

Instituto Panamericano de Geografía e Historia



GUÍA PARA LA EVALUACIÓN DE LA EXACTITUD POSICIONAL DE DATOS ESPACIALES

2019

Pub. 557



Guía para la evaluación de la exactitud posicional de datos espaciales por [Instituto Panamericano de Geografía e Historia](http://www.ipgh.org/)
se distribuye bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).
Permisos más allá del alcance de esta licencia pueden estar disponibles en <http://ipgh.org/>.

INSTITUTO PANAMERICANO DE GEOGRAFÍA E HISTORIA

2017-2021

PRESIDENTE

D. Israel Sánchez Moreno
Panamá

VICEPRESIDENTA

Dña. Alejandra Coll Escanilla
Chile

SECRETARIO GENERAL

D. César Fernando Rodríguez Tomeo
Uruguay

COMISIÓN DE CARTOGRAFÍA

Costa Rica
Presidente:
D. Max Alberto Lobo Hernández

COMISIÓN DE GEOGRAFÍA

Estados Unidos de América
Presidenta:
Dña Patricia Solís

COMISIÓN DE HISTORIA

México
Presidente:
Dña. Patricia Galeana Herrera

COMISIÓN DE GEOFÍSICA

Ecuador
Presidente:
D. Mario Calixto Ruíz Romero

Instituto Panamericano de Geografía e Historia



**GUÍA PARA LA EVALUACIÓN DE LA
EXACTITUD POSICIONAL DE DATOS
ESPACIALES**

2019

Pub. 557

Serie de documentos especializados

Este documento es resultado del Proyecto de Asistencia Técnica "Propuesta de adopción de metodologías y procedimientos para la evaluación de la calidad de la información geográfica para los Estados miembros del Instituto Panamericano de Geografía e Historia", financiado por el programa de Proyectos Panamericanos de Asistencia Técnica (PAT) del año 2018, perteneciente a la Agenda 2010-2020 del IPGH.

Este Proyecto se inició bajo la dirección de D. Edison Rojas y, posteriormente, de Dña. Rosario Casanova, ambos del Instituto de Agrimensura de la Universidad Nacional de la República (Uruguay)

Este Proyecto fue presentado por la sección nacional de Uruguay y ha contado con la participación de los siguientes países: Argentina, Brasil, Chile, Ecuador, Méjico y España.

Las opiniones expresadas en la presente publicación, así como el contenido en notas, información y reseñas son de exclusiva responsabilidad de sus autores.

Edita: Instituto Panamericano de Geografía e Historia - Secretaría General

Este libro se publica bajo una licencia: [Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional](#)



© de esta edición: Instituto Panamericano de Geografía e Historia

Autores: Francisco Javier Ariza-López, José Luis García-Balboa, José Rodríguez-Avi, Joselyn Robledo Ceballos

Editor y coordinador: Francisco Javier Ariza López

Para referir este documento usar lo siguiente:

Ariza-López F.J., García-Balboa, J.L., Rodríguez-Avi, J., Robledo J., (2018). Guía general para la evaluación de la exactitud posicional de datos espaciales. Proyecto: Propuesta de adopción de metodologías y procedimientos empleados para la evaluación de la calidad de la información geográfica para los Estados Miembros del IPGH (Proyectos Panamericanos de Asistencia Técnica –2018 "Agenda del IPGH 2010-2020"). Montevideo.

Para enviar sugerencias, comentarios e informar de erratas escribir a: fjariza@ujaen.es

Instituto Panamericano de Geografía e Historia
Secretaría General
Apartado Postal 18879
11870 Ciudad de México, México
Teléfonos: (52-55)5277-5791 / 5277-5888 / 5515-1910 Fax: (52-55)5271-6172
Correo electrónico: info@ipgh.org / publicaciones@ipgh.org

Contenido

Presentación	3
Introducción	4
Objetivo	6
Alcance	6
Conformidad	7
Referencias normativas	7
Términos y definiciones	7
Abreviaturas	10
Calidad de datos espaciales basada en normas ISO del TC/211	10
La norma ISO 19157 aplicada a la evaluación de exactitud posicional	12
Exactitud y error posicional	17
Estándares de exactitud posicional	20
NMAS	21
EMAS	23
NSSDA.....	25
Método general para la evaluación de exactitud posicional	27
Aspectos relativos a la ejecución	29
Datos de referencia para la evaluación	29
Exactitud de los trabajos de control	29
Cantidad y distribución de los puntos de evaluación	30
Identificación y observación de los puntos de evaluación en campo.....	33
Identificación y observación de elevaciones en campo.....	35
Identificación y observación de puntos de evaluación en imágenes	36
Aspectos estadísticos	37
Metacalidad de la evaluación de la exactitud posicional	38
Informe de la evaluación	40
Preguntas y respuestas frecuentes	42
Referencias	44
In memoriam	46
Agradecimientos	46

Anexo 1. EJEMPLO DE INFORME EVALUACIÓN DE EXACTITUD POSICIONAL PLANIMÉTRICA DE UNA ORTOFOTOGRAFÍA..... 47

1. INFORMACIÓN DEL PRODUCTO DE DATOS A EVALUAR 48

2. ASPECTOS GENERALES DE LA EVALUACIÓN..... 48

3. FUENTE DE MAYOR EXACTITUD Y LISTA DE COORDENADAS 50

4. COMPROBACIÓN DE HIPÓTESIS ESTADÍSTICAS DE LOS ERRORES..... 52

5. RESULTADOS 54

6. METACALIDAD DE LOS RESULTADOS Y PROCESOS..... 58

7. FECHA Y FIRMA DEL RESPONSABLE..... 58

ADENDA: COMENTARIOS SOBRE LA EVALUACIÓN 59

PRESENTACIÓN

El **Proyecto**¹ «Propuesta de adopción de metodologías y procedimientos para la evaluación de la calidad de la información geográfica para los Estados miembros del Instituto Panamericano de Geografía e Historia», financiado por el programa de Proyectos Panamericanos de Asistencia Técnica (PAT) del año 2018, perteneciente a la Agenda 2010-2020 del IPGH, tiene como objetivo general definir y proponer un conjunto de metodologías, procedimientos y normas que puedan ser adoptadas por las instituciones oficiales productoras de cartografía para evaluar la calidad de la Información Geográfica, consiguiendo así homogenizar y estandarizar este importante aspecto de la producción cartográfica dentro de la región. Objetivos Específicos de este **Proyecto** son:

1. Conformar y afianzar una red multidisciplinaria de profesionales para la generación de conocimiento relacionado con la calidad de la IG.
2. Propender y establecer pautas, funcionamiento y objetivos, para la creación de un grupo de Calidad de la Información Geográfica, que pueda incorporarse a la estructura del IPGH, en su capítulo de Cartografía.
3. Generar nuevas herramientas y conocimiento en lo que a la evaluación de la calidad de la Información Geográfica se refiere, así como generar un Modelo de Madurez relativo a la evaluación de la calidad de la Información Geográfica.
4. Proponer e incentivar el intercambio y transferencia de conocimientos relativos a la calidad de la Información Geográfica entre los distintos países participantes.

En línea con estos objetivos, se consideró oportuno ofrecer al sector una guía para la evaluación de la exactitud posicional por ser esta una componente crítica de los datos espaciales² oficiales. Se trata de la componente definitoria de los datos espaciales y, aunque existe una gran cantidad de referencias, también es cierto que siguen existiendo lagunas, especialmente en su aplicación. Además, desde una perspectiva regional panamericana, existen grandes diferencias entre países, por lo que esta guía también pudiera ser un elemento para conseguir una mayor estandarización³ en los procesos.

¹ Este proyecto fue presentado por la sección nacional de Uruguay y cuenta con la participación de los siguientes países: Argentina, Brasil, Chile, Ecuador, Méjico y España.

² En este documento se consideran sinónimos los términos datos espaciales, datos geoespaciales, datos geográficos e información geográfica.

³ En este documento se utilizan los términos estandarización y estandarizado para referir a la actividad y resultado de normalizar dentro de una organización, por contraposición a los términos normalización y normalizado que se consideran propio de las actividades y resultados de una agencia de normalización con competencia territorial (p.ej. nacional, regional o internacional).

INTRODUCCIÓN

Desde siempre, la exactitud posicional ha sido considerada como un aspecto definitorio y primordial de la calidad de todo producto cartográfico (Ariza-López 2002), dado que afecta a factores como la geometría, topología, calidad temática y que está directamente relacionada con la interoperabilidad de los datos espaciales.

Dada la masificación del uso de la información geoespacial y las necesidades de interoperabilidad que exigen las diferentes aplicaciones geomáticas e Infraestructuras de Datos Espaciales (IDE), es fundamental asegurar la calidad de la información, pues es la única forma de garantizar soluciones fiables a la hora de tomar decisiones.

La calidad de los productos de datos espaciales se ha de definir en sus especificaciones (p.ej. utilizando ISO 19131⁴ (ISO 2007)). Los procesos de producción deben estar diseñados y gestionados adecuadamente para que la calidad diseñada esté asegurada en la producción y así, alcanzada en el producto. Para verificar que lo anterior se consigue, se aplican evaluaciones de la calidad, que deben basarse en métodos estandarizados y bien definidos. Los resultados de las evaluaciones deben ser utilizados por los productores para conocer, mejorar y manejar sus procesos de producción. Estos resultados también deben ser publicados en forma de metadatos para que los usuarios tengan conocimiento de la calidad real de los productos que desean utilizar. Este es el marco general de la calidad, por lo que es muy amplio y este documento sólo aborda una de las fases indicadas, la de evaluación de la calidad, además focalizada sobre la componente posicional, es decir, la evaluación de la exactitud posicional.

Los métodos de evaluación de la exactitud posicional son procesos estandarizados que permiten, o bien estimar la calidad, o controlarla. La estimación consiste en determinar un valor fiable de la propiedad de interés en el producto de datos, mientras que el control de calidad consiste en tomar una decisión de si la propiedad de interés en ese producto de datos alcanza, o no, un nivel determinado.

Los métodos de evaluación de la exactitud posicional (MEEP) también han evolucionado con el tiempo, desde el sencillo estándar NMAS (*National Map Accuracy Standard*) (USBB 1947), hasta el más reciente, complejo y sofisticado ASPRS *Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data* (ASPRS 2015). Asimismo, las nuevas tecnologías de captura, como son los sistemas GNSS (*Global Navigation Satellite Systems*), permiten la observación de coordenadas absolutas en campo con altos niveles de exactitud, lo que aumenta la confianza en la evaluación realizada.

Las fuentes de incertidumbre provenientes de las diferentes etapas del proceso productivo son múltiples, variadas y dependientes del propio proceso (p.ej. captura de imágenes, proceso geodésico, proceso de orientación, restitución, captura y estandarización de bases de datos, etc.). Dado este complejo escenario es imposible garantizar la perfección del producto, en nuestro caso: la ausencia de errores posicionales. Lo importante es controlar que la incertidumbre al final del proceso productivo, y que se cumpla con las normas internacionales, sus parámetros y tolerancias para cada escala (resolución).

Existe un trabajo preliminar que permitió obtener un diagnóstico de los MEEP aplicados en los países miembros del IPGH a través del Proyecto «Diagnóstico de la situación actual sobre las metodologías y

⁴ En este documento las normas se referirán utilizando este formato, de tal manera que el año al que corresponde se indica en su entrada correspondiente en el apartado de referencias.

procedimientos empleados para la evaluación de la calidad de la Información Geográfica», financiado en la convocatoria de PAT del año 2016. Este trabajo está publicado en la revista Cartográfica nº 94 correspondiente al año 2017 (Ariza-López y col. 2017) y en él se identificaron los MEEP que se están aplicando (Tabla 1), se analizó la situación actual y se valoró el grado de madurez en este aspecto. Con respecto a los MEEP utilizados se indica: «La mayoría de los casos analizados tienen como base de la evaluación posicional métodos procedentes de los EE.UU. Estos métodos son el NMAS y el NSSDA. La especificación del IPGH (1978) también se menciona en algunos países. De modo general, se aprecia un claro interés por mantenerse actualizados y mejorar los procesos de evaluación de la componente posicional, lo que lleva a adoptar los cambios que van surgiendo fuera de sus fronteras». Y con respecto a la aplicación de estos MEEP se concluye: «...el principal problema que se detecta es el que se ha denominado «informalidad», es decir, la situación en la que no se dispone de una norma nacional publicada o una referencia explícita a la adopción de un método concreto (p.ej. IPGH, NMAS, NSSDA, etc.)».

Tabla 1. Uso de Estándares Identificados

País	Norma	Referencia
Argentina (Provincia de Santa Fe)	Sí	UNL&SCIT (2004). Norma cartográfica de la Provincia de Santa Fe.
Brasil	Sí	ET-CQDG (2016): Norma da especificação técnica para controle de qualidade de dados geoespaciais (ET-CQDG).
		Decreto Nº 89.817, DE 20 DE JUNHO DE 1984. Estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional.
Chile	No	Informantes. Se aplican: NSSDA, ASPRS, EMAS
Colombia	Sí	NTC 5205 - Precisión de datos espaciales
		ASPRS (2015). ASPRS Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data
		IPGH (1978). Especificaciones para mapas topográficos. Panamá: Instituto Panamericano de Geografía e Historia – IPGH, Panamá, 1978.
Ecuador	No	Informantes. Se aplica NSSDA.
España	Sí	UNE 148002:2016. Metodología de evaluación de la exactitud posicional de la información geográfica
México	Sí	INEGI. Norma técnica sobre estándares de exactitud posicional
		INEGI. Compendio de criterios y especificaciones técnicas para la generación de datos e informaciones de carácter fundamental. 07 geodesia- 07.2 Estándares de Exactitud Posicional
Perú	No	Instituto Geográfico Nacional normas técnicas “especificaciones técnicas para la producción de mapas topográficos a escala de 1:100,000”
Puerto Rico	Si	Estándar TIG-005-004: Exactitud posicional de los datos. Oficina de Gerencia y Presupuesto
Uruguay	No	Informantes
EE.UU.	Sí	NMAS (USBB 1947)
		NSSDA (FGDC 1998)
		ASPRS (2015).
Venezuela	No	IGVSB (2012). Especificaciones técnicas para la revisión de cartografía básica a escala 1:1000. Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar

Fuente: Diagnóstico de la situación actual sobre las metodologías y procedimientos empleados para la evaluación de la calidad de la Información Geográfica. (Ariza-López y col. 2017).

Finalmente, tomando como base el análisis realizado en el mencionado trabajo se cita como idea principal a desarrollar la «Visión de Aplicación del Marco Normativo de las Américas» (NNUU, 2013), el cual se indica: «Es preciso definir y adoptar un marco normativo compatible en la región, que establezca las convenciones comunes y acuerdos técnicos necesarios para alcanzar mayor eficiencia en la respuesta

a las demandas de información geoespacial, donde los datos se generen y mantengan el común denominador de: compatibilidad, comparabilidad, confiabilidad, consistencia y completitud, siendo éste la base para el establecimiento de un esquema interoperable de colaboración, que contribuya al desarrollo de la Infraestructura de Datos Geoespaciales de las Américas (IDEA)».

Dado lo anteriormente expuesto, se considera pertinente la creación de una guía teórico-práctica para la evaluación de la exactitud posicional. En este documento se presentará una descripción de los aspectos más relevantes a tener en cuenta para conseguir una evaluación rigurosa de la exactitud posicional, una propuesta de método general y de informe y, finalmente, un ejemplo práctico. Adicionalmente, en aras de una mayor estandarización de los procesos y de la difusión de la Norma Internacional ISO 19157 (ISO 2013) sobre calidad de datos espaciales, se vinculará la aplicación de cualquier MEEP con la de la mencionada norma. De esta manera se dispone de un marco completo de estandarización para la evaluación, análisis y presentación de resultados relativos a la exactitud posicional.

OBJETIVO

El objetivo principal de este documento es ofrecer una guía teórico-práctica que permita desarrollar evaluaciones de la exactitud posicional absoluta⁵ de una manera correcta y fiable, es decir, pensando en la mejora de la metacalidad de los resultados y procesos. Este objetivo obliga a tratar de manera conjunta aspectos teóricos y prácticos, pues no puede hacerse una evaluación correcta sin ambos componentes. Objetivo añadido es desarrollar este proceso dentro del marco establecido por las normas ISO 19100 del Comité Técnico 211 de ISO y, además, aclarar, en la medida de lo posible, aquellos aspectos que suelen causar mayor duda de este proceso. Como complemento a lo anterior, un tercer objetivo es proponer un modelo de informe que resuma las características de la evaluación realizada, así como los resultados obtenidos. En la medida en que este informe sea completo y detallado, será más útil, tanto para productores como usuarios. Por último, a lo largo de toda la guía se tendrán en cuenta, en la medida de lo razonable y como una primera aproximación, criterios de eficacia y eficiencia, que hagan que los procesos propuestos para la evaluación y descripción de la calidad tengan cierto grado de optimización y no resulten excesivamente onerosos en ningún sentido.

ALCANCE

Esta guía se centra fundamentalmente en los procesos a desarrollar en gabinete, pero también ofrece directrices para los procesos de toma de datos en campo. Además, en lo relativo a los estándares ya existentes para de evaluación de la exactitud posicional, en esta guía se ofrecen sólo consideraciones sobre tres de ellos (NMAS, EMAS y NSSDA), por ser tres opciones muy distintas, extendidas y base de los métodos detectados presentados en la Tabla 1.

⁵ De cualquier manera, todo lo que se exponga en esta guía también es válido para el caso de la exactitud posicional relativa.

CONFORMIDAD

Esta guía no ofrece deliberadamente exigencias de conformidad dado su mero carácter de orientación general. En cualquier caso, cualquier proceso de evaluación de la exactitud posicional basado total o parcialmente en esta guía, o en otras consideraciones, y que sea implementado por una organización debería ofrecer un mecanismo de verificación de su conformidad. La norma española UNE 148002 (UNE 2016) presenta un ejemplo en esta línea.

REFERENCIAS NORMATIVAS

Las normas que se relacionan a continuación tienen disposiciones válidas para esta guía. Todas las normas están sujetas a revisión por lo que se indican las fechas correspondientes a los documentos vigentes en el momento de publicación de esta guía.

- FGDC (1998). FGDC-STD-007: Geospatial Positioning Accuracy Standards, Part 3. National Standard for Spatial Data Accuracy, Federal Geographic Data Committee, Reston, USA.
- ISO 19115-1:2014 Geographic information -- Metadata -- Part 1: Fundamentals.
- ISO 19131:2007 Geographic information -- Data product specifications.
- ISO 19157:2013 Geographic information -- Data quality.
- ISO 3534-1:2006 Statistics -- Vocabulary and symbols -- Part 1: General statistical terms and terms used in probability.
- ISO 3534-2:2006 Statistics -- Vocabulary and symbols -- Part 2: Applied statistics.
- ISO 5725-1:1994 Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results -- Part 1: General principles and definitions.
- JCGM 200:2012 International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM). 3rd edition.

TÉRMINOS Y DEFINICIONES

Para los fines de este documento, son de aplicación los términos y definiciones siguientes:

- Calidad: Totalidad de características de un producto que le confieren aptitud para satisfacer necesidades implícitas y explícitas [ISO 19101]. Grado en que un conjunto de características inherentes cumple unos requisitos [ISO 9001].
- Conjunto de datos: Colección identificable de datos [ISO 19101].
- Control de la calidad: Parte de la gestión de la calidad orientada al cumplimiento de los requisitos de la calidad [ISO 9001].
- Elemento de la calidad de datos: Componente cuantitativa que documenta la calidad de un conjunto de datos [ISO 19101].
- Error de medida: diferencia entre un valor medido de una magnitud y un valor de referencia [JCGM 200:2012].

NOTA 1 El concepto de error de medida puede emplearse:

a) cuando exista un único valor de referencia, como en el caso de realizar una calibración mediante un patrón cuyo valor medido tenga una incertidumbre de medida despreciable, o cuando se toma un valor convencional, en cuyo caso el error es conocido.

b) cuando el mensurando se supone representado por un valor verdadero único o por un conjunto de valores verdaderos, de amplitud despreciable, en cuyo caso el error es desconocido.

NOTA 2 Conviene no confundir el error de medida con un error en la producción o con un error humano.

- Error aleatorio: componente del error de medida que, en mediciones repetidas, varía de manera impredecible [JCGM 200:2012]

NOTA 1 El valor de referencia para un error aleatorio es la media que se obtendría de un número infinito de mediciones repetidas del mismo mensurando.

NOTA 2 Los errores aleatorios de un conjunto de mediciones repetidas forman una distribución que puede representarse por su esperanza matemática, generalmente nula, y por su varianza.

NOTA 3 El error aleatorio es igual a la diferencia entre el error de medida y el error sistemático

- Error sistemático: componente del error de medida que, en mediciones repetidas, permanece constante o varía de manera predecible [JCGM 200:2012].

NOTA 1 El valor de referencia para un error sistemático es un valor verdadero, un valor medido de un patrón cuya incertidumbre de medida es despreciable, o un valor convencional de una magnitud.

NOTA 2 El error sistemático y sus causas pueden ser conocidas o no. Para compensar un error sistemático conocido puede aplicarse una corrección.

NOTA 3 El error sistemático es igual a la diferencia entre el error de medida y el error aleatorio.

- Exactitud: proximidad entre un valor medido y un valor verdadero de un mensurando [JCGM 200:2012]

NOTA 1 El concepto «exactitud de medida» no es una magnitud y no se expresa numéricamente. Se dice que una medición es más exacta cuanto más pequeño es el error de medida.

NOTA 2 El término «exactitud de medida» no debe utilizarse en lugar de «veracidad de medida», al igual que el término «precisión de medida» tampoco debe utilizarse en lugar de «exactitud de medida», ya que esta última incluye ambos conceptos.

NOTA 3 La exactitud de medida se interpreta a veces como la proximidad entre los valores medidos atribuidos al mensurando.

- Exactitud posicional: la exactitud de la posición de los objetos geográficos en un determinado sistema de referencia espacial [ISO19113].
- Incertidumbre: parámetro no negativo que caracteriza la dispersión de los valores atribuidos a un mensurando, a partir de la información que se utiliza [JCGM 200:2012]

NOTA 1 La incertidumbre de medida incluye componentes procedentes de efectos sistemáticos, tales como componentes asociadas a correcciones y a valores asignados a patrones, así como la incertidumbre debida a la definición. Algunas veces no se corrigen los efectos sistemáticos estimados y en su lugar se tratan como componentes de incertidumbre.

NOTA 2 El parámetro puede ser, por ejemplo, una desviación típica, en cuyo caso se denomina incertidumbre típica de medida (o un múltiplo de ella), o la semiamplitud de un intervalo con una probabilidad de cobertura determinada.

NOTA 3 En general, la incertidumbre de medida incluye numerosas componentes. Algunas pueden calcularse mediante una evaluación tipo A de la incertidumbre de medida, a partir de la distribución estadística de los valores que proceden de las series de mediciones y pueden caracterizarse por desviaciones típicas. Las otras componentes, que pueden calcularse mediante una evaluación tipo B de la incertidumbre de medida, pueden caracterizarse también por desviaciones típicas, evaluadas a partir de funciones de densidad de probabilidad basadas en la experiencia u otra información.

NOTA 4 En general, para una información dada, se sobrentiende que la incertidumbre de medida está asociada a un valor determinado atribuido al mensurando. Por tanto, una modificación de este valor supone una modificación de la incertidumbre asociada.

- Incertidumbre típica: incertidumbre de medida expresada como una desviación típica [JCGM 200:2012].
- Sesgo: valor estimado de un error sistemático [JCGM 200:2012].
- Veracidad: Proximidad entre la media de un número infinito de valores medidos repetidos y un valor de referencia [JCGM 200:2012].

NOTA 1 La veracidad de medida no es una magnitud y no puede expresarse numéricamente, aunque la Norma Internacional ISO 5725 especifica formas de expresar dicha proximidad.

NOTA 2 La veracidad de medida está inversamente relacionada con el error sistemático, pero no está relacionada con el error aleatorio.

NOTA 3 No debe utilizarse el término exactitud de medida en lugar de «veracidad de medida» y viceversa.

- Precisión: Proximidad entre las indicaciones o los valores medidos obtenidos en mediciones repetidas de un mismo objeto, o de objetos similares, bajo condiciones especificadas [JCGM 200:2012].

NOTA 1 Es habitual que la precisión de una medida se exprese numéricamente mediante medidas de dispersión tales como la desviación típica, la varianza, o el coeficiente de variación bajo las condiciones especificadas.

NOTA 2 Las «condiciones especificadas» pueden ser condiciones de repetibilidad, condiciones de precisión intermedia, o condiciones de reproducibilidad (véase la norma ISO 5725-1:1994).

NOTA 3 La precisión se utiliza para definir la repetibilidad de medida, la precisión intermedia y la reproducibilidad.

NOTA 4 Con frecuencia, «precisión de medida» se utiliza, erróneamente, en lugar de exactitud de medida.

- Informe de calidad independiente: Documento de texto libre que proporciona información completa y detallada sobre las evaluaciones, resultados y medidas de la calidad de los datos [ISO 19157].
- Metacalidad: Información que describe la calidad de la calidad de datos [ISO 19157].
- Método de evaluación directo: Método de evaluación de la calidad de un conjunto de datos basado en la inspección de sus ítems [ISO 19157].
- Muestra: Subconjunto de una población, formado por una o más unidades muestrales [ISO 3534-2:2013]
- Unidad muestral: Una de las partes individuales en que se divide una población [ISO 3534-2:2013]
- Producto de datos: Conjunto de datos o serie de conjuntos de datos conforme a unas especificaciones de producto de datos [ISO 19131].
- Universo de discurso: vista del mundo real o hipotético que incluye todo aquello que es de interés [ISO 19101:2006]
- Homocedasticidad: Igual comportamiento de las varianzas que caracterizan cada una de las componentes de la posición.
- Valor atípico (*outlier*): Miembro de un pequeño subconjunto de observaciones que parece ser inconsistente con el resto de la muestra [ISO 16269-4:2015].

NOTA 1 La clasificación de una observación o subconjunto de observaciones como valor/es atípico/s es relativo al modelo escogido para la población de la cual proviene el conjunto de datos. Esta o estas observaciones no han de ser consideradas auténticos miembros de la población principal.

NOTA 2 Un valor atípico puede provenir de una población subyacente distinta, o ser el resultado de un registro incorrecto o un error grave de medición.

NOTA 3 El subconjunto puede contener una o más observaciones.

- Punto fácilmente identificable: Aquel cuya identificación es fácil a simple vista.

- Punto bien definido: Aquel cuya posición no tiene ambigüedad (p.ej. no existe problema de dilución de la precisión geométrica).
- Estándar: Que sirve como tipo, modelo, norma, patrón o referencia (DLE-RAE). Solución técnica que goza de una posición dominante en un sector de actividad.
- Estimación: Procedimiento que obtiene una representación estadística de una población a partir de una muestra aleatoria de esta población [ISO 3534-1:2013].
- Control estadístico de procesos (CEP): Actividades centradas en el empleo de técnicas estadísticas para reducir la variabilidad, aumentar el conocimiento del proceso y orientar el proceso del modo deseado [ISO 3534-2].

NOTA 1 El CEP funciona más eficazmente al controlar la variabilidad de una característica del proceso o una característica intermedia del proceso que está relacionada con una característica del producto final y/o aumentando la robustez del proceso con relación a su variabilidad. Una característica del producto final del proveedor puede ser una característica del proceso para el proceso del siguiente proveedor.

NOTA 2 Aunque originalmente el CEP se ocupaba de los productos manufacturados, se aplica igualmente a los procesos que producen servicios o transacciones, por ejemplo, aquellos relativos a datos, *software*, comunicaciones y movimiento de materiales.

NOTA 3 El CEP implica el control del proceso y la mejora del proceso.

ABREVIATURAS

En este documento se utilizan los siguientes términos abreviados:

- ASCE: *American Society of Civil Engineers.*
- ASPRS: *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing.*
- CDE: Conjunto de datos a evaluar.
- CDR: Conjunto de datos de referencia.
- DQU: *Data Quality Unit.*
- EMAS: *Engineering Map Accuracy Standard.*
- ECM: Error Cuadrático Medio
- FGDC: *Federal Geographic Data Committee.*
- GNSS: *Global Navigation Satellite System.*
- IDE: Infraestructura de Datos Espaciales
- IPGH: Instituto Panamericano de Geografía e Historia.
- ISO: *International Organization for Standardization.*
- MEEP: Métodos de Evaluación de la Exactitud Posicional.
- NMAS: *National Map Accuracy Standard.*
- NSSDA: *National Standard for Spatial Data Accuracy.*
- PAT: Programa de Asistencia Técnica del IPGH.

CALIDAD DE DATOS ESPACIALES BASADA EN NORMAS ISO DEL TC/211

Dentro del marco normativo que se establece por medio de las normas 19100 del Comité Técnico 211 de ISO, toda evaluación de calidad debe conciliar adecuadamente aspectos relativos a las especificaciones del producto, la formalización de los aspectos de la calidad, su evaluación y el reporte o informe de los resultados. De esta forma se pretende conseguir que productores y usuarios trabajen

bajo los mismos criterios y conceptos, con el objetivo de lograr interoperabilidad y consenso a la hora de generar los datos, evaluar su calidad, entender el proceso de evaluación y, finalmente, de visualizar e interpretar los resultados presentados en forma de metadatos. De esta forma, las normas internacionales directamente relacionadas con la calidad y su evaluación son ISO 19157 (ISO 2013), ISO 19131 (ISO 2007) e ISO 19115-1 (ISO 2014). A continuación se presenta cada una de ellas.

ISO 19157. Establece un marco para: i) referir los aspectos relevantes de la calidad de los datos espaciales por medio de los elementos de la calidad (¿qué aspecto evaluar?), ii) vincular los elementos de la calidad con los conjuntos de datos de interés (ámbitos) por medio de la unidad de calidad de datos (DQU) (¿qué objetos geográficos evaluar?), iii) desarrollar métodos de evaluación bien descritos (¿cómo evaluar?), iv) utilizar medidas bien determinadas (¿cómo expresar la calidad?), v) expresar adecuadamente el resultado (¿cuál es el resultado de la evaluación de la calidad?), y vi) reportar los resultados forma adecuadas (¿cómo informar?). La Figura 1 presenta las relaciones entre todos estos aspectos.

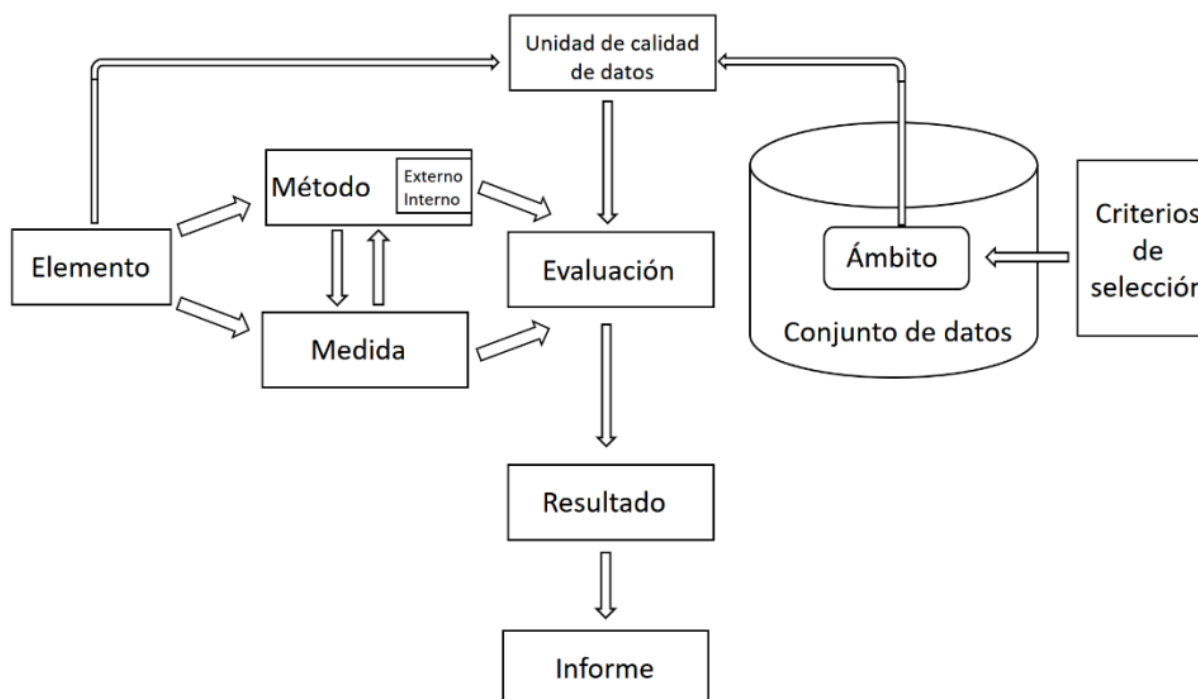


Figura 1. Relaciones y elementos intervinientes en una evaluación de la calidad de datos (fuente Ariza-López, 2017)

Los objetivos principales de esta norma son:

- Proporcionar los principios para describir la calidad de los datos geográficos y los conceptos para manejar la información de calidad de un conjunto de datos.
- Proporcionar una guía para los procedimientos de evaluación cuantitativa de calidad de datos.
- Proporcionar un mecanismo para informar sobre la calidad de datos (metadatos).
- Proporcionar un conjunto de medidas de la calidad de datos para su uso en la evaluación y el reporte de calidad de datos.

ISO 19131. Tiene como propósito el establecer directrices para la elaboración de especificaciones de productos de datos. Un producto de datos es la abstracción de todos los conjuntos de datos generados como resultado de un proceso de producción bien establecido. Las especificaciones definen, por decirlo

de alguna manera, el conjunto de datos teórico, ideal o pretendido, es decir el terreno nominal, no varían con cada versión del producto ni con cada unidad, si se trata de una serie. Las especificaciones permitirán conocer, tanto al productor como usurario, cuáles son las cualidades pretendidas para los datos, por ejemplo, el sistema de referencia, la resolución/escala de los datos, el modelo de datos, los procesos de captura, los aspectos de la calidad que son de interés y sus niveles (p.ej. máximo porcentaje de omisiones), etc. Los contenidos de las especificaciones deberán estar ajustados de manera lógica a las capacidades técnicas de los procesos (voz del proceso) y las necesidades del uso (voz del usuario). Por tanto, la aplicación de la norma a un producto de datos concreto conlleva establecer niveles de conformidad explícitos para cada elemento de la calidad bajo consideración. De esta forma, en ISO 19131 las especificaciones relativas a los aspectos de la calidad de productos de datos se basan en la norma ISO 19157 y, por ello, las especificaciones de cualquier producto que sigan ISO 19131 deben manejar adecuadamente los conceptos de ISO 19157 y, además, establecer las exigencias de calidad indicando claramente todos los aspectos que se relacionan (Figura 1). La evaluación de la calidad de un producto quedará condicionada por sus especificaciones (niveles de calidad establecidos, ámbitos, medidas de calidad y métodos de evaluación a aplicar).

ISO 19115-1. Ofrece un modelo de metadatos para datos espaciales, dentro del cual cabe la información relativa al uso, propósito y linaje, y que resulta relevante para entender la calidad de un CDE. Los metadatos que siguen ISO 19115-1 agregarán cero, una o más DQU (ISO 19157) para informar de la calidad de un CDE. Además, estos metadatos pueden ser complementados con el informe independiente de resultados de la calidad que se propone en la norma internacional ISO 19157.

Finalmente, se debe mencionar la especificación técnica ISO/TS 19158 (ISO 2012), que proporciona un marco de aseguramiento de la calidad para la producción de datos espaciales basado en los principios de los sistemas de gestión de la calidad (p.ej. ISO 9000 (ISO 2015b)), y de la ya mencionada ISO 19157.

LA NORMA ISO 19157 APLICADA A LA EVALUACIÓN DE EXACTITUD POSICIONAL

La Norma Internacional ISO 19157 (ISO 2013) se centra en lo que se denominan elementos cuantitativos de la calidad de los datos espaciales, es decir, aquellos que se pueden expresar de una forma numérica (cuantitativa), por medio de una cantidad. Los elementos de la calidad son componentes que describen ciertos aspectos de la calidad de los datos espaciales y que se han organizado en categorías (compleción, consistencia lógica, calidad temporal, etc.). A continuación se describe cada una de ellas indicando los elementos de la calidad de datos que incluyen.

Usabilidad. Es una categoría basada en la combinación de los elementos de la calidad que se indican a continuación, con el objeto de expresar mejor los requisitos de usuario.

Compleción. Se refiere al hecho de estar completo (completitud), en esta categoría los elementos de la calidad que se consideran son: omisión (elementos faltantes) y comisión (elementos sobrantes).

Consistencia lógica. Se refiere al cumplimiento de reglas explícitas de los modelos lógicos con los que se trabaja en un conjunto de datos espaciales, en esta categoría los elementos de la calidad que se consideran son: consistencia conceptual, consistencia de dominio, consistencia de formato y consistencia topológica.

Calidad temporal. Se refiere a los aspectos temporales de los datos espaciales, en esta categoría los elementos de la calidad que se consideran son: exactitud de medida de tiempo, consistencia temporal y validez temporal.

Exactitud temática. Se refiere a los aspectos temáticos de los datos espaciales, en esta categoría los elementos de la calidad que se consideran son: corrección de la clasificación, corrección de los atributos no cuantitativos (cualitativos) y exactitud de atributos cuantitativos.

Exactitud posicional. Se refiere a exactitud de la posición de los datos espaciales en un sistema de referencia, en esta categoría los elementos de la calidad que se consideran son:

- Exactitud posicional absoluta o externa. Proximidad de los valores recogidos de las coordenadas a los valores verdaderos o aceptados como tales.
- Exactitud posicional relativa o interna. Proximidad de las posiciones relativas de los objetos geográficos de un conjunto de datos a sus respectivas posiciones relativas verdaderas o aceptadas como tales.
- Exactitud posicional de datos en malla. Proximidad de los valores de posición de los datos en estructura de malla regular a los valores verdaderos o aceptados como tales.

Además de las categorías y elementos de la calidad ya presentados, la Norma Internacional ISO 19157 realiza otras aportaciones relevantes para estandarizar los procesos de definición y evaluación de la calidad y que tienen una gran importancia práctica. En concreto, ISO 19157 propone el uso de medidas de calidad normalizadas y de un proceso general para evaluar la calidad de los datos espaciales, los cuales se presentan a continuación.

Medidas de la calidad. ISO 19157 define un conjunto de medidas básicas para contabilizar la presencia de errores o cuantificar su magnitud, según el tipo de error. A partir de estas medidas básicas se define un amplio conjunto de medidas que son aplicables a elementos de la calidad concretos. Este conjunto de medidas normalizadas y vinculadas a elementos de la calidad se presentan en el anexo D de esta norma y se ofrecen libremente para su uso. La Tabla 2 presenta el conjunto de medidas definidas para la exactitud posicional. Se recogen el identificador (ID), el nombre, el elemento de la calidad al que son aplicables y la medida básica sobre la que se fundamenta cada una de ellas.

Tabla 2. Medidas de calidad propuestas por ISO 19157 para la exactitud posicional (fuente ISO 19157)

ID	Nombre	Elemento	Medida básica
28	Valor medio de las incertidumbres posicionales (1D, 2D, 3D)	Absoluta o externa	No aplicable
128	Sesgo de las posiciones (1D, 2D y 3D)	Absoluta o externa	No aplicable
29	Valor medio de las incertidumbres posicionales excluyendo atípicos (2D)	Absoluta o externa	No aplicable
30	Número de incertidumbres posicionales mayores que un umbral	Absoluta o externa	Recuento de errores
31	Índice de incertidumbres posicionales mayores que un umbral	Absoluta o externa	No aplicable
32	Matriz de covarianzas	Absoluta o externa	No aplicable
33	Error lineal probable	Absoluta o externa	LEP50.0 o LE50.0(r)
34	Error lineal típico	Absoluta o externa	LE68.3 o LE68.3(r)
35	Exactitud lineal al 90 % de nivel de significación	Absoluta o externa	LE90 o LE90(r)
36	Exactitud lineal al 95 % de nivel de significación	Absoluta o externa	LE95 o LE95(r)
37	Exactitud lineal al 99 % de nivel de significación	Absoluta o externa	LE99 o LE99(r)
38	Error lineal casi cierto	Absoluta o externa	LE99.8 o LE99.8(r)
39	error cuadrático medio	Absoluta o externa	No aplicable
40	Error lineal absoluto al 90 % de nivel de significación de datos verticales con sesgo (alternativa 1)	Absoluta o externa	No aplicable
41	Error lineal absoluto al 90 % de nivel de significación de datos verticales con sesgo (alternativa 2)	Absoluta o externa	No aplicable
42	Desviación típica circular	Absoluta o externa	CE39.4
43	Error circular probable	Absoluta o externa	CE50
44	Error circular al 90 % de significación	Absoluta o externa	CE90
45	Error circular al 95 % de significación	Absoluta o externa	CE95
46	Error circular casi cierto	Absoluta o externa	CE99.8
47	Error cuadrático medio planimétrico	Absoluta o externa	No aplicable
48	Error circular absoluto al 90 % de nivel de significación de datos con sesgo	Absoluta o externa	No aplicable
49	Error circular absoluto al 90 % de nivel de significación de datos con sesgo	Absoluta o externa	No aplicable
50	Elipse de incertidumbre	Absoluta o externa	No aplicable
51	Elipse de confianza	Absoluta o externa	No aplicable
52	Error vertical relativo	Relativa o interna	No aplicable
53	Error horizontal relativo	Relativa o interna	No aplicable

Las especificaciones de cualquier producto de datos deberían usar medidas definidas en ISO 19157. La idea de usar medidas normalizadas es ofrecer transparencia en los procesos de especificación de la calidad, de evaluación de la calidad y también mayor confianza a los usuarios y productores, así como una mayor comparabilidad de resultados e interoperabilidad de datos y resultados. Para ello, como ya se ha indicado, se pueden usar las medidas establecidas en ISO 19157 pero también es posible desarrollar otras siguiendo las directrices marcadas en esa misma norma para su descripción normalizada. En cualquier caso, las medidas deben estar siempre identificadas y formar parte de un catálogo de medidas que se ha de ofrecer públicamente y que, además, se debe organizar según las directrices de ISO 19135-1 (ISO 2015a).

Proceso general de evaluación de la calidad de datos espaciales. Si un producto de datos está bien especificado en lo relativo a sus aspectos de la calidad, serán las especificaciones del producto la que

proporcione todos los elementos clave (elemento de la calidad, medida, método, etc.), para su evaluación de la calidad. En cualquier caso, toda evaluación de la calidad conlleva un proceso lógico general, que estará recogido en las especificaciones del producto o que podrá establecerse *a posteriori* frente a una nueva necesidad de evaluación. La Figura 2 presenta el diagrama de flujo que se incluye en ISO 19157 como proceso general de evaluación de la calidad. Si los datos a evaluar son heterogéneos, con diferentes calidades en diferentes partes, las evaluaciones se realizarán sobre cada una de esas partes. La Tabla 3 especifica en mayor detalle los pasos de este proceso. Si se reflexiona sobre la Tabla 3, se puede concluir que el paso que puede encerrar una mayor dificultad es el 3º, en el que debe concretarse el método de evaluación de la calidad. Por ejemplo, si se desea establecer el método para evaluar la exactitud posicional absoluta, piénsese que existen diversos estándares de exactitud posicional (p.ej. NMAS, EMAS, NSSDA), cada uno con diferentes características estadísticas. Además, téngase en cuenta la gran influencia que tiene en el resultado el método de muestreo aplicado (p.ej. cantidad y distribución de puntos de control). También es necesario concretar la metodología de trabajo en campo para la toma de datos del terreno (p.ej. métodos topográficos, métodos GNSS), etc. Para que una evaluación quede bien especificada se requiere que todos estos aspectos estén adecuadamente recogidos en la documentación, y que se apliquen en la ejecución. A pesar de la aparente complejidad de lo indicado, el caso de la evaluación de la exactitud posicional no es el peor, pues existen numerosos estándares de aplicación bastante extendida y se trata de una componente que se trabaja con métodos (p.ej. topográficos, GNSS, etc.) que son bien conocidos. Sin embargo, no ocurre lo mismo para evaluar otros elementos de calidad como la completión, la exactitud temática, etc.

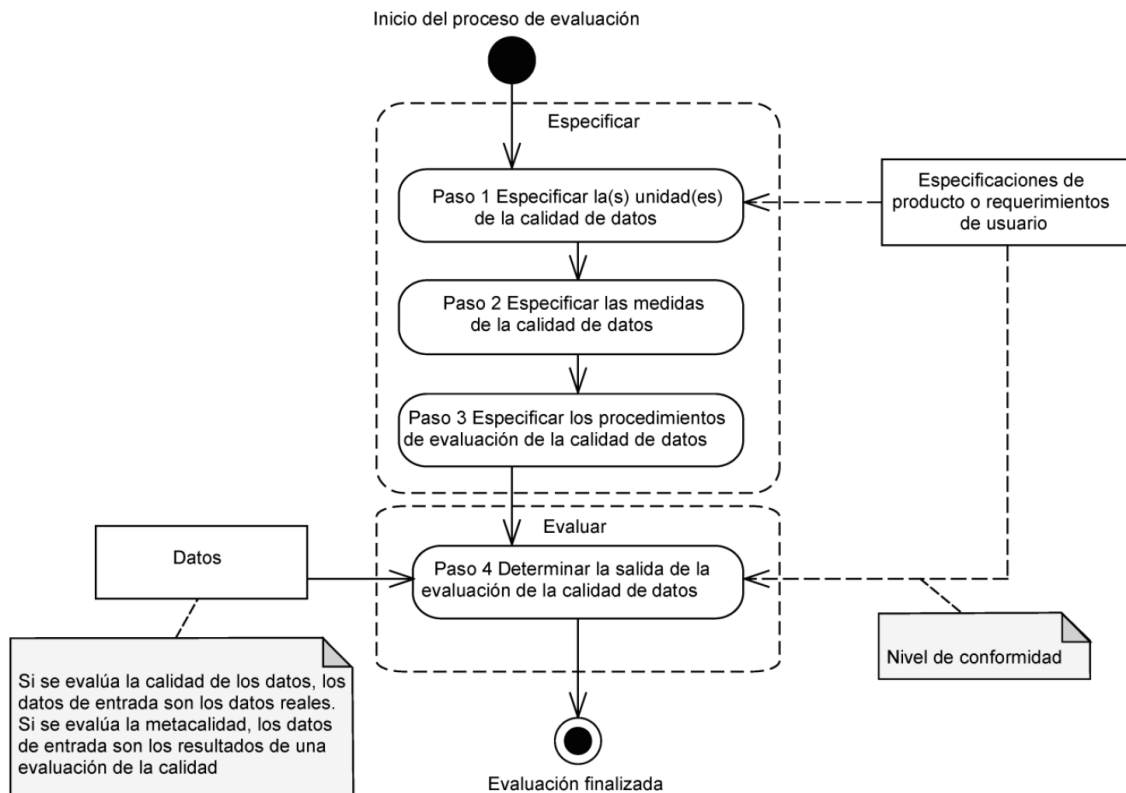


Figura 2. Esquema UML de la evaluación de la calidad de datos (Fuente: ISO 19157)

Tabla 3. Pasos del proceso de evaluación de la calidad según ISO 19157 (Fuente: ISO 19157)

Paso del proceso	Acción	Descripción
1	Especificar la(s) unidad(es) de la calidad de datos (DQU)	Una DQU se compone de un ámbito y de elemento(s) de la calidad. Deberían utilizarse todos los elementos pertinentes para los datos cuya calidad va a ser descrita.
2	Especificar las medidas de la calidad de datos	Si procede, debería especificarse una medida para cada elemento de la calidad. Si no se identifica ninguna medida, puede proporcionarse un resultado descriptivo
3	Especificar los procedimientos de evaluación de la calidad de datos	Un procedimiento de evaluación de la calidad de datos consiste en la aplicación de uno o más métodos de evaluación.
4	Determinar la salida de la evaluación de la calidad de datos	La salida de la aplicación de la evaluación es un resultado.

Un aspecto clave a la hora de aplicar las normas sobre calidad de datos espaciales es tener bien clara la diferencia entre medida y método, o procedimiento de evaluación. Ambos elementos (medida-método) interactúan, pero son diferentes. Una misma medida puede ser utilizada por varios métodos y un mismo método general podría particularizarse utilizando medidas distintas, si éstas requieren modificar el método. La Figura 3 presenta un esquema con los aspectos más definitorios de ambos. Como ya se ha indicado, la norma ISO 19157 ofrece un conjunto de medidas normalizadas y también un proceso para crear nuevas medidas; sin embargo, los métodos quedan un poco desatendidos pues no se ofrecen métodos estandarizados, ni una base para realizar esta estandarización. Consideramos que, al igual que se propugna que las organizaciones dispongan un catálogo de medidas de calidad estandarizadas en uso, también se debería propugnar un catálogo de métodos de evaluación de la calidad estandarizados.

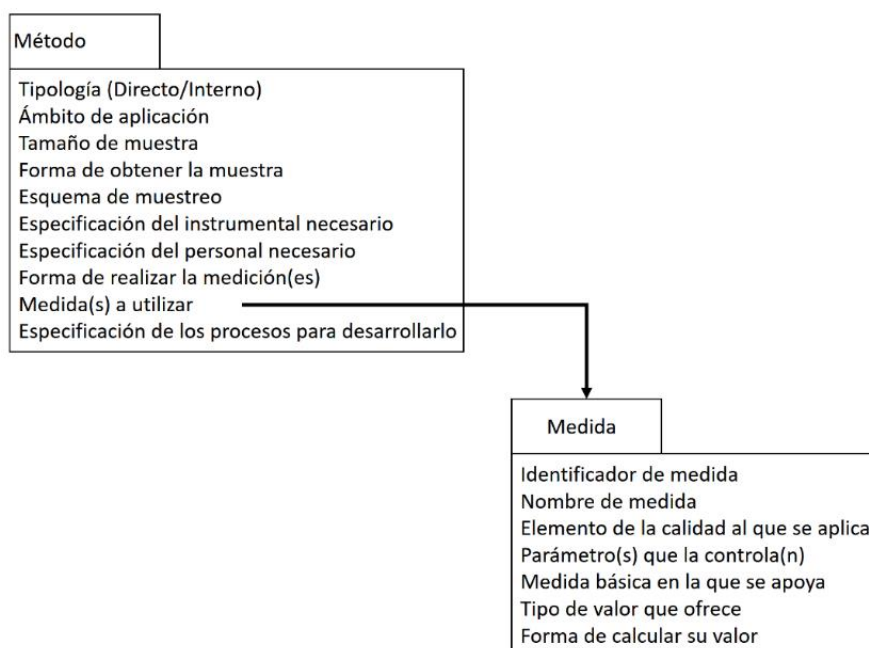


Figura 3. Relación entre método y medida (Fuente: Ariza-López, 2017)

EXACTITUD Y ERROR POSICIONAL

Como se ha indicado anteriormente, la exactitud posicional se refiere a exactitud de la posición de los datos espaciales en un sistema de referencia, es decir, la proximidad entre los valores reportados de las coordenadas de unos rasgos de unas instancias de objetos geográficos pertenecientes al producto de datos (p.ej. la representación de la esquina de una casa en el conjunto de datos) a los valores verdaderos o aceptados como tales (p.ej. las coordenadas de la esquina de esa casa en el objeto casa del mundo real representadas por la toma de datos GNSS). A esa “proximidad entre valores” se la ha denominado tradicionalmente error, aunque sería más adecuado denominarla discrepancia.

En principio se debe indicar que la palabra error no es adecuada del todo, si bien se usará por motivos de costumbre dentro del ámbito cartográfico. La justificación es la siguiente. Dado un valor V_p , correspondiente a una característica cuantitativa estimada, si se conoce que éste valor posee un determinado error E_p , es evidente que V_p se podría corregir (sumando o restando E_p), obteniendo de esta forma un valor V libre de error para esa característica. Pero, como todos sabemos, esto no es así. Por ello, más adecuado que el término error es el de discrepancia, el cual llevado a un marco estadístico de estimación debe denominarse incertidumbre de una manera más apropiada.

El error posicional se suele considerar referido a un punto concreto con unas coordenadas y puede incluso tomar valores para cada una de las componentes X, Y, Z de manera independiente ($\{e_x\}, \{e_y\}, \{e_z\}$) para cada una de ellas, caso 1D. También se puede medir y expresar de manera conjunta planimétrica o radial ($\{e_x, e_y\}$), caso 2D, siendo muy poco frecuente una evaluación conjunta ($\{e_x, e_y, e_z\}$), caso 3D. Para nuestra característica cuantitativa de interés, la posición, el error es la diferencia entre un valor estimado (p.ej. observado) y presente en el conjunto de datos a evaluar (CDE)⁶ y el valor verdadero o referencia considerada como tal (conjunto de datos de referencia, CDR⁷). La Ec.1 presenta la definición matemática⁸ del error posicional en cada una de las componentes (X, Y, Z).

$$e_X = X_{CDE} - X_{CDR} \quad e_Y = Y_{CDE} - Y_{CDR} \quad e_Z = Z_{CDE} - Z_{CDR} \quad \text{Ec.1}$$

donde:

e	error
X	coordenada X
Y	coordenada Y
Z	coordenada Z

La tipología de objetos que se utilizan usualmente en las evaluaciones de la exactitud posicional para obtener estos valores de error o discrepancias son vértices o puntos⁹ bien definidos, es decir, cuya definición geométrica facilita la identificación inequívoca del punto (p.ej. no existe dilución de la precisión geométrica al cruzarse dos líneas), y son puntos aislados (p.ej. esquinas o intersecciones, generalmente de elementos producidos por el ser humano) tal que son fácilmente identificables en el contexto de su vecindad, tanto en el CDE como en el CDR. Además de lo ya indicado, se requiere que ambas coordenadas, la del CDE y del CDR estén expresadas en el mismo sistema de referencia de

⁶ En adelante se usará conjunto de datos a evaluar (CDE) o producto a evaluar, de manera equivalente para referir aquel del que se desea estimar un parámetro de exactitud posicional o que se desea controlar.

⁷ En adelante se utilizará conjunto de datos de referencia (CDR) o referencia, de manera equivalente.

⁸ En principio da lo mismo que se resten las coordenadas del producto a las de la referencia o al revés. Esto no invalida los resultados de los análisis. Simplemente se debe saber qué es lo que se resta de qué para tener claro el sentido real de la magnitud (falta o exceso).

⁹ Sin embargo, también pueden utilizarse elementos lineales para los controles de exactitud posicional (ver Ariza-López, 2013).

coordenadas. Finalmente, para que puedan detectarse posibles sesgos y que la exactitud de las coordenadas de la referencia no afecte demasiado en la evaluación que se pretende realizar, se requiere que la fuente de la referencia sea independiente y, a la vez, que sea de mayor exactitud¹⁰.

Los errores se clasifican en las siguientes tipologías:

- **Errores groseros.** El término «error grosero» es habitual en el ámbito de la Geomática, pero en realidad se trata de una equivocación. Conviene no confundir el error de medida con un error en la producción o un error humano (JCGM, 2012). Estos errores deben ser eliminados de manera previa a cualquier análisis estadístico. En muchos casos proceden de las transcripciones de datos (p.ej. en la copia de cifras numéricas se puede transcribir 75 en lugar de 57). Todos los métodos de trabajo deben estar pensados para eliminar este tipo de equivocaciones.
- **Errores sistemáticos.** Son aquellos que, bien de una manera constante (p.ej. en el tiempo o en el espacio), o siguiendo una función determinada, aparecen afectando los valores medidos. Un ejemplo sencillo es el de una cinta métrica con divisiones centimétricas mal dimensionada. Así, suponiendo que no le afecta ningún parámetro externo (p.ej. temperatura, humedad, etc.), todas las medidas que se realicen estarán afectadas de un error sistemático como consecuencia de aplicar un patrón de medida erróneo. Los errores sistemáticos pueden ser de tipo constante (ejemplo anterior), y afectan a todo el conjunto de mediciones con un mismo valor, o de tipo funcional, de tal manera que son constantes, pero en subconjuntos del conjunto de mediciones. En esta última categoría pueden incluirse, por ejemplo, efectos del terreno, distorsiones locales, etc. Los errores sistemáticos se pueden detectar estadísticamente y es posible corregirlos mediante métodos adecuados.
- **Errores aleatorios.** Son aquellos que ocurren de manera azarosa por el simple hecho de producir datos y tomar medidas. Suelen seguir un modelo estadístico, pero el modelo no tiene que ser único o común, puede ser una mixtura de modelos. Lo usual es que el modelo base sea el Normal, es decir, la distribución de Gauss. Los errores aleatorios deben estar dentro de un margen de variabilidad asumible para el uso del producto. Todos los procesos de producción generan este tipo de errores. Los procesos de producción (métodos, tecnologías, organización, etc.) deben estar convenientemente diseñados para que estos errores no sean inconvenientes. La amplitud de los errores aleatorios se puede evaluar estadísticamente. Un proceso de producción bien diseñado será aquel que es capaz, es decir, que puede mantener la producción bajo control en lo relativo a la producción de este tipo de errores.

Además de los tipos de error presentados, es importante conocer y manejar adecuadamente los conceptos de valor atípico y exactitud para poder realizar una buena comprensión de las situaciones que pueden ocurrir al tratar con la exactitud posicional y al desarrollar los análisis e informes de evaluación de la calidad.

Valor atípico. En los análisis estadísticos también aparecen los denominados valores atípicos, los cuales no deben ser confundidos nunca con errores groseros. Un valor atípico es un valor extremadamente alto o bajo respecto al conjunto de datos al que pertenece, lo que indica que tiene una probabilidad baja de ocurrencia (atipicidad). En el caso de la altura de las personas, un valor atípico es, por ejemplo, el que pudiera corresponder a un jugador de baloncesto con una altura de 2,32 m. Indudablemente, se trata de una persona con todos sus derechos y obligaciones, pero este valor introducido en una muestra pequeña recabada para estimar la altura de la población puede distorsionar el análisis. Por ello, aunque los valores atípicos son valores reales, y por ello deben ser incluidos en los informes estadísticos, no suelen incluirse en los cálculos de parámetros como la media y la desviación

¹⁰ En los MEEP usualmente se suele indicar que se disponga, al menos, de una exactitud tres veces mayor. Una mayor exactitud implica mayor proximidad entre los valores medidos y los valores verdaderos, es decir, menores discrepancias y por tanto una incertidumbre menor.

en el caso de poblaciones normales¹¹. Conviene insistir en que los valores atípicos no son errores groseros (equivocaciones). Los casos presentes de esta última tipología (errores groseros) deben eliminarse antes de los análisis estadísticos que se realizan sobre el conjunto de datos. Los atípicos deben seguir un proceso de análisis particular¹² y reflejarse convenientemente en los informes.

Exactitud. Finalmente, se debe aclarar el término exactitud para poder trabajar con él con mayor propiedad. La exactitud se considera a nivel de conjunto de datos. La Norma Internacional ISO 5725-1 (ISO 1994) utiliza dos términos, «veracidad» y «precisión», para describir la exactitud¹³ de un método de medición. «Veracidad» (*trueness*) se refiere a cuán cerca se encuentra la media aritmética de un gran número de resultados de ensayos y el valor verdadero o el valor de referencia aceptado. «Precisión» (*precision*) se refiere a la proximidad de la concordancia entre los diferentes resultados y por tanto no tiene relación con el valor verdadero o valor de referencia aceptado.

$$\text{Exactitud} = \text{Veracidad (trueness)} + \text{Precisión (precision)} \quad \text{Ec.2}$$

Veracidad. Bajo la definición dada en el párrafo anterior la veracidad es equivalente a un valor medio de sesgo. Los datos individuales presentan discrepancias posicionales (errores), pero el conjunto de datos presenta sesgo. El sesgo está ligado a la presencia de errores sistemáticos que podrán ser o no asignado a una causa. Si se pueden asignar podrán ser eliminados de los datos.

Precisión. La precisión se considera a nivel de conjunto de datos. Para una característica cuantitativa de interés, la precisión es la proximidad en un conjunto de medidas repetidas que se consideran independientes. Esta proximidad se suele medir por medio de la variabilidad o dispersión en el conjunto de medidas y suele quedar cuantificada por la desviación típica (σ). La precisión está ligada a la variabilidad de los procesos. Todos los procesos tienen cierta variabilidad, lo que indica que ésta se podrá reducir mediante las decisiones adecuadas (p.ej. cambiando de proceso), pero nunca ser eliminada del todo. La precisión de unos datos concretos no puede mejorarse, si no es suficiente se deberá proceder a crearlos nuevamente con métodos que permitan reducir este aspecto. Es usual que al caracterizar un dispositivo de captura (p.ej. una tableta digitalizadora, un equipo GNSS) el fabricante ofrezca un valor de precisión y no de exactitud. Esto implica que se conoce o se asume que no existen sesgos en el proceso del que deriva la obtención de resultados.

La Figura 4 muestra ejemplos de los casos generales que pueden darse en cuanto a la relación entre la veracidad (presencia o ausencia de sesgos) y la precisión (datos más precisos o menos precisos).

¹¹ Se podrían gestionar adecuadamente con técnicas de la denominada estadística robusta, pero su aplicación no es usual por parte de los MEEP.

¹² Los valores atípicos tienen un gran interés para la mejora de los procesos, su presencia puede indicar la mixtura de procesos en el proceso que se analiza de tal manera que permiten detectar procesos que funcionan mejor/peor que el proceso esperado, dando pie a la mejora.

¹³ La Norma Internacional ISO 5725-1 indica que el término "exactitud" fue usado en el pasado únicamente para describir el componente ahora llamado «veracidad», pero muchos especialistas consideraron que debería referirse al desplazamiento total de un resultado respecto a su valor de referencia, debido tanto a causa de los efectos aleatorios como de los efectos sistemáticos.

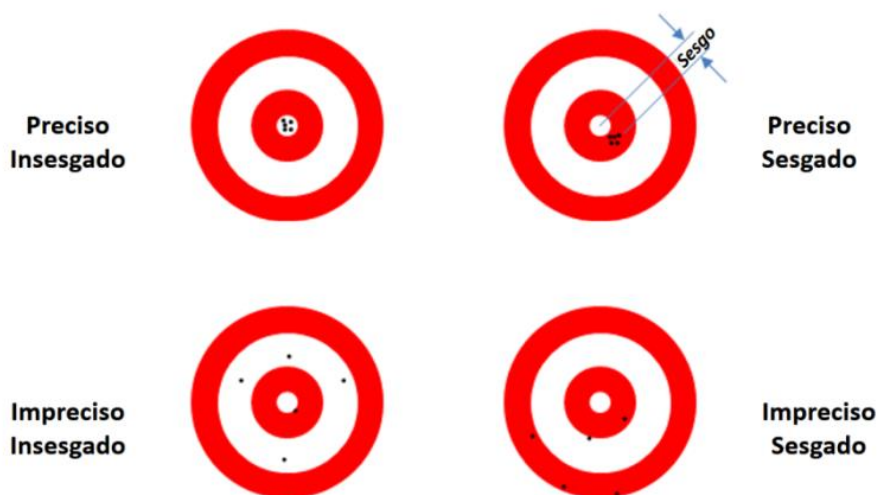


Figura 4. Relaciones entre veracidad y precisión

ESTÁNDARES DE EXACTITUD POSICIONAL

Dada la importancia de la exactitud posicional en los productos cartográficos, su evaluación ha sido de interés desde el desarrollo de la cartografía de base científica. Así, a lo largo del siglo XX se han propuesto y aplicado numerosos métodos para este fin (ver Ariza-López y Atkinson Gordo 2008a). Denominamos aquí a estos métodos como “estándares” debido a que muchos de ellos se autodenominan así (p.ej. *National Map Accuracy Standard*, *Engineering Map Accuracy Standard*, *National Standard for Spatial Data Accuracy*, etc.). Se trata de estándares y no de normas, pues casi ninguno de ellos ha sido desarrollado por una organización de normalización y proceden de asociaciones profesionales o entes administrativos del sector cartográfico.

Dado que es imposible evaluar la componente posicional del 100 % de los objetos presentes en un producto de datos, siempre se trabaja con una muestra, por lo tanto, el método estadístico debe ser robusto y confiable en todo lo relacionado con el muestreo para asegurar la representatividad y validez de los resultados. Esto enlaza con la posibilidad de aplicar métodos de evaluación centrados bien en la estimación de la calidad o bien en el control de la calidad:

- **Métodos de estimación.** Son aquellos que pretenden establecer de una manera fiable el valor de un parámetro de calidad (p.ej. sesgo medio, desviación típica, proporción, etc.) relativo a la población de interés. Estos métodos permiten obtener como resultado un valor y su correspondiente intervalo de confianza (p.ej. un valor medio y su desviación 5.27 ± 0.15 m). El tamaño de la muestra está ligado al tamaño de la población, por tanto, a mayor tamaño de población mayor necesidad de tamaño de muestra, si bien existe un comportamiento asintótico de este último respecto al tamaño de la población.
- **Métodos de control.** Son aquellos que pretenden dar una base estadística a la toma de una decisión de aceptación/rechazo como consecuencia del cumplimiento/no cumplimiento de una especificación. Por ejemplo, dada la especificación de que no más del 5 % de los elementos presenten errores posicionales 2D mayores de 1 m, la decisión será aceptar/rechazar según las evidencias encontradas en la muestra intentando minimizar los errores de tipo I (riesgo del productor, es decir, de rechazar un conjunto de datos que cumple las especificaciones) y de tipo II (riesgo del usuario, es decir, de aceptar un conjunto de datos que no cumple las especificaciones). En este caso se aplican técnicas de contraste de hipótesis y por ello el tamaño de muestra no está

ligado directamente al tamaño de la población. Cualquier tamaño de muestra asegura el error de tipo I, pero se requiere de cierto tamaño de muestra para controlar que el error de tipo II esté convenientemente acotado.

Por tanto, tanto el tamaño de muestra como su distribución (espacial, temática, temporal, etc.) y aleatoriedad, serán elementos clave para asegurar la representatividad y validez de los resultados

Además de lo indicado supra, desde el punto de vista estadístico existen 2 tipos de métodos de evaluación:

- **De base no paramétrica.** Estos métodos no exigen que el error posicional se ajuste a una función de distribución estadística paramétrica subyacente (p.ej. una distribución Normal). La distribución de error viene dada por los datos observados y, por ello, se utilizan cuando no se puede asumir que los errores tengan un ajuste a alguna función de distribución conocida. Estos métodos se basan en percentiles o en proporciones. Son usuales para el caso de datos de altimetría LiDAR sobre terrenos con vegetación. Los MEEP basados en conteo de errores a partir de tolerancias se pueden aplicar en este caso (p.ej. NMAS).
- **De base paramétrica.** Estos métodos suponen que los errores posicionales que se analizan se ajustan a una función de distribución estadística de tipo paramétrico que es conocida. Lo usual es suponer la distribución Normal. En este caso los parámetros son la media (parámetro de localización) y la desviación típica (parámetro de escala). Son los métodos más utilizados en la actualidad (p.ej. el NSSDA).

Tomando en consideración lo indicado por el estudio realizado por Ariza-López y col. (2016), ya comentado en la Introducción, a continuación se presentan tres estándares de evaluación de la exactitud posicional. Esta selección ofrece una perspectiva variada entre lo relativo a que son métodos de estimación/control y de base paramétrica/no paramétrica.

Para los estándares que se presentan se realiza una breve introducción y un resumen en forma de tabla en donde se indica su origen, el método de comparación utilizado, las componentes posicionales sobre las que se puede realizar el cálculo (p.ej. X, Y, Z), la existencia de un valor estándar, una breve descripción del método y la referencia de la fuente original.

NMAS

El NMAS (*National Map Accuracy Standard*) (USBB, 1947) ha sido un estándar empleado por las administraciones estadounidenses productoras de cartografía desde 1947 hasta hace pocos años. Esto ha implicado la extensión de su uso a numerosas instituciones y organismos oficiales de muchos otros países, por lo que ha sido ampliamente aplicado. El método propuesto por el IPHG (IPGH, 1978) en cierta medida se basa en el NMAS. Se trata de un método de control de la exactitud posicional que establece de una manera muy sencilla una regla de aceptación/rechazo. Por lo tanto, su base estadística es un contraste de hipótesis. Dado que consiste en un método de control, no se requieren tamaños de muestra excesivamente grandes. Ariza-López y Rodríguez-Avi (2014) indican que se trata de un modelo de base binomial, y por ello se basa en el conteo de errores. Por tanto, en principio no necesita de normalidad subyacente, aunque se puede considerar que los errores siguen un modelo normal para establecer las tolerancias¹⁴. Este estándar está anticuado ya que hace referencia a tolerancias definidas sobre papel, es decir, a la escala de representación, pero su base conceptual puede ser aplicada sobre

¹⁴ Esta es la situación que se considera para analizar la relación entre este método y otros, como el NSSDA.

cualquier valor de tolerancia. Además, el NMAS está directamente relacionado con el moderno método de control por lotes propuesto por la Norma UNE 148002 (UNE 2016), que también se basa en el conteo. Como extensión de este método, recientemente se ha propuesto (Ariza-López y Rodríguez-Avi 2018) un método que permite controlar la exactitud posicional por medio de dos o más tolerancias. El NMAS queda definido de una manera muy breve en apenas una página, por lo que no es muy explícito en muchos aspectos. La mayor ventaja del NMAS es su simplicidad de cálculo y su facilidad de entendimiento dado que los resultados se expresan de la forma cumple/no cumple, de cómoda interpretación por el usuario. Las desventajas del empleo de NMAS están más en la parte del productor pues no aporta mucho sobre el comportamiento estadístico de los errores (p.ej. sesgo y desviación para el caso normal) y, por tanto, no se obtiene información sobre cómo son realmente los procesos de producción, con lo que es difícil mejorarlos. Además, es un test ligeramente permisivo dado que las tolerancias son realmente amplias, lo cual puede estar justificado por la antigüedad del estándar, en la medida que los métodos de captura de la información estaban mucho menos desarrollados que en la actualidad y por ello se propusieron tolerancias menos restrictivas. En la Tabla 4 se presenta la descripción de estándar.

Tabla 4. Estándar NMAS (fuente: USBB 1947)

Método de comparación	Con fuentes de mayor exactitud.
Componente posicional	Horizontal y vertical, separadamente.
Clase de elementos	Puntos bien definidos.
Estándar de exactitud	<p>El estándar propone exactitudes en relación con las escalas del mapa.</p> <p>Exactitud horizontal:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 1/30 de pulgada para mapas en escalas de publicación mayores que E20k (HTol₁). • 1/50 de pulgada para mapas en escalas de publicación de E20k o más pequeñas (HTol₂). <p>Exactitud vertical:</p> <ul style="list-style-type: none"> • La mitad del intervalo entre curvas de nivel para todas las escalas de publicaciones (VTol). <p>Al verificar las elevaciones, el error vertical aparente puede disminuirse suponiendo un desplazamiento horizontal dentro del error horizontal permisible para un mapa de esa escala.</p> <p>Informe: Los productos que cumplan con estos requisitos de deberán anotar este hecho en sus leyendas de la siguiente manera: <i>«este mapa cumple con el NMAS»</i></p>
Descripción	<p>El producto (p) se compara con una referencia de mayor exactitud. Los componentes horizontales y verticales se pueden evaluar por separado. La evaluación vertical está sujeta a la evaluación horizontal.</p> <p>Se utiliza una muestra de n puntos de control bien definidos (sin especificar el valor de n).</p> <p>Exactitud horizontal: no más del 10 por ciento de los puntos probados tendrán un error superior a Tol₁ o Tol₂ (según la escala).</p> <p>Exactitud vertical: no más del 10 por ciento de los puntos probados tendrán un error superior a VTol.</p>
Procedimiento	<ol style="list-style-type: none"> 1. Seleccionar una muestra. 2. Calcular el error de cada punto en cada componente: $e_{x_i} = x_{p_i} - x_i \quad e_{y_i} = y_{p_i} - y_i \quad e_{z_i} = z_{p_i} - z_i$ siendo: <ul style="list-style-type: none"> x_i, y_i, z_i las coordenadas en el CDR. $x_{p_i}, y_{p_i}, z_{p_i}$ las coordenadas en el CDE. 3. Calcular la componente horizontal de los errores en x, y en cada punto: $e_{H_i} = \sqrt{e_{X_i}^2 + e_{Y_i}^2}$ 4. Establecer cuáles son los errores máximos tolerables: Horizontal: 0,085 cm (1/30") en mapas de escala mayor de E20K o de 0,05 cm (1/50") en mapas a escala menor o igual a E20K. Vertical: La mitad de la equidistancia entre curvas de nivel. 5. Contar cuántos puntos tienen un error horizontal e_H superior a la tolerancia que aplica al caso de la escala. El control es superado en la componente horizontal si el número de puntos que tienen un error superior a la tolerancia no supera el 10 % de los casos.

	6. Contar cuántos puntos tienen un error vertical, e_z , superior a la tolerancia vertical. El control es superado en la componente vertical si el número de puntos que tienen un error superior a la tolerancia no supera el 10 % de los casos.
Fuente	USBB (1947). <i>United States National Map Accuracy Standards</i> . U.S. Bureau of the Budget. Washington, USA.

EMAS

El EMAS (*Engineering Map Accuracy Standard*) (ASCE, 1983), fue desarrollado por la ASCE (*American Society of Civil Engineers*) en el seno del *American Congress on Surveying and Mapping* y surge como respuesta a la insatisfacción con los métodos de evaluación existentes en su momento. Su difusión como EMAS se restringe en gran medida a EE.UU., pero, como desde la perspectiva estadística plantea un proceso bastante lógico, su aplicación real ha sido mucho mayor (p.ej. Sevilla (1991) propone algo similar en España). Se trata de un estándar que especifica la exactitud de los mapas topográficos a gran escala y que también establece un procedimiento estadístico para el control de la exactitud posicional. Dado que consiste en un método de control, no se requieren tamaños de muestra excesivamente grandes. Se basa en la normalidad de los errores posicionales (modelo paramétrico) y propone una batería de contrastes de hipótesis estadísticas que debe ser superada para aceptar el producto. En concreto establece dos test estadísticos por componente, uno centrado en la detección de sesgos (prueba T-Student) y otro en el comportamiento de la dispersión (prueba Chi cuadrado). La necesidad de superar varios test de hipótesis (un test sobre sistematismos y otro sobre dispersión en cada componente), hace que sea demasiado restrictivo, lo que puede generar problemas tanto al productor como al usuario. Para el primero es problemático que se pueda rechazar un gran número de conjuntos de datos que son correctos, y para el segundo es problemático también tener una tasa alta de rechazos por las consecuencias administrativas, temporales y económicas que le ocasiona un suministro deficiente. A modo de ejemplo, en un control exclusivamente planimétrico, bajo el supuesto de independencia de las componentes X e Y , y un nivel de significación $\alpha = 5 \%$, dado que se efectúan cuatro contrastes de hipótesis, sólo pasarán conjuntamente un 81.5 % de los casos [$0,95 \times 0,95 \times 0,95 \times 0,95 = 0,815$]. Esta situación ha sido analizada por Ariza-López y col. (2008) y se ofrece como solución aplicar Bonferroni al objeto de mantener el error de tipo I acotado a la significación deseada ($\alpha = 5 \%$ global). Se trata de un estándar cuyos resultados son adecuados para el productor puesto que informa en detalle de lo que ocurre en cada componente y, con ello, el productor puede tomar acciones de mejora si fuera necesario. Para un usuario finalista puede no ser relevante disponer de tanta información. En la Tabla 5 se presenta la descripción de estándar.

Tabla 5. Estándar EMAS (fuente ASCE 1983)

Método comparación	Con fuentes de mayor exactitud
Componente posicional	Cada componente, X, Y, Z, separadamente.
Clase de elementos	Puntos bien definidos. Bien distribuidos: separación entre puntos en el rango [1/12, 1/4] de la dimensión diagonal de la cobertura del mapa. Al menos el 15 % de los puntos en cada cuadrante.
Estándar de exactitud	El estándar propone exactitudes en relación con las escalas del mapa (ver Tabla 1 de ASCE 1983). Informe: Los productos que cumplan con estos requisitos de exactitud deberán tener en cuenta este hecho en sus leyendas de la siguiente manera: « Este mapa cumple con el EMAS para una escala ____ con límites de error que no excede de ____ metros. Tipo de error X Y Z σ _o — — — δo — — —»
Descripción	El producto (p) se compara con una referencia de mayor exactitud. Las componentes X, Y, Z se pueden evaluar por separado. Se utiliza una muestra de al menos 20 puntos de control bien definidos y bien distribuidos. Se utiliza un error absoluto medio límite (δo) en una prueba T-Student para el sesgo. Se considera un valor de desviación típica límite (σ _o) como hipótesis nula de la prueba Chi-cuadrado relativa a la dispersión.
Procedimiento	<ol style="list-style-type: none"> 1. Seleccionar una muestra de n puntos, siendo $n \geq 20$. 2. Calcular el error de cada punto en cada componente: $e_{x_i} = x_{p_i} - x_i \quad e_{y_i} = y_{p_i} - y_i \quad e_{z_i} = z_{p_i} - z_i$ siendo: x_i, y_i, z_i las coordenadas en el CDR. $x_{p_i}, y_{p_i}, z_{p_i}$ las coordenadas en el CDE. 3. Calcular el error medio de cada componente: $\bar{e}_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n e_{x_i} \quad \bar{e}_y = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n e_{y_i} \quad \bar{e}_z = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n e_{z_i}$ 4. Calcular la desviación típica muestral en cada componente: $S_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (e_{x_i} - \bar{e}_x)^2} \quad S_y = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (e_{y_i} - \bar{e}_y)^2} \quad S_z = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (e_{z_i} - \bar{e}_z)^2}$ 5. Efectuar, para cada componente, el test de cumplimiento del estándar para determinar si el error medio es aceptable (que implica ausencia de sesgo). Para ello se realizará un test sobre la media, bajo el supuesto de varianza poblacional desconocida, estableciendo las siguientes hipótesis: $H_0: \mu_p = 0 \quad H_1: \mu_p \neq 0$ El mapa superará el test con un nivel de significación α si se cumple que: $t_x \leq t_{n-1, \alpha/2} \quad t_y \leq t_{n-1, \alpha/2} \quad t_z \leq t_{n-1, \alpha/2}$ donde: $t_{n-1, \alpha/2}$ Valor de la distribución t de Student, con $n-1$ grados de libertad. t_x, t_y, t_z Resultado de calcular los siguientes estadísticos: $t_x = \frac{\bar{e}_x \sqrt{n}}{S_x} \quad t_y = \frac{\bar{e}_y \sqrt{n}}{S_y} \quad t_z = \frac{\bar{e}_z \sqrt{n}}{S_z}$ 6. Efectuar, para cada componente, el test de cumplimiento del estándar para determinar si la desviación típica muestral se encuentra entre los límites aceptables. Para ello se realizará un test sobre la varianza, estableciendo las siguientes hipótesis, en relación con un máximo valor de varianza $\sigma_{0x}^2, \sigma_{0y}^2, \sigma_{0z}^2$ preestablecido y concretado sobre cada componente: $H_0: \sigma_p^2 \leq \sigma_0^2 \quad H_1: \sigma_p^2 > \sigma_0^2$ El producto superará el control con un nivel de significación α si se cumple que: $\chi_x^2 \leq \chi_{n-1, \alpha}^2 \quad \chi_y^2 \leq \chi_{n-1, \alpha}^2 \quad \chi_z^2 \leq \chi_{n-1, \alpha}^2$ siendo: $\chi_{n-1, \alpha}^2$ Valor teórico de la distribución Chi cuadrado, con $n-1$ grados de libertad. $\chi_x^2, \chi_y^2, \chi_z^2$ Resultado de calcular los siguientes estadísticos:

	$\chi_x^2 = \frac{S_x^2(n-1)}{\sigma_{0x}^2}; \chi_y^2 = \frac{S_y^2(n-1)}{\sigma_{0y}^2}; \chi_z^2 = \frac{S_z^2(n-1)}{\sigma_{0z}^2}$
Fuente	ASCE (1983). <i>Map Uses, scales and accuracies for engineering and associated purposes</i> . American Society of Civil Engineers, Committee on Cartographic Surveying, Surveying and Mapping Division, New York, USA.

NSSDA

El NSSDA (*National Standard for Spatial Data Accuracy*) (FGDC, 1998), fue propuesto por el por el *Federal Geographic Data Committee para sustituir al NMAS y al estándar ASPRS (ASPRS, 1990)* con motivo del auge de los datos digitales en la década de los 90. Actualmente es de obligado cumplimiento para todas las agencias federales de los EE.UU. que realizan labores de producción cartográfica. Además, este método es la base del nuevo estándar *ASPRS Accuracy Standards for Digital Geospatial Data* (ASPRS,2015) en todo lo referido a la determinación de la exactitud posicional cuando se acepta que los errores posicionales siguen un modelo normal. Por todo lo anterior, se trata de un estándar que se encuentra ampliamente difundido en todo el mundo. El NSSDA se basa en asumir la normalidad de los datos de error (base paramétrica), pero no proporciona directrices sobre la verificación esta hipótesis. El NSSDA no es un método de control de la exactitud posicional, pues no establece la aceptación o rechazo, su resultado es un valor, por lo que se trata de un método de estimación. El NSSDA realiza una estimación *sui generis* pues no vincula el tamaño de muestra con el tamaño de la población¹⁵. Este método permite obtener un índice de exactitud posicional en unidades reales, sobre el terreno, pero no dice si el conjunto de datos es aceptado o rechazado, tal y como hacían los métodos anteriores. Queda de la parte del usuario el interpretar si ese valor le resulta satisfactorio o no. Por otro lado, este valor estimado de exactitud posicional no se complementa con su incertidumbre, por lo que tiene un valor estadístico limitado. Según Ariza-López (2008b) el NSSDA realiza una subestimación del valor real, para el caso de tomar 20 puntos tiene una variabilidad en el orden de $\pm 11\%$ y se necesitan más de 100 puntos de control para reducir la variabilidad al $\pm 5\%$. En la Tabla 6 se presenta la descripción del estándar.

¹⁵ De manera novedosa a lo que son los métodos de evaluación de la exactitud posicional, en el estándar *Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data* (ASPRS,2015) se vincula el número de puntos de control con la superficie de proyecto que se está controlando.

Tabla 6. Estándar NSSDA (fuente FGDC 1998)

Método de comparación	Con fuentes de mayor exactitud
Componente posicional	Horizontal y vertical, separadamente
Clase de elementos	Puntos bien definidos.
Estándar de exactitud	No hay tolerancias, valores limitantes o restricciones similares. Se proporciona un resultado y el usuario debe considerar si es adecuado o no para su propósito. Informe: Se informa de la exactitud estimada al 95 % de confianza tanto para el caso horizontal como vertical. En el producto se debe incluir la leyenda: « Probado __ metros de exactitud horizontal con un nivel de confianza del 95 % Probado __ metros de exactitud vertical con un nivel de confianza del 95 % »
Descripción	El producto (p) se compara con una referencia de mayor exactitud. Las componentes horizontales y verticales se evalúan por separado. Se utiliza una muestra de al menos 20 puntos de control bien definidos y distribuidos. El NSSDA usa el ECM para estimar la exactitud posicional. La exactitud se informa en distancias terrestres al nivel de confianza del 95 %. Se supone que los errores sistemáticos se han eliminado lo mejor posible. Se supone que los errores se distribuyen normalmente y son independientes en cada componente de error. Se limita la falta de homocedasticidad.
Procedimiento	<ol style="list-style-type: none"> 1. Seleccionar una muestra de n puntos, siendo $n \geq 20$. 2. Calcular el error de cada punto en cada componente: $e_{x_i} = x_{p_i} - x_i \quad e_{y_i} = y_{p_i} - y_i \quad e_{z_i} = z_{p_i} - z_i$ siendo: x_i, y_i, z_i las coordenadas en el CDR. $x_{p_i}, y_{p_i}, z_{p_i}$ las coordenadas en el CDE. 3. Calcular el error medio cuadrático de cada componente: $ECM_X = \sqrt{\frac{\sum e_{x_i}^2}{n}} \quad ECM_Y = \sqrt{\frac{\sum e_{y_i}^2}{n}} \quad ECM_Z = \sqrt{\frac{\sum e_{z_i}^2}{n}}$ 4. Obtener el valor NSSDA_H horizontal: si $ECM_X = ECM_Y$ $\left \begin{array}{l} NSSDA_H = 2,4477 \cdot 2^{1/2} \cdot ECM_r = 2,4477 \cdot ECM_X \\ \text{donde: } ECM_r = (ECM_X^2 + ECM_Y^2)^{1/2} \end{array} \right.$ si $ECM_X \neq ECM_Y$ y $0,6 < (ECM_{min} / ECM_{max}) < 1,0$ $\left \begin{array}{l} NSSDA_H = 2,4477 \cdot 0,5 \cdot (ECM_X + ECM_Y) \end{array} \right.$ 5. Obtener el valor NSSDA_Z vertical según la siguiente expresión: $NSSDA_Z = 1,9600 \cdot ECM_Z$
Fuente	FGDC (1998). <i>FGDC-STD-007: Geospatial Positioning Accuracy Standards, Part 3. National Standard for Spatial Data Accuracy.</i> Federal Geographic Data Committee, Reston, USA.

MÉTODO GENERAL PARA LA EVALUACIÓN DE EXACTITUD POSICIONAL

Considerando que la evaluación de la exactitud posicional se realizará mediante la obtención de una muestra de evaluación formