

# La evaluación de la exactitud posicional de la información geográfica según los estándares en uso

Oscar L. Miguel Castro\*

*Recibido el 14 de mayo de 2014; aceptado el 3 de julio de 2014*

## **Abstract**

There is a lot of documentation, regulations and standards related to the methodology for geographic information products positional accuracy assessment. Most of them have similar virtues and they suffer the same defects. This paper tries to provide an overview of the most used methodologies for positional accuracy assessment of mapping products.

Key words: *positional accuracy, error estimation, standards.*

## **Resumo**

Existe muita documentação, de normas e padrões dedicados a metodologia de avaliação da exatidão posicional dos produtos de informação geográfica. A maioria delas têm benefícios similares e, quase todos possuem os mesmos problemas. Neste documento, se pretende dar uma visão global dos métodos mais usados para estabelecer a exatidão posicional na cartografia.

Palavras chave: *exatidão posicional, estimação de erros, padrões.*

## **Resumen**

Existe mucha documentación, normativa y estándares dedicados a la metodología para evaluar la exactitud posicional de los productos de información geográfica. La mayoría de ellos tienen similares virtudes y casi todos adolecen de los mismos defectos. En este documento, se pretende dar una visión global de los métodos más usados para establecer la exactitud posicional de la cartografía.

Palabras clave: *exactitud posicional, estimación de errores, estándares.*

\* Alumno de Máster en Ingeniería Geodésica y Cartografía, Universidad Politécnica de Madrid, correo electrónico: ol.miguel@alumnos.upm.es

## Introducción

El control posicional de un mapa o de información geoespacial es un procedimiento de evaluación de la calidad que se realiza sobre un producto o proceso relacionado con el objeto de medir si el resultado del proceso o producto cumple con unos requisitos previos o especificaciones. Dichas especificaciones pueden ser propias de la generación del producto, o bien especificaciones y normas nacionales e internacionales que los organismos productores aplican para certificar sus productos. Una de las formas de definir la calidad es como “adecuación al uso” y, por tanto, pueden existir varios parámetros de calidad en función de las necesidades de los usuarios: exactitud absoluta o relativa, exactitud horizontal/vertical, etcétera (Ariza y Atkinson, 2006).

La exactitud posicional y la consistencia lógica son los elementos de calidad de los datos geográficos evaluados más frecuentemente por parte de los organismos productores, considerándose la exactitud posicional como un aspecto primordial de todo producto cartográfico puesto que esa variable afecta a la geometría, topología y a los aspectos temáticos de la información. Pero la posición también tiene una gran importancia en la integración o interoperabilidad entre sistemas de información geográfica (Ariza, 2009).

La exactitud posicional de los productos cartográficos es de una importancia capital en un mundo donde el acceso a las tecnologías de la información permite el acercamiento de los productos cartográficos al público. Anteriormente, cuando un usuario necesitaba emplear cartografía, simplemente adquiría un mapa en papel y lo empleaba, bien para orientarse en el campo, bien para realizar algún estudio zonal. Hoy en día todo está relacionado con la cartografía. Entramos en una página web para buscar una ferretería y de inmediato nos aparece un mapa con todo tipo de información sobre él. Incluso existen páginas donde son los propios usuarios, en general sin conocimientos técnicos específicos sobre esta ciencia y arte, los que confeccionan cartografía de manera colaborativa.

Así mismo, la generalización en el empleo de sistemas globales de navegación por satélite (GNSS), hace que los usuarios tengan acceso a información de posicionamiento con cierta exactitud, pudiendo comparar esos resultados con la cartografía existente. Ello hace necesario, cada vez más, que los organismos productores especifiquen la exactitud y precisión de los datos que proporcionan. Este documento presenta una visión general sobre los diversos métodos actuales de evaluación de exactitud posicional, así como aquellos que se están empleando en la producción de información geográfica.

## La exactitud posicional

La exactitud posicional mide cuantitativamente la diferencia entre el valor medido y el valor verdadero. Desde luego, el valor verdadero es siempre desconocido. Las

mediciones están sometidas a diversos errores, tanto de carácter sistemático como accidental, fruto de la metodología e instrumentación con que se realizaron las mediciones y el resto de procesos de un flujo de trabajo de producción de información geográfica. Las nuevas tecnologías de medición mediante técnicas GPS<sup>1</sup> y LIDAR<sup>2</sup> permiten obtener una alta exactitud en las mediciones, pero su empleo en la producción de cartografía no ha desbancado a los métodos más tradicionales, como la restitución fotogramétrica o digitalización sobre ortoimagen. Es inviable económicamente confeccionar un mapa sólo con base en mediciones de puntos en campo. Sin embargo, las técnicas geodésicas de medición GPS con corrección diferencial son extremadamente útiles para evaluar la exactitud posicional de los productos e información geográfica tomándolas, aunque no lo sean, como los valores reales, y comparándolas con la información o producto cartográfico procesado.

