer, P. & Hottier, P. (1995). Contrôle de la planimétrie d'une base de données vectorielle: une nouvelle méthode basée sur la distance de Hausdorff: la méthode du contrôle linéaire. *Bulletin SFPT*, 1 (137), 6–11.
- Ariza, F. J., Mozas, A. T., Ureña, M. A., Alba, V., García, J. L., Rodríguez, J. & Ruiz, J. J. (2011). Influence of sample size on line-based positional assessment methods for road data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 66 (5), 708-719. doi: 10.1016/j.isprsjprs.2011.06.003.
- Ariza, F. J. & Mozas, A. T. (2012). Comparison of four line-based positional assessment methods by means of synthetic data. *Geoinformatica*, 16(2), 221-243. doi: 10.1007/s10707-011-0130-y.
- Cuenin, R. (1972). *Cartographie Générale. Tome I. Notions Générales et principes d'élaborations*. Paris (France): Eyrolles.
- Goodchild, M. & Hunter, G. (1997). A simple positional accuracy for linear features. *International Journal Geographical Information Science*, 11 (3), 299-306. doi:10.1080/136588197242419
- Hangouët, J. F. (1995). Computation of the Hausdorff Distance between plane vector polylines. *Auto Carto*, 12, 1-10.
- McMaster, R.B. (1986). A statistical analysis of mathematical measures for linear simplification. *The American Cartographer*, 13(2), 103-116.
- Mozas, A. & Ariza, F.J. (2010). Methodology for positional quality control in cartography using linear features. *The Cartographic Journal*, 47(4), 371–378. doi:10.1179/000870410X12825500202931
- Mozas, A. & Ariza, F. J. (2011). New method for positional quality control in cartography based on lines. A comparative study of methodologies. *International Journal of Geographical Information Science*, 25(10), 1681-1695. doi:10.1080/13658816.2010.545063
- Mozas, A., Ureña, M. A. & Ariza, F. J. (2013). Methodology for Analyzing Multi-Temporal Planimetric Changes of River Channels. Proceedings of the 26th International Cartographic Conference, Dresden (Germany): International Cartographic Association.
- Mozas, A., Ureña, M. A. & Pérez, J. L. (2013). Accuracy of contour lines using 3D bands. *International Journal of Geographical Information Science*, 27(12), 2362-2374. doi: 10.1080/13658816.2013.801484.
- Ruiz, J. J., Mozas, A.T. & Ureña, M. A. (2009). GPS survey of road networks for the positional quality control of maps. *Survey Review*, 41(314), 374-383. doi: 10.1179/003962609X451618.
- Skidmore, A. & Turner, B. (1992). Map accuracy assessment using line intersect sampling. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 58 (10), 1453-1457.
- Van Niel, T. G. & McVicar, T. R. (2002). Experimental evaluation of positional accuracy estimates from a linear network using point- and line-based testing methods. *International Journal Geographical Information Science*, 16(5), 455-473. doi:10.1080/13658810210137022