

# METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE ELEMENTOS LINEALES 3D

F.J. ARIZA-LÓPEZ

Universidad de Jaén, Dpto. Ing. Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría  
fjariza@ujaen.es

J.L. GARCÍA-BALBOA

Universidad de Jaén, Dpto. Ing. Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría  
jlbalboa@ujaen.es

M.A. UREÑA-CÁMARA

Universidad de Jaén, Dpto. Ing. Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría  
maurena@ujaen.es

J.F. REINOSO-GORDO

Universidad de Jaén, Dpto. Estadística e Investigación Operativa  
[reinoso@ugr.es](mailto:reinoso@ugr.es)

**Resumen:** El control posicional de productos cartográficos se desarrolla tradicionalmente por medio de elementos puntuales. Sin embargo, la mayor cantidad de elementos en un producto de datos espaciales de tipo topográfico, son lineales. Además, desde el desarrollo de los sistemas GNSS se ha incrementado el uso navegadores y la difusión de cartografía de redes de comunicación. Todo ello indica necesidad e interés de controlar de una manera específica esta tipología de elementos. Hasta la fecha la propuesta de control de la exactitud posicional mediante el uso de elementos lineales (método de orlado simple, método de orlado doble, etc.) han sido de tipo 2D (planimétricas). En este trabajo se propone una investigación para desarrollar un método 3D que resulte operativo. Para ello se presentan los retos que enfrenta esta investigación y el plan de trabajo para abordarlos. Para poder ofrecer una propuesta tecnológica aplicable como método de control posicional a casos reales se debe ofrecer alguna orientación sobre el tamaño y características de las muestras a utilizar. En este caso se propone la utilización de procesos de simulación para derivar estas recomendaciones.

**Palabras claves:** *exactitud posicional, calidad, control posicional, elemento lineal.*

**Abstract:** The positional accuracy of cartographic products is traditionally developed through point elements. However, many elements in a topographical data product are linear. Furthermore, since the development of GNSS systems the use of navigation devices and location based services in vial networks has increased. This indicates a need and interest in a specific way to control this type of elements. Nowadays the approaches for positional accuracy control by the use of linear (e.g. single edged method, double-edged method, etc.) are 2D (planimetric). This paper proposes an investigation to develop an operative 3D method. This paper shows the challenges facing this research and the proposed work plan to address them. In order to provide a technological proposal applicable as an operative positional control method to real cases should be offered some guidance on the size and characteristics of the samples used. In this case we

propose the use of simulation processes to derive these recommendations.

**Key words:** positional accuracy, quality, positional control, linear element.

## 1. INTRODUCCIÓN

El control posicional de productos cartográficos se desarrolla tradicionalmente por medio de elementos puntuales. En estos casos se utiliza un conjunto de puntos bien definidos, llamados los puntos de control, identificados tanto en el producto como en una fuente más exacta.

Sin embargo, la mayor cantidad de elementos presentes en un producto de datos espaciales de tipo topográfico, o general, son datos de tipo lineal. Además, desde el desarrollo de los sistemas GNSS se ha incrementado notablemente el uso navegadores y la difusión de cartografía de redes de comunicación y servicios de navegación. Todo ello indica necesidad e interés de controlar de una manera específica esta tipología de elementos presentes en los productos de datos espaciales de tipo topográfico o general.

Hasta la fecha la propuesta de control de la exactitud posicional mediante el uso de elementos lineales (método de orlado simple, método de orlado doble, etc.) han sido de tipo 2D (planimétricas). En este trabajo se propone un método de trabajo en 3D, tanto para la fase de captura como para la fase de análisis y obtención de resultados. Para la fase de captura en campo se propone el uso de sistemas IMU+GNSS y para la fase de análisis la aplicación de librerías de objetos 3D que permitan aplicar las reglas de la geometría constructiva con el objetivo de manejar las intersecciones de los elementos 3D tipo "tubería" con los que se trabaja.

Finalmente, para que realmente se pueda ofrecer un método de control aplicable a casos reales se debe ofrecer alguna orientación sobre el tamaño de muestra a utilizar. En este caso se propone la utilización de

procesos de simulación sobre datos reales para derivar estas recomendaciones

La finalidad de este proyecto es desarrollar una metodología de evaluación de la calidad de la componente posicional 3D de la Información Geográfica (IG) de carácter lineal, específicamente de vías de comunicación (carreteras), pero extensible a otros elementos lineales de interés. Básicamente las novedades de esta propuesta son: 1º) uso de elementos lineales, 2º) control 3D de los elementos lineales, 3º) análisis de datos multitrayectoria.

Consideramos que el tema es de gran interés y actualidad para el sector cartográfico pues, si bien existen nuevos métodos de captura de datos (p.e. GPS, LIDAR) y producción (p.e. fotogrametría digital, sistemas de información geográfica, etc.), la calidad posicional de la IG se sigue controlando con metodologías muy básicas y poco específicas de información espacial tridimensional, y menos aún de tipo lineal.

Además de esta introducción en este documento se presentan unos antecedentes centrados en el control posicional de elementos lineales. El tercer apartado presenta brevemente los métodos que se aplicarán mientras que en el cuarto apartado se desarrolla el plan de trabajo, cuyas actividades consisten en el desarrollo de los métodos avanzados junto a otras actividades de soporte y facilitación. En último lugar se presentan las principales conclusiones.

## 2. ANTECEDENTES

Los elementos lineales son los más abundantes, hasta el 80%, en las bases cartográficas [CUE72]. Su determinación en campo ahora es muy sencilla con posibilidades de obtener altas precisiones. Así, la conjunción de sistemas GNSS con Sistemas Inerciales de Navegación proporcionan resultados de alta precisión y complementarios [SUN10], sobre todo en lugares donde el horizonte puede ser no del todo óptimo y en zonas con túneles.

El uso de las líneas como elementos de control de calidad en cartografía es propio del ámbito de la generalización [MCM92] existiendo abundantes índices morfológicos e informacionales desarrollados para estos casos [AGE00]. Desde el punto de vista posicional la banda de error o incertidumbre [BLA83] es una aproximación que permite un planteamiento complementario a los tradicionales estudios basados en el punto [LEU98]. Existen diversos ejemplos elementales de aplicación de elementos lineales al control y estudio del error posicional [CAS92] e incluso alguna propuesta de método de control posicional basado en los mismos [GIO94] o las sugerencias realizadas por la escuela del IGN francés

para el uso de estos elementos en el control planimétrico mediante el uso de métricas como la de Hausdorff ([HOT94] y [LEU98]).

Basado en la idea de la banda de error Skidmore y Turner [SKI92] proponen utilizarla para determinar la incertidumbre. La estimación se hace cuantificando la distancia media al comparar líneas homólogas (Método de la Distancia Media, MDM). Abbas y col, [ABB95] proponen como métrica más adecuada para caracterizar la discrepancia entre un par de líneas homólogas el uso de la distancia de Hausdorff (Método de la distancia de Hausdorff, MDH). Veregin [VER00] también liga los métodos de determinación de la exactitud posicional de los elementos lineales con la generalización. Goodchild y Hunter [GOO97] proponen un método basado en la posibilidad de realizar un buffer sobre el elemento de referencia, es el denominado Método del Orlado Simple (MOS). Tveite y Langaas [TVE99] presentan una metodología algo más complicada que la anterior. Ahora el buffer se realiza sobre cada pareja de líneas homólogas (Método del Orlado Doble, MOD). Estos métodos han sido comparados por diversos autores pero de una forma poco sistemática y sin un tamaño de estudio suficientemente amplio como para derivar conclusiones fiables. Los trabajos de Mozas y Ariza [MOZ11] y de Ariza y Mozas [ARI11] son los primeros en estudiar el comportamiento de los MCPxL frente a aspectos elementales como sesgos y outliers posicionales.

Nuestra experiencia en la evaluación de elementos lineales parte de estos antecedentes profundizando tanto en aspectos básicos del estudio de los MCPxL bajo condiciones controladas ([MOZ08] y [ARI11]), como en sus aspectos más prácticos ([RUI06] y [RUI07]) que provienen del estudio de casos reales [MOZ10] tales y que permiten derivar ciertas recomendaciones sobre el tamaño de las muestras [ARI11]. Todo ello basado en el desarrollo de una herramienta informática aplicada a elementos lineales 2D denominada CPLin ([MOZ07-1] y [MOZ07-2]).

Todos estos trabajos permiten concluir la existencia de una tendencia clara de confluencia entre las investigaciones en generalización de elementos lineales y el control posicional, ya indicada explícitamente en trabajos como el de Dogru y col. [DOG09].

Un aspecto importante de estas referencias (incluidos nuestros propios trabajos) es que se formulan y presentan exclusivamente para datos de tipo 2D, cuestión que se debía a la no existencia de IG de tipo 3D relativa a vías de comunicación. Además, las investigaciones existentes, por lo general, y salvo nuestros propios trabajos, sólo muestran ideas básicas, quedando pendiente el desarrollo de métodos de control que funcionen realmente en sistemas productivos, que sean implementables en el sector, que

incrementen la calidad de los productos y el nivel de conocimiento sobre los mismos.

Pero la situación actual es distinta, ya sí existe información 3D, tanto procedente de fuentes oficiales (p.e. Instituto Geográfico Nacional, Instituto Cartográfico de Cataluña, Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía, etc.) como de empresas. Por ello ahora es el momento de abordar el salto a la 3D en el control de elementos lineales, dándose tres circunstancias básicas que lo justifican: a) la información existe y se genera, b) hay demanda de uso inmediato de esa información en aplicaciones que requieren IG de calidad (p.e. utilización en navegación terrestre para vehículos no tripulados), y c) hay un déficit de conocimiento científico sobre la materia.

### 3. MÉTODOS

El objetivo de este proyecto es avanzar en la evaluación de calidad de la exactitud posicional de elementos lineales 3D, no como elementos evaluables por vértices aislados (como si de puntos se tratase) sino en su conjunto, como una geometría 3D. Para ello nos basaremos en la experiencia previa que disponemos para el caso 2D.

Este proyecto no se basa en la aplicación de un método único pues no se afronta un problema único. Básicamente los retos concretos que se plantean en este proyecto son los siguientes:

- Obtención de elementos lineales 3D precisos, de referencia o alta calidad posicional, que sirvan de control para los conjuntos de datos a estudiar.
- Obtención de una solución lineal 3D como media de dos pasadas precisas.
- Conocimiento estadístico del comportamiento lineal 3D de las poblaciones de pasadas de baja calidad posicional.
- Obtención de una solución lineal 3D como media de múltiples pasadas de baja calidad posicional (navegación).
- Emparejamiento entre elementos precisos, de referencia o control, con elementos de los conjuntos de datos a estudiar.
- Extensión a 3D de los métodos 2D de evaluación de la componente posicional de elementos lineales.
- Análisis de resultados frente a distintos escenarios (p.e. tamaños de muestra).

En este apartado se presentará de manera breve cómo se pretende abordar cada uno de los retos indicados anteriormente, lo cual se realiza por medio de una metodología específica. En el apartado 4 de este trabajo se presentará el plan de trabajo que es donde se encajan cada uno de estos métodos.

La obtención de elementos lineales 3D precisos se pretende abordar por métodos de levantamiento GNSS

(GPS + Glonass + RTCM) de alta frecuencia integradas con sistemas inerciales. Estas técnicas permiten obtener precisiones posicionales 3D de alta precisión con gran robustez (escaso número de satélites, multicamino, túneles, etc.).

La captura de los ejes de las carreteras no es sencilla pues no siempre es posible desplazarse por medio de la calzada. Por este motivo se ensayarán métodos de paso en doble sentido (ida y vuelta) con el objeto de interpolar el eje medio que servirá como elemento de control del resto de conjunto de datos.

Dado que en la actualidad se puede disponer de gran número de trazas de navegadores procedentes de ciudadanos (p.e. OpenStreetMap) y empresas (p.e. TomTom), nos planteamos si estas trazas, cada una de ellas poco precisas, pueden dar en su conjunto una traza promedio de calidad suficiente. Por ello el primer paso es realizar un análisis estadístico del comportamiento lineal 3D de las poblaciones de pasadas de baja calidad posicional.

Tras el conocimiento del comportamiento estadístico de las poblaciones de trazas de navegación se pretende obtener una solución promedio. En este caso se ensayará métodos iterativos de base estadística.

El emparejamiento entre elementos precisos, de referencia o control, con elementos de los conjuntos de datos a estudiar es una fase previa y crucial para el análisis posterior. En este caso, si bien según nuestra experiencia se deberá acometer una labor de edición considerable, dado que se trata de una investigación y de un conjunto limitado de datos, se pretende desarrollar un método manual. Un operario será el que decida el emparejamiento y el que realice las labores de edición al mismo tiempo.

La extensión a 3D de los métodos 2D de evaluación de la componente posicional de elementos lineales supone un paso importante en el nivel de complejidad de la programación y en la necesidad de recursos. Dado que se trata de una investigación en la que es suficiente con asegurar un flujo de trabajo eficaz y suficientemente cómodo pero en la que no se pretende desarrollar una herramienta, este reto se abordará por medio de programación sobre un conjunto de librerías 3D y programas (p.e. Autocad®) que soporten operaciones de orlado 3D sobre elementos lineales poligonales.

Finalmente, el método para abordar los análisis de resultados frente a distintos escenarios será la simulación. Con los conjuntos de datos (control y a controlar) debidamente estructurados, identificados, enriquecidos y almacenados en bases de datos se podrán realizar extracciones intencionales o aleatorias de las que, en cada iteración, se deriven resultados

parciales. Por medio del bootstrap se obtendrán resultados de significación estadística.

#### 4. PLAN DE TRABAJO

El desarrollo del plan de trabajo tiene su base en los retos y métodos que se han presentado en el apartado anterior, básicamente: la captura y preparación de datos los datos, la elaboración de herramientas para el flujo de datos y finalmente en el análisis comparado de los distintos comportamientos posicionales. El plan de trabajo se organiza en actividades, tal como se indica en la Figura 1. A continuación se describen dichas actividades.

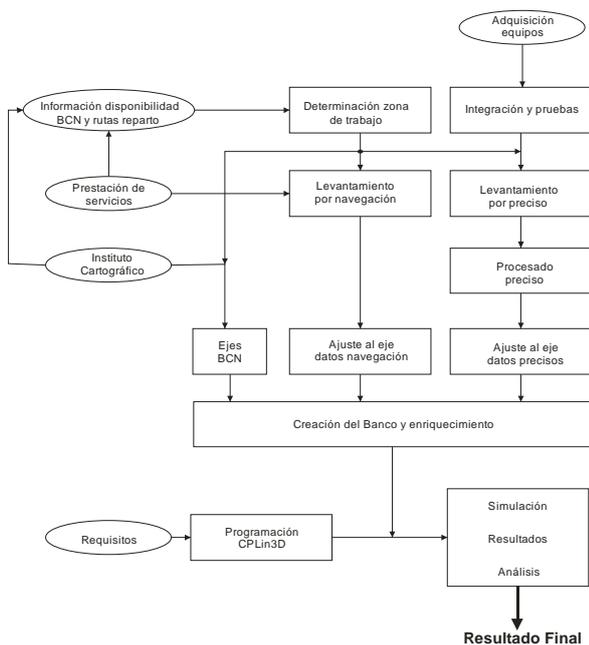


FIGURA 1.- PLAN DE TRABAJO

##### 4.1. Determinación de la zona de estudio y diseño de los muestreos

El objetivo es determinar una zona de trabajo suficientemente extensa y con la variabilidad adecuada para que se presenten el mayor número de situaciones reales tal que los resultados del proyecto sean suficientemente robustos y extrapolables. La zona queda condicionada por la disponibilidad de datos 3D. En esta línea se ha considerado la utilización de dos conjunto de datos oficiales para realizar el estudio. Estos productos son la BCN25 del Instituto Geográfico Nacional, que dispone de ejes de carreteras 3D, y el MBA10 del Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía. Se seleccionarán zonas en las que se disponga conjuntamente de ambos productos, por lo que esta zona se materializará en la Comunidad Autónoma de Andalucía.

La zona de trabajo deberá ser suficientemente amplia para asegurar un estudio que se enfrente a circunstancias diversas (p.e. topográficas: zonas llanas,

zonas en pendiente suave y abrupta, etc.) y de la propia geometría de las vías de comunicación (vías de un eje y de dos ejes, etc.), tales que permitan disponer de una casuística suficientemente amplia, y de datos suficientes para obtener resultados de carácter general, extrapolables, robustos y también fiables. Entre los criterios también será fundamental contar con estaciones permanentes de referencia GNSS que ofrezcan correcciones diferenciales.

##### 4.2. Integración de los equipos

El objetivo de esta fase es conseguir un funcionamiento adecuado del sistema GNSS+IMU que será utilizado como sistema de captura preciso, es decir, de la referencia o conjunto de datos utilizados como control o verdad terreno. En esta fase se integrarán las partes del sistema y se prepararán los arreglos necesarios para su instalación en un vehículo (preparación de soportes IMU, soportes para antenas GNSS, alimentación, etc.). Será necesaria una etapa de toma de contacto y familiarización con él probándolo en campo y ensayando diversas configuraciones. Se realizarán pruebas de laboratorio el manejo del software. En campo se comprobará el funcionamiento de los resultados del sistema frente a medidas puntuales de alta precisión, se realizarán ensayos bajo circunstancias diversas sobre las vías de comunicación, etc. Con todo ello se pretende conocer bien el instrumental (antes de pasar a la fase de captura y poder así realizar los ajustes necesarios en el equipo para que permitan un funcionamiento adecuado en el proceso de toma de datos en campo y también para que permitan su postprocesado.

##### 4.3. Toma de datos en campo

El objetivo de esta actividad es realizar un trabajo de campo de manera eficaz (con calidad) y eficiente (costes controlados). Durante esta actividad se procederá a la toma de los datos en campo en las zonas indicadas en los muestreos. Se pueden distinguir dos tareas con propósito distinto:

- Levantamiento preciso. Se utilizarán sistemas GNSS+IMU. El levantamiento preciso de las vías de comunicación de la zona de trabajo se realizará por los métodos adecuados al caso (por el eje, por ida y vuelta, etc.) y posibilidades. Para disponer de datos que recojan diferentes situaciones, y cubrir las posibles mermas en los procesamientos, se estima necesario realizar el levantamiento de unos 5000 km (ambos sentidos). Los resultados son lo que denominamos trazas-GPS.
- Levantamiento por navegación. Se utilizarán navegadores GPS convencionales. Se realizará en un subconjunto de las vías de comunicación, los cuáles se recorrerán un número de veces elevado. Como base de partida se tomarán 100 veces un conjunto de trayectorias. En este caso los desplazamientos se realizarán de una forma ordinaria y equivalente a la que cualquier vehículo. Los resultados son lo que denominamos trazas-NAV.

#### 4.4. Procesado preciso

Esta actividad tiene como objetivo disponer de unos datos posicionales precisos por medio de las técnicas más adecuadas para el procesado conjunto GNSS diferencial más IMU.

#### 4.5. Ajuste al eje de carretera de las trazas-gps

Esta actividad tiene como objetivo generar un eje preciso y único de carretera para los casos de levantamiento en ida y vuelta. Se aplicarán diversos métodos para referir los datos al eje de la vía de comunicación. Este aspecto es de importancia dado que las bases de datos geográficas de escalas medias suelen incluir estos elementos por sus ejes y, por otra parte, la captura en campo no podrá realizarse, por lo general, por el eje de la calzada. Para llevar a cabo el ajuste al eje se estudiarán alternativas diversas: promedios, desplazamientos, ajustes, etc., hasta conseguir un ajuste adecuado. Para ello se necesita una primera labor manual de emparejamiento de trazas-GPS correspondientes a una misma vía, trabajo que también se aprovechará para la revisión en detalle y la depuración y eliminación de posibles problemas aún presentes en los datos (p.e. multicaminos), si fuera el caso. Esta labor de emparejamiento crea una merma por lo que el diseño de la captura de datos en campo debe tener en cuenta estas pérdidas. Esta labor manual es lenta y repetitiva. Una vez emparejadas las dos trazas-GPS correspondientes a un mismo tramo de vía se utilizan para interpolar el eje medio de la carretera, que denominamos ejes-PRE (de precisos). Los ejes-PRE son lo que se utilizarán como base de referencia en las evaluaciones de la calidad de los elementos lineales.

#### 4.6. Ajuste al eje de carretera de las trazas-nav

Esta actividad tiene como objetivo generar un eje único de carretera (eje-NAV) a partir de las trazas-NAV tomadas por navegadores convencionales. Esta actividad se centra en la obtención de un eje medio a partir de la nube de puntos lineal que genera el disponer de un número elevado de trazas (100 trazas). En primer lugar se necesita una labor manual de eliminación de la información espuria que contengan los ficheros de datos correspondientes a las trazas-NAV. Esta labor creará una merma sobre la cual no tenemos conocimiento previo. Por ello en la captura de datos en campo se toma un tamaño de repetición de 100 veces con vistas a que, en el peor de los casos, se puedan disponer en torno a 50 elementos. Esta labor manual es lenta y repetitiva. Posteriormente, cuando se disponga de un conjunto de trazas-NAV limpias se procederá a un análisis estadístico de las poblaciones de datos para poder obtener un mayor conocimiento sobre sus características poblacionales por medio de técnicas estadísticas avanzadas. Posteriormente se ensayarán diversos métodos de ajuste (mínimo cuadráticos, splines, etc.) ayudados de las capacidades de programas del ámbito matemático (p.e. Matlab,

Mathematica) y del CAD (p.e. MicroStation, Autocad). Se realizará la programación necesaria para automatizar los procesos de cálculo y derivar una solución o soluciones de ajuste lo más precisas posibles y que denominamos ejes-NAV.

#### 4.7. Creación de un banco de datos y enriquecimiento

Esta actividad tiene dos objetivos: a) hacer interoperables los conjuntos de ejes disponibles para que puedan trabajar de manera conjunta, y b) enriquecer esos conjuntos de ejes para que puedan ser filtrados según diversos criterios en los procesos de simulación.

En este proyecto se propone usar los ejes-PRE para evaluar la calidad de un producto cartográfico convencional (p.e. BCN25 y MBA10) y los ejes-NAV derivados de múltiples trayectorias. Para ello es necesario que los conjuntos de datos posean elementos homólogos, es decir, emparejados dos a dos de manera unívoca. La automatización de esta tarea no da buenos resultados y por ello, tratándose de un proyecto de investigación en el que queremos eliminar el mayor número de factores extraños, esta actividad de edición se realizará de forma manual lo que permite una mayor calidad y confianza en el resultado, si bien es una tarea lenta y repetitiva. Esta actividad se realizará sobre los conjuntos: ejes-NAV frente a ejes-PRE, y ejes-BCN frente a ejes-PRE. El trabajo consiste en la edición de los elementos recortando y eliminando partes hasta dejar un conjunto de elementos homólogos 1:1. Su necesidad se debe a que la cartografía a utilizar puede estar desactualizada y no coincida exactamente con los ejes-PRE, y a las pérdidas de señal en las capturas GPS, problemas en las interpolaciones de ejes-PRE y de ejes-NAV, etc.

Una vez se dispongan de los conjunto de elementos homólogos se procederá a su enriquecimiento y clasificación. El objeto de este enriquecimiento es disponer de un banco de elementos (tramos) bien caracterizados (p.e. longitud, sinuosidad, pendiente, concavidad del entorno, etc.) tal que permitan un proceso de selección por criterios, y también para analizar la posible presencia de comportamientos diferentes según esas características registradas. Esta base de datos enriquecida será la que luego se utilice en la simulación y es la que denominamos banco. En este proceso de enriquecimiento se utilizarán herramientas GIS que habrá que programar para que permitan extraer las características espaciales que rodean los tramos (p.e. topografía circundante). La clasificación de sinuosidad se podrá realizar con una red neuronal ya desarrolladas por nuestro Grupo para el ámbito de la generalización de elementos lineales [GAR09]. A los resultados de este proceso los denominamos banco-PRE, banco-NAV y banco-BCN, y a cada uno de los elementos que conforman los bancos: tramo-PRE, tramo-NAV y tramo-BCN.

#### 4.8. Programación de la aplicación informática

El objetivo de esta actividad es desarrollar una herramienta informática *ad hoc* que permita la aplicación de los MCPxL de tipo 3D en un entorno de simulación estadística. Esta actividad se centra en el desarrollo del soporte informático que ha de permitir la aplicación de los MCPxL de carácter 3D sobre muestras aleatorias elegidas según ciertos criterios de entre el conjunto de elementos que conforman los bancos.

En la actualidad se dispone de una herramienta informática (CPLin) ([MOZ07-1] y [MOZ07-2]) con capacidad de aplicar MCPxL pero de carácter 2D. Esta herramienta es capaz de:

- Realizar un proceso de selección de tramos 2D homólogos (tramos-referencia y tramos-producto).
- Aplicar los siguientes MCPxL(2D): MDH, MDM, MOS, MOD.

El paso de la aplicación disponible, de carácter 2D, a otra con capacidades 3D no es banal y supone un alto grado de complejidad por el tipo de cálculos geométricos que se deben desarrollar para obtener de una manera eficiente los orlados 3D de los elementos lineales y sus intersecciones, cálculos todos ellos necesarios para aplicar métodos como el MOS, el MOD, la distancia de Hausdorff, etc. Los procesos de selección son simples en cuanto resultan de la aplicación de filtros sobre la base de datos (bancos). La inclusión del proceso de simulación también es directa en este caso.

#### 4.9. Simulación, análisis y estudio de resultados

Esta actividad tiene por objetivo obtener un conocimiento empírico sobre el comportamiento de MCPxL(3D). Se trata de una actividad que no es lineal, se aplicará en ciclos iterativos de tal manera que los resultados que se vayan obteniendo se utilicen como realimentación para el siguiente ciclo dentro de la propia actividad.

La simulación consistirá extraer según unos criterios dados (p.e. sinusidad) un subconjunto de elementos de los bancos de datos y en probar tamaños de muestras distintos (p.e. de 10 km a 200 km). Analizar los resultados con las herramientas estadísticas apropiadas y ver cómo se comportan los resultados obtenidos frente a los valores poblacionales, tomados éstos como referencia, y poder volver así a simular otras circunstancias que se consideren oportunas.

En esta actividad es inviable sin la herramienta CPLin(3D), que se aplicará sobre los bancos de datos procedentes. El desarrollo de simulaciones para generar distintas muestras de tramos, el análisis de sensibilidad sobre parámetros (p.e. distancias de orlados, etc.)

permitirá un estudio riguroso y sacar conclusiones sobre cómo afectan los factores considerados en el enriquecimiento sobre estos resultados. También nos ha de permitir orientar el desarrollo de una metodología que sea operativa y competitiva frente a los métodos basados en puntos actualmente al uso.

## 4. CONCLUSIONES

Se ha presentado el proyecto E3DELING cuyo objetivo es la evaluación de la calidad posicional 3D de elementos lineales de información geográfica.

Como antecedentes se ha presentado un amplio conjunto de trabajos centrados en este problema pero en su especificación 2D. Justamente, el mayor reto que se plantea el proyecto E3DEING es extender a la tercera dimensión la experiencia de trabajo que ya existe en 2D.

Para centrar el proyecto se han diseccionado los mayores retos que se deberán abordar y se han indicado los diversos métodos para superarlos. Igualmente, se ha presentado el plan de trabajo como esquema general donde se encajan ordenadamente los métodos de trabajo con vistas a la consecución del objetivo final.

Como resultado de este proyecto se derivará un conocimiento científico, hasta hoy no disponible, sobre el comportamiento de los elementos lineales 3D de información geográfica frente a su control posicional. Y se habrá avanzado conjuntamente tanto en aspectos de investigación básica como de investigación aplicada en el campo de los datos espaciales y de su calidad.

Los resultados concretos de la caracterización de la calidad posicional 3D de los conjuntos de datos que se utilicen para realizar las comprobaciones y depuración metodológica, serán de gran interés para los productores de esos datos y para el público y sector en general.

Esperamos que los resultados de este proyecto permitan plantear un método de control posicional 3D focalizado en elementos lineales que se materialice en una propuesta tecnológica, funcional, eficaz, eficiente y competitiva, presentada a modo de guía y recomendaciones que se pondrá al servicio de la sociedad.

Además del interés específico de este proyecto para el sector cartográfico, los elementos lineales tales como son las vías de comunicación terrestre (p.e. carreteras, autovías, autopistas, etc.) tienen un especial interés de cara al futuro entre otros en: a) el desarrollo de aplicaciones de optimización energética para vehículos híbridos y eléctricos, y b) el desarrollo de sistemas de navegación no tripulados sobre vías comunicación. En estas aplicaciones es fundamental disponer de una IG

con unas cualidades posicionales bien determinadas para lo que hacen falta métodos específicos que, hasta hoy en día, no se han formulado.

## 5. AGRADECIMIENTOS

Este proyecto está financiado por el Plan Nacional de Investigación con la referencia BIA2011-23271. Igualmente, agradecemos a la Junta de Andalucía la financiación económica del Grupo de Investigación Ingeniería Cartográfica (PAIDI-TEP-164) desde 1997 hasta la fecha.

## 6. REFERENCIAS

- [ABB95] Abbas, I.; Grussenmeyer, P.; Hottier, P. (1995). Contrôle de la planimétrie d'une base de données vectorielles: une nouvelle méthode basée sur la distance de Hausdorff: la méthode du contrôle linéaire, *Bul. S.F.P.T.*, N° 137, 1995-1.
- [AGE00] AGENT (2000). Report D C1. Selection of Basic measures.
- [ARI11] Ariza, F.J.; Mozas, A., Ureña, M., Alba, V., García, J., Rodríguez, J., Ruiz, J. (2011). Sample size influence on line-based positional assessment methods for road data. *International Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. Pendiente de aceptación.
- [ARI11] Ariza, F.J.; Mozas, A.T. (2011). Comparison of four line-based positional assessment methods by means of synthetic data. *Geoinformatica*. En revisión.
- [BLA83] Blakemore M. (1983). Generalisation and Error in Spatial Data Bases, *Cartographica*, 21-2/3, pp. 131-139.
- [CAS92] Caspary, W. (1992). Error Bands as measures of geometrical accuracy. In *EGIS'92*.
- [CUE72] Cuenin, R., *Cartographie Générale*, ed. Eyrolles, Paris (Francia), 1971.
- [GOG09] Dogru A. Duchêne C., Van de Weghe N. Mustière S. Ulugtekin N. (2009). Generalization approaches for car navigation systems. *ICA Conference*, Chile.
- [GAR09] García, J.L.; Ariza, F.J. (2009). Sinuosity pattern recognition of road features for segmentation purposes in cartographic generalization. *Pattern Recognition Vol 42(9)* 2150-2159
- [GIO94] Giordano, A; Veregin, H.; (1994). Il controllo di qualità nei sistemi informativi territoriali. Il Cardo editore, Venecia.
- [GOO97] Goodchild, M.F.; Hunter, G.J.(1997). A simple positional accuracy for linear features, *Int. Journal Geographical Information Science*, Vol. 11, N° 3, pp. 299-306.
- [HOT94] Hottier, P. (1994). *Contrôle linéaire*. IGN-F, París.
- [LEU98] Leung, Y. (1998). "A locational error model for spatial features". En *IJGIS*, vol. 12, n° 6.
- [MAC92] McMaster, R.B. & Shea, K.S. (1992) *Generalization in Digital Cartography*. Washington, DC: Association of American Geographers.
- [MOZ11] Mozas, A.; Ariza, F.J. (2011). Methodology for positional quality control in cartography using linear features. *The Cartographic Journal*. En revisión.
- [MOZ08] Mozas, A.T.; Ariza, F.J. (2008). Principales métodos de control posicional por elementos lineales. Comparación mediante su aplicación a líneas sintéticas. *GEOFOCUS*. *Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*. N° 8 pp: 187-204
- [MOZ07-1] Mozas, A.T.; Ureña, M.A.; Ariza, F.J.(2007). CPlin: una herramienta para el control posicional de la cartografía por elementos lineales. *MAPPING*, 116, pp: 81- 85.
- [MOZ07-2] Mozas, A.T.; Ureña, M.A.; Ariza, F.J.. (2007) Bases computacionales para el desarrollo de herramientas de control posicional de la cartografía por elementos lineales. *MAPPING*, 116, pp: 22-28.
- [RUI07] Ruiz, J.J.; Mozas, A.T.; Ariza, F.J., (2007). Muestreo, observación GPS y rendimientos obtenidos en la adquisición de vías de comunicación para el control de calidad posicional de la cartografía mediante elementos lineales. *Topografía Y Cartografía*, XXIV, N° 141, pp: 48-57.
- [RUI06] Ruiz, J.J.; Mozas, A.T.; Ariza, F.J.(2006). Metodología de adquisición GPS de elementos lineales para su uso en el control de la calidad posicional en cartografía. *Congreso internacional: XVIII International Congress of Graphics Engineering (Ingegraf)*.
- [SUN10] Sun, D.; Petovello M.; Cannon E., (2010). Use of a reduced IMU to aid a GPS receiver with adaptive tracking loops for land vehicle navigation". *GPS Solutions*. Volume 14, Number 4, 319-329.
- [SKI92] Skidmore, A.; Turner, B. (1992). "Map accuracy Assessment Using Line Intersect Sampling". En *PE&RS*, vol. 58, n° 10.
- [TVE99] Tveite, H.; Langaas, S. (1999) An accuracy assessment method for geographical line data sets based on buffering. *Int. Journal Geographical Information Science*, Vol. 13, N° 1, pp. 27-47.
- [VER00] Veregin, H.(2000). Quantifying positional error induced by line simplification, *Int. Journal Geographical Information Science*, Vol. 4, N° 2, pp. 113-130.

**Francisco Javier Ariza López:** Es Dr. Ing. Agrónomo, Catedrático de Universidad. Desarrolla su investigación en el campo de la calidad de los datos espaciales y en el de los Sistemas de Información Geográfica

**José Luis García Balboa:** Es Dr. Por la Universidad de Jaén, es Ing. Técnico en Topografía e Ing. en Geodesia y Cartografía. Desarrolla su investigación en el campo de la calidad y de la generalización de datos espaciales. Desarrolla su actividad docente en el campo de los métodos topográficos y de la producción cartográfica.

**Manuel Antonio Ureña Cámara:** Es Dr. Por la Universidad de Jaén, es Ing. Técnico en Topografía, Ing. en Informática e Ing. en Geodesia y Cartografía. Desarrolla su investigación en el campo de la calidad y de la generalización de datos espaciales.

**J.F. Reinoso Gordo:** Es Dr. Por la Universidad de Jaén. Es Ing. Técnico en Topografía e Ing. en Geodesia y Topografía. Desarrolla su investigación en el campo de la calidad y de la generalización de datos espaciales. Su labor docente se desarrolla en la escuela de CCCPP de la Universidad de Granada impartiendo las asignaturas de **Sistemas**