La exactitud posicional se determina mediante evaluaciones estadísticas de los errores sistemáticos y accidentales cometidos en la elaboración de los productos. Dichas evaluaciones estadísticas se basan en la obtención de medias y varianzas de los errores cometidos, tomando el error medio cuadrático. Hay que tener en cuenta siempre que todo producto manufacturado tiene errores; lo importante es establecer el uso que se va a dar a ese producto y la tolerancia que se puede permitir al utilizarlo de una manera o para un propósito específico.

### Los métodos de evaluación

Para evaluar algo es necesario especificar qué aspectos y cómo se van a evaluar.

Un primer aspecto importante es si se va a evaluar por separado la exactitud posicional planimétrica y altimétrica. Todos los estándares los evalúan por separado, con la lógica de atender las distintas demandas de exactitud en el producto.

El segundo aspecto es si la exactitud posicional en planimetría se evaluará de manera conjunta calculando un error circular, o por componentes separadas, calculando un error en  $X$  e  $Y$  por separado.

El tercer aspecto es la evaluación del conjunto de datos. En función de las características del flujo de producción, es fundamental el establecimiento de las condiciones en que la exactitud posicional calculada para ciertos elementos o unidades de proceso (hoja de una serie, celda...) pueden ser extensibles al resto. Dichas condiciones deben incluir igualdad de metodología e instrumentación, plazos temporales, técnicas de evaluación y unidad de evaluación.

El cuarto aspecto es la necesidad de establecer la cantidad de puntos a muestrear y el estudio de variabilidad posterior, aspectos puramente estadísticos, contra el aspecto de costes económicos y el tiempo empleado en este trabajo. Es quizás uno

<sup>1</sup> GPS, Global Positioning System: Sistema Global de Posicionamiento.

<sup>2</sup> LIDAR, Light Detection and Ranging: Detección y Medición Mediante Luz.

de los puntos críticos del proceso de evaluación de exactitud de un producto cartográfico.

El quinto aspecto a considerar es la distribución espacial de estos puntos muestreados, y si ésta distribución se realiza de acuerdo a las características del terreno. La distribución de las muestras es también un factor crítico que afecta al nivel de representatividad de la misma.

El sexto aspecto es la definición de los límites de exactitud. El estándar debería establecer el nivel de aceptación del producto especificando los límites de exactitud y la probabilidad de ocurrencia, independientemente de la escala del producto. En el mundo actual, con el empleo masivo de tecnologías de información geográfica y datos cartográficos en formato digital, no es asumible el antiguo concepto de ligar el nivel de aceptación a “x milímetros a escala y”.

El séptimo aspecto es el establecimiento del modelo estadístico, donde se debe hacer referencia a diversos aspectos como la precisión y exactitud de los puntos de control, los procedimientos de cálculo, los niveles de confianza y los contrastes de hipótesis.

En la Tabla 1 se puede apreciar de manera comparativa si los distintos estándares toman en cuenta estos aspectos en su metodología de evaluación.

### **Los test en detalle**

A continuación, se exponen los test más empleados para evaluar la exactitud posicional de los productos cartográficos. Puesto que sólo los test NSSDA, STANAG 2215 e ISO 19157 son de aplicación a modelos digitales de terreno, se incluye un método específico que no está reflejado en la Tabla 1 por ceñirse a la evaluación de la exactitud posicional de la componente vertical.

#### ***Test NMAS***

El test NMAS (National Map Accuracy Standard) fue el test empleado por el USGS<sup>3</sup> desde 1947 hasta su sustitución por el test NSSDA. Así mismo, este test ha sido empleado por numerosas instituciones y organismos oficiales productores de cartografía fuera de las fronteras norteamericanas (Ariza, 2009). Para las mediciones, utiliza muestras de puntos dobles extraídas de fuentes de mayor exactitud. El test analiza tanto la componente horizontal como la vertical, siendo analizada la componente vertical de forma separada. El resultado del test especifica si la cartografía cumple o no con el test.

<sup>3</sup> USGS, United States Geological Survey: Servicio Cartográfico y Geológico de Estados Unidos.

**Tabla 1**  
**Comparación del tratamiento de los diferentes aspectos según estándares y normas sobre control posicional**

As- pecto	Elemento	NMAS	EMAS	ASLMS <sup>4</sup>	MIL-STD 60001 <sup>5</sup>	NSSDA	STANAG 2215 <sup>6</sup>	MGCP <sup>7</sup>	ISO 19157
1	Control en planimetría	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
1	Control en altimetría	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
2	Errores circular/lineal	L	L	L	C	C	C	C	C
3	Indicador tipo de elemento a testear	Mapa	Área	Hoja	Área	Área	Área	Celda	—
3	Aplicación a elemento o flujo de producción	—	—	—	—	—	—	Sí	—
4	Uso de puntos de control	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
4	Tamaño de la muestra	20	20	20	—	20	167	400	máx. 200
4	Tipología de la muestra	—	—	—	—	—	Sí	—	Sí
4	Precisión de la muestra	—	3x	3x	—	3x	5x	15m 90%	—
5	Distribución de la muestra	—	—	Sí	—	Sí	Sí	Sí	Sí
5	Empleo de regiones para el muestreo	—	—	—	—	—	Sí	Sí	Sí
6	Escalas	Todas	>20k	>20k	Todas	Todas	<25k	50k-100k	Todas
6	Exactitud absoluta	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	25m	Sí
6	Exactitud relativa	—	—	—	Sí	—	Sí	—	Sí
7	Contraste de hipótesis	—	—	—	—	—	—	—	Sí
7	Asunción de normalidad en los errores	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	—	Sí
7	Tratamiento de "outliers"	Sí	Sí	Sí	—	Sí	Sí	—	Sí
7	Tratamiento de sesgos	—	Sí	—	Sí	—	Sí	—	Sí
7	Empleo de error medio cuadrático	—	—	Sí	—	Sí	—	Sí	Sí
7	Empleo de media y desviación típica	—	Sí	—	Sí	—	Sí	—	Sí
7	Resultado del test pasa/falla=1 clasificación=2, valor=3	1	1	2	3	3	3	1	3
7	Probabilidad de la estimación %	90	95	90	90	95	90	90	50; 68, ;3; 90; 95; 99.8%
7	Nivel de incertidumbre	—	—	—	—	—	Sí 10%	Sí 10%	Sí, 1%- 5%

<sup>4</sup> Accuracy Standard for Large Scale Maps: Estándar de Exactitud para Mapas de Gran Escala.

<sup>5</sup> DoD, Department of Defense, Ministerio de Defensa de Estados Unidos.

<sup>6</sup> STANAG (NATO), Standard Agreement: Acuerdo de Estandarización (OTAN).

<sup>7</sup> MGCP, Multinational Geospatial Co-production Program: Programa de Coproducción Geoespacial Multinacional.

Descripción: el test trata de comprobar si la información se encuentra dentro de los parámetros de error establecidos de antemano, diferenciando ambas componentes. Los errores se obtienen comparando coordenadas provenientes tanto del mapa como de una fuente de mayor exactitud en una muestra homogénea de puntos dobles.

Procedimiento:

- Seleccionar una muestra sobre el mapa de al menos 20 puntos de fácil determinación.
- Determinar las coordenadas de los puntos sobre el mapa y obtener las coordenadas de los mismos puntos sobre una fuente de mayor exactitud.
- Determinar si se ha alcanzado el estándar de exactitud horizontal predefinido. En el caso del USGS, el estándar marca un límite superior de 10% de puntos de la muestra con un error horizontal mayor de 1/30in (0.846mm) en cartografía a escala mayor de 1/20,000, o de 1/50in (0.508mm) en cartografía a escala menor de 1/20,000. El error viene definido como la diferencia entre la posición de los puntos en el mapa y en la fuente de mayor exactitud.
- Determinar si se ha alcanzado el estándar de exactitud vertical predefinido. El USGS marca un límite superior de 10% de los puntos de la muestra con un error vertical mayor que la mitad del intervalo de las curvas de nivel. El error vertical puede corregirse modificando la posición horizontal de los puntos en una cantidad igual al error horizontal aceptable.

La ventaja del test NMAS es su simplicidad: los resultados se expresan de la forma cumple o no cumple. Sin embargo, presenta muchas desventajas. La principal es la falta de indicación de la inexactitud presente en los datos, sólo se indica si cumple o no cumple el estándar. Por tanto, es difícil estimar el costo de obtener información geográfica de mayor exactitud. Otro problema del test es la sencillez del método de muestreo, ya que se introducen en las mediciones un grado de dependencia respecto al observador externo. Así mismo, el poder corregir el error vertical de un punto actuando sobre su componente horizontal hace alcanzable el límite en superficies de fuerte pendiente, sucediendo todo lo contrario en superficies poco onduladas (Ariza, 2009).

### ***Test EMAS/ASPRS***

El test EMAS (Engineering Map Accuracy Standard) proporciona una medida de exactitud para mapas topográficos de gran escala. Este estándar ha sido desarrollado por la ASPRS (American Society of Photogrammetry and Remote Sensing) junto con la American Society of Civil Engineers y el American Congress on Surveying and Mapping (Ariza y Atkinson, 2010). Para las mediciones, utiliza muestras de puntos

dobles extraídas de fuentes de mayor exactitud. El test analiza tanto la componente horizontal como la vertical, permitiendo realizar un estudio por separado de la componente X e Y, así como de la componente horizontal (XY) frente a la vertical (Z). El estándar permite definir los umbrales de error y el nivel de confianza y se basa en hipótesis sobre los límites aceptables para los errores aleatorios y sistemáticos.

Descripción: se obtienen estadísticos para analizar posibles errores sistemáticos y errores aleatorios. Se analizan por separado las componentes X, Y y Z de una muestra de al menos 20 puntos dobles perfectamente definidos. La posición de los puntos a estudiar se compara con su posición en fuentes de mayor exactitud.

Procedimiento:

- Seleccionar una muestra de 20 o más puntos dobles y medir coordenadas.
- Calcular el error para cada punto en su componente X, como diferencia entre el valor de la fuente y el medido en el mapa.
- Calcular el error medio para los  $n$  puntos que componen la muestra ( $\bar{e}_x$ ).
- Calcular la desviación típica en la componente X ( $S_x$ ).
- Calcular el test de cumplimiento / rechazo del estándar empleando los límites de error aceptables para los errores sistemáticos (desplazamientos constantes sobre el mapa). Para ello se emplea el estadístico:

$$t_x = \frac{\bar{e}_x \sqrt{n}}{S_x} \tag{1}$$

Si se verifica que  $|t_x| \leq t_{n-1, \alpha}$  el mapa cumple, siendo  $n-1$  los grados de libertad,  $\alpha$  el nivel de significación,  $t$  la medida teórica de la  $t$  de Student.

- Calcular el test de cumplimiento / rechazo del estándar empleando los límites de error aceptables para los errores aleatorios. Así, se determina el grado de variabilidad de los errores. Para ello se emplea el siguiente estadístico:

$$\chi_x^2 = \frac{S_x^2 (n-1)}{\sigma_x^2} \tag{2}$$

Siendo  $\sigma$  la desviación típica *a priori* para el mapa según:

**Tabla 2**  
**Límites test EMAS/ASPRS**

<i>Escala 1:</i>	50	100	200	500	1,000	2,000	4,000	5,000	10,000	20,000
$\sigma$ mapa (m)	0.125	0.025	0.05	0.125	0.25	0.5	1	1.25	2.5	5

Si se verifica que  $|\chi_x^2| \leq \chi_{n-1, \alpha}^2$ , el mapa cumple con el estándar de calidad posicional en X, donde:  $\alpha$  es el límite de error aceptable (varianza máxima) en la componente X,  $n-1$  los grados de libertad,  $\alpha$  el nivel de significación,  $\chi^2$  la medida teórica de la distribución Chi-Cuadrado.

- Calcular test análogos (para errores sistemáticos y accidentales) en las componentes Y y Z.
- La cartografía cumplirá con el EMAS si todas las componentes han pasado los dos test correspondientes.

El test EMAS/ASPRS presenta dos importantes diferencias con respecto al test NMAS. En EMAS las diferencias entre las localizaciones de los puntos sobre el mapa y sobre la fuente de referencia están expresadas en términos de distancias sobre el terreno, mientras que en NMAS la unidad de medida es la distancia sobre el mapa. Además, el límite de error aceptable puede ser definido por el usuario, esto tiene como consecuencia importante que los estándares de exactitud pueden definirse con base en las exigencias de aplicación que tiene el usuario de la cartografía (Ariza y Atkinson, 2010).

### ***Test del USGS de categorías de exactitud de modelos digitales del terreno (MDT)***

Test empleado por el USGS para definir la exactitud de sus modelos digitales del terreno (MDT). Para las mediciones, utiliza muestras de puntos dobles extraídas de fuentes de mayor exactitud para la evaluación de la componente vertical. Este test está basado en el empleo de umbrales para el error máximo y el error medio cuadrático (RMSE) mediante una cuantificación de los niveles de exactitud, de los cuales se obtiene la categoría de exactitud del MDT.

Procedimiento:

- Seleccionar una muestra de al menos 20 puntos del MDT obteniendo su componente Z sobre el modelo y sobre la fuente de mayor exactitud.
- Calcular el error en cada uno de los puntos de la muestra.
- Calcular el RMSE en la componente vertical:

$$RMSE_z = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n e_{zi}^2} \quad (3)$$

Donde  $n$  es el número de puntos de la muestra,  $e_{zi}$  es el error en la componente Z para el punto  $i$ .

- Establecer la categoría de exactitud para el MDT:

- Para los MDT del Nivel 1 el valor máximo del RMSE es igual a 15m y la muestra no debe contener puntos en los cuales el error vertical sea superior a 50m.
- Para los MDT de Nivel 2 el valor máximo del RMSE es igual a 7m y la muestra no debe contener puntos en los cuales el error vertical sea superior al doble del intervalo de las curvas de nivel de la fuente de mayor exactitud.
- Para los MDT de Nivel 3 el valor máximo del RMSE es igual a 7m y la muestra no debe contener puntos en los cuales el error vertical sea superior al intervalo de las curvas de nivel de la fuente de mayor exactitud.

Las categorías de exactitud de este test se definen tanto en términos de nivel total de error en el MDT (mediciones del valor del RMSE), como relativas a los puntos aislados. El test USGS de categorías de MDT es más preciso en cuanto a que en él los errores groseros, aparte de su influencia en el RMSE, contribuyen a determinar la categoría de exactitud de los productos (Atkinson *et al.*, 2001).

### **Test NSSDA**

Este test lo aplican las agencias federales de los Estados Unidos que producen información geográfica y que están obligadas a cumplir con los estándares del FGDC<sup>8</sup> (Ariza y Atkinson, 2006). Para las mediciones, utiliza muestras de puntos dobles extraídas de fuentes de mayor exactitud, analizando tanto la componente horizontal como la componente vertical (Z). No existe ninguna subdivisión entre la X y la Y, analizándolas de forma conjunta. Basado en el RMSE de la muestra, es el propio usuario quien establece sus umbrales de aceptación. Este test sustituye al NMAS y al ASPRS en los organismos productores norteamericanos.

Descripción: con la obtención del RMSE para la componente horizontal y vertical por separado, se calcula el error real de la muestra en función de un determinado nivel de confianza impuesto por el usuario, usualmente 95%. El test indica la calidad de la información geográfica en unidades reales sobre el terreno.

Procedimiento:

- Seleccionar y medir una muestra de al menos 20 puntos dobles perfectamente definidos sobre la cartografía y sobre la fuente de mayor exactitud.
- Detectar los errores previos groseros y de inconsistencia.
- Calcular el RMSE para las componentes X e Y según la Ecuación 3.
- Calcular el RMSE<sub>r</sub> para la componente planimétrica (XY) según la ecuación:

$$RMSE_r = \sqrt{RMSE_x^2 + RMSE_y^2} \quad (4)$$

<sup>8</sup> FGDC, Federal Geographic Data Committee: Comité Federal para los Datos Geográficos.

- Calcular el coeficiente de exactitud posicional a un 95% de confianza dependiendo de dos opciones:

- en caso de que  $RMSE_x = RMSE_y$ , empleando la ecuación:

$$Exactitud_r = 1,7308 \cdot RMSE_r \quad (5)$$

- en caso de que  $RMSE_x \neq RMSE_y$ , empleando la ecuación:

$$Exactitud_r = 1,22385 \cdot (RMSE_x + RMSE_y) \quad (6)$$

- Calcular el RMSEz para la componente Z de forma análoga a la Ecuación 3.
- Calcular el coeficiente de exactitud posicional a un 95% de confianza para la componente Z:

$$Exactitud_z = 1,96 \cdot RMSE_z \quad (7)$$

Éste es el test empleado por los organismos productores de carácter público en Estados Unidos para evaluar la información geográfica. El test muestra un índice de calidad de la cartografía en unidades reales sobre el terreno, correspondiendo al usuario el establecimiento de los márgenes de aceptación en función de sus necesidades. El dato de calidad del test deberá aparecer junto con la metainformación del mapa o metadatos de información geográfica digital (Ariza y Atkinson, 2006).

### **Test STANAG 2215**

El test STANAG 2215 es el método empleado para evaluar la calidad posicional de la cartografía y productos de información geográfica utilizados por los ejércitos de los países de la OTAN<sup>9</sup>. Para las mediciones, utiliza muestras de puntos dobles extraídas de fuentes de mayor exactitud, analizando tanto la componente horizontal como la vertical. No existe ninguna subdivisión entre la X y la Y, analizándolas de forma conjunta. La componente vertical es analizada de forma separada.

Descripción: el test estima la exactitud posicional de la información geográfica en con base en tres aspectos que estudia de forma independiente: exactitud absoluta respecto al sistema geodésico WGS-84 y modelo de geoide EGM96, exactitud horizontal y exactitud vertical.

Procedimiento:

<sup>9</sup> OTAN, Organización para el Tratado del Atlántico Norte (NATO).

- Seleccionar una muestra sobre el mapa de al menos 167 puntos de fácil determinación y bien distribuidos, procurando descartar los empleados como apoyo del vuelo fotogramétrico. Medir coordenadas de una fuente de mayor exactitud.
- Cálculo de la exactitud horizontal absoluta: determinada por el desplazamiento horizontal de los puntos con respecto a su valor medido, 90% de los residuos deberá encontrarse en una de las especificadas en la Tabla 3, obteniendo la clasificación correspondiente.

**Tabla 3**  
**Exactitud absoluta horizontal**

Clasificación	Medida a escala en el mapa	Escala de mapa				
		1:25,000	1:50,000	1:100,000	1:200,000	1:250,000
A	0	12.5m	25m	50m	100m	125m
B	0.5mm	25m	50m	50m	200m	250m
C	1mm	50m	100m	100m	400m	500m
D	2mm	Inferior a clasificación C				
E	>2mm	Sin determinar				

- Cálculo de la exactitud vertical absoluta: determinada por el desplazamiento vertical de los puntos con respecto a su cota ortométrica real, 90% de los residuos deberá encontrarse en una de las especificadas en la Tabla 4, obteniendo la clasificación correspondiente.

**Tabla 4**  
**Exactitud absoluta vertical**

Clasificación	Escala de mapa				
	1:25,000	1:50,000	1:100,000	1:200,000	1:250,000
0	2.5m	5m	10m	20m	25m
1	5m	10m	20m	40m	50m
2	10m	20m	40m	80m	100m
3	Inferior a clasificación 2				
4	Sin determinar				

- Establecimiento de la exactitud geométrica absoluta referida al sistema geodésico, con base en las calificaciones obtenidas anteriormente y según la Tabla 5.

**Tabla 5**  
**Exactitud absoluta**

Clasificación	Exactitud absoluta horizontal	Exactitud absoluta vertical
A	A	0
B	B	1
C	C	2
D	D	3
E	Producto no referido a WGS-84	

- Cálculo del error circular mediante:

$$EC = \sigma_{CM} = \sqrt{\frac{\sigma_x^2 + \sigma_y^2}{2}} = \sqrt{\frac{1}{2} \left( \frac{\sum (\delta X_i - \overline{\delta X})^2 + \sum (\delta Y_i - \overline{\delta Y})^2}{n-1} \right)} \tag{8}$$

Donde  $\delta X_i, \delta Y_i$  son las diferencias entre coordenadas medidas en mapa y coordenadas de fuente de mayor exactitud para cada punto,  $\overline{\delta X}, \overline{\delta Y}$  son medias de los residuos,  $n$  es el número de puntos de la muestra.

- Si no existen errores significativos en la fuente de referencia, el error circular se asume igual a la desviación típica circular de los errores en la muestra  $\sigma_{CM} = \sigma_C$ .
- Asumiendo la distribución normal de los errores, la adopción de la desviación típica circular como error circular supone un grado de confianza de 39.35%.
- Si existen errores significativos en la fuente de referencia, y ésta no es independiente del producto a evaluar, la desviación típica vendrá por:

$$\sigma_C = \sqrt{\sigma_{C_{MAPA}}^2 + \sigma_{C_{REF.}}^2} \tag{9}$$

Donde  $\sigma_{C_{MAPA}}$  es la desviación típica de los residuos entre puntos dobles en el mapa y en la referencia,  $\sigma_{C_{REF.}}$  es la desviación típica de los errores en la fuente de referencia.

- Si la fuente de referencia es independiente del producto a evaluar, la desviación típica vendrá por:

$$\sigma_C = \sqrt{\sigma_{C_{MAPA}}^2 - \sigma_{C_{REF.}}^2} \tag{10}$$

- Si no existen errores sistemáticos en la muestra, se calcula el error planimétrico como Circular Map Accuracy Standard CMAS (90%) según:

$$CMAS = 2.146 \cdot \sigma_c \quad (11)$$

- Si por el contrario, existen errores sistemáticos, se debe tener en cuenta el sesgo de los mismos, empleando:

$$CMAS = \sigma_c \left( 1.2943 + \sqrt{\left( \frac{d}{\sigma_c} \right)^2 + 0.7254} \right) \quad (12)$$

Siendo el sesgo:

$$d = \sqrt{(\overline{\delta X})^2 + (\overline{\delta Y})^2} \quad (13)$$

Según AENOR<sup>10</sup> (2008) el STANAG 2215 es posiblemente el estándar más completo para evaluar la exactitud posicional de un producto cartográfico. Además, numerosos estudios avalan que, para limitar la variabilidad de las estimaciones en los test y obtener una mayor estabilidad asegurando los niveles de confianza, son necesarias muestras de entre 100 y 200 puntos (Ariza y Atkinson, 2008; para NSSDA; Ariza y Atkinson, 2010; para ASPRS; Aguilar *et al.*, 2008; para MDT's).

## Conclusiones

Los estándares presentan una disparidad en la precisión y distribución de los puntos de control, no especificándolo varios de ellos. Sin embargo, no la presentan en el tamaño de la muestra, 20 puntos de control que, según varios estudios publicados, no son suficientes para asegurar el nivel de confianza especificado en cada caso. Lo mismo ocurre con los requerimientos de las muestras. En varios estándares no se indica ningún test que elimine los errores sistemáticos y sesgos, aunque suponen que se han eliminado previamente. El tratamiento de los *outliers* se resume a su eliminación, no tomándolos en cuenta en los cálculos. Tampoco se especifican pruebas de normalidad de los residuos en los puntos muestreados, asumiendo que se distribuyen de forma aleatoria siguiendo una distribución normal. Esto es de gran importancia debido a que las técnicas estadísticas empleadas en el cálculo de los errores y sus estadísticos, todos ellos estimaciones con base en muestras y empleo del método de mínimos cuadrados ordinario, requiere que la distribución de los resi-

<sup>10</sup> AENOR, Agencia Española de Normalización.

duos siga una distribución normal, mientras que la mayoría de las veces, los errores posicionales de datos de mayor exactitud como GPS, LIDAR o vectores restituidos TIGER no siguen esa distribución (Zandbergen, 2008). Relacionado con ello se encuentra la profusión de empleo del estadístico RMSE, el cual no es un estimador robusto para distribuciones no normales.

Así mismo, la documentación de muchos de estos estándares no indica las interpretaciones estadísticas, contrastes de hipótesis y resto de información necesaria para dar un significado a las estimaciones realizadas. Eso puede dar lugar a interpretaciones incorrectas de los resultados por desconocimiento de los procesos subyacentes que los originan, y consecuencia de ello, a un mal empleo de los datos cartográficos.

## Bibliografía

- Aguilar, F.J.; Agüera, F.; Aguilar, M.A. y F. Carvajal (2008). “Modelling the Effect of the Number of Check Points in the Accuracy Assessment of Digital Elevation Models”, Universidad de Almería, Almería, España, <<http://www.cartesia.org/geodoc/icc2005/pdf/oral/TEMA7/Session%202/FERNANDO%20J.%20AGUILAR%20TORRES.pdf>>.
- Ariza López, F.J. (2009). “Interoperabilidad posicional: elementos clave para infraestructuras de datos espaciales”, *Revista de Análisis Geográficos*, núm. 41, Universidad de Jaén, Jaén, España <[http://coello.ujaen.es/asignaturas/pcartografica/recursos/interoperabilidad\\_posicional\\_def.pdf](http://coello.ujaen.es/asignaturas/pcartografica/recursos/interoperabilidad_posicional_def.pdf)>.
- Ariza López, F.J. y A.D. Atkinson Gordo (2006). “Metodologías de control posicional. Visión general y análisis crítico. Informe al CT-148 de AENOR”, Grupo de Investigación en Ingeniería Cartográfica, Universidad de Jaén, Jaén, España, <[http://coello.ujaen.es/investigacion/web\\_giic/SubWeb\\_Giic\\_PNCPos/Ficheros\\_WebPNCpos/INFORME\\_AENOR\\_MCP\\_VisionGenral\\_ACritico.pdf](http://coello.ujaen.es/investigacion/web_giic/SubWeb_Giic_PNCPos/Ficheros_WebPNCpos/INFORME_AENOR_MCP_VisionGenral_ACritico.pdf)>.
- (2006). “Sample Size and Confidence when Applying the NSSDA”, Grupo de Investigación en Ingeniería Cartográfica, Universidad de Jaén, Jaén, España, <<http://www.cartesia.org/geodoc/icc2005/pdf/poster/TEMA7/FRANCISCO%20JAVIER%20ARIZA%20L%20D3PEZ.pdf>>.
- (2008). “Analysis of some Positional Accuracy Assessment Methodologies”, *Journal of Surveying Engineering*, American Society of Civil Engineers, Reston, Virginia, USA, may, 2008, pp. 45-54, <[http://coello.ujaen.es/Asignaturas/pcartografica/Recursos/Ariza\\_Atkinson\\_2008\\_JSE\\_Assessment\\_Methodologies.pdf](http://coello.ujaen.es/Asignaturas/pcartografica/Recursos/Ariza_Atkinson_2008_JSE_Assessment_Methodologies.pdf)>.
- (2008). “Variability of NSSDA Estimations”, *Journal of Surveying Engineering*, Reston, Virginia, USA, may, 2008, pp. 39-44, <[http://coello.ujaen.es/Asignaturas/pcartografica/Recursos/Ariza\\_Atkinson\\_2008\\_JSE\\_NSSDA.pdf?KEY=JSUED2&Volume=134&Issue=2](http://coello.ujaen.es/Asignaturas/pcartografica/Recursos/Ariza_Atkinson_2008_JSE_NSSDA.pdf?KEY=JSUED2&Volume=134&Issue=2)>.

- Ariza López, F.J.; Atkinson Gordo, A.D.; García Balboa, J.L. y J. Rodríguez Avi (2010). "Analysis of User and Producer Risk when Applying the ASPRS Standards for Large Scale Maps", *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Bethesda, Maryland, USA, vol. 76, núm. 5, pp. 625-632.
- Ariza López, F.J.; García Balboa, J.L.; Atkinson Gordo, A.; Domínguez, J.A. y W. Lorenzo (2008). "Seminario sobre metodologías de control posicional", AENOR CTN 148, Madrid, España, <[http://coello.ujaen.es/investigacion/web\\_giic/SubWeb\\_Giic\\_PNCPos/Ficheros\\_WebPNCpos/Madrid\\_2008\\_Seminario\\_ControlPosicional\\_Todo\\_v2.pdf](http://coello.ujaen.es/investigacion/web_giic/SubWeb_Giic_PNCPos/Ficheros_WebPNCpos/Madrid_2008_Seminario_ControlPosicional_Todo_v2.pdf)>.
- Ariza López, F.J. y A.F. Rodríguez Pascual (2008). "Introducción a la normalización en información geográfica. La Familia ISO 19100", Universidad de Jaén, Jaén, España, <[http://coello.ujaen.es/Asignaturas/pcartografica/Recursos/IntroduccionNormalizacion\\_IG\\_FamiliaISO\\_19100\\_rev1.pdf](http://coello.ujaen.es/Asignaturas/pcartografica/Recursos/IntroduccionNormalizacion_IG_FamiliaISO_19100_rev1.pdf)>.
- Atkinson Gordo A.D.; García Balboa, J.L. y F.J. Ariza López (2001). "Los diferentes test para el control de calidad posicional en cartografía", Departamento de Expresión Gráfica, Universidad de Extremadura, Badajoz, España.
- Department of Defense, Gobierno de Estados Unidos (1990). *MIL-STD-600001 Mapping, Charting and Geodesy Accuracy*, Washington D.C., USA.
- International Organization for Standardization. *ISO 19157:2013. Geographic information - Data quality*, Ginebra, Suiza.
- ISO TC 2011 (2009). *Standards Guide*, International Organization for Standardization. Ginebra, Suiza.
- Martín Betancort, M.; Morant de Diego, T.; Quiñero Paredes, R. y M. Rivero González (2003). "Evaluación de la calidad posicional absoluta de una cartografía para su utilización en un SIG: la perspectiva del usuario", Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, Las Palmas de Gran Canaria, España.
- , (2003). "Evaluación de la calidad posicional absoluta de una cartografía para su utilización en un SIG: la perspectiva del usuario", Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, España.
- Minnesota Planning Land Management Information Centre (1999). *Positional Accuracy Handbook*, Minnesota Governor's Council on Geographic Information, St. Paul, Minnesota, USA, <[www.lmic.state.mn.us](http://www.lmic.state.mn.us)>.
- Moreno Brotóns, J.; Alonso Sarría, F.; Gomariz Castillo, F. y D. Alonso Bernardo, (2010). *Análisis y validación de modelos digitales de elevaciones mediante datos LIDAR*, Tecnologías de la Información Geográfica. La Información Geográfica al servicio de los ciudadanos, Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla, Sevilla, España. pp. 254-271, <[http://age-tig.es/2010\\_Sevilla/ponencia1/MORENO\\_BROTONS.pdf](http://age-tig.es/2010_Sevilla/ponencia1/MORENO_BROTONS.pdf)>.
- Multinational Geospatial Co-production Program (2006). *MGCP Imagery Benchmarking Process (IBP)*.

- (2009). *MGCP Quality Assurance Cookbook TRD3 v3.0*.
- (2009). *MGCP Data Review Guidelines Supporting the Assessment of Quality Data*.
- NATO, North Atlantic Treaty Organization, Standardization Agency (2010). *STANAG 2215 Ed 7 Evaluation of land maps, aeronautical charts and digital topographic data*, Bruselas, Bélgica.
- Robledo Ceballos, J. (2005). Aplicación de las Normas ISO en la producción cartográfica, tesis ingeniero en Ejecución de Geomensura, Universidad de Santiago de Chile, Santiago de Chile.
- Ruano, M.E. (2008). “Control de la exactitud posicional en cartografía. Primer borrador”.
- Virrantaus, K. (2005). *Quality elements for cartographic data products*, Universidad Tecnológica de Helsinki, Helsinki, Finlandia, <<http://www.cartesia.org/geodoc/icc2005/pdf/oral/TEMA6/Session%203/KIRSI%20VIRRANTAUUS.pdf>>.
- Zandbergen, P. (2008). “Positional Accuracy of Spatial Data: Non-Normal Distributions and a Critique of the National Standard for Spatial Data Accuracy”, *Transactions in GIS*, vol. 12, núm. 1, Blackwell Publishing Ltd., Hoboken, New Jersey, USA, pp. 103-130, <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1467-9671.2008.01088.x/abstract>>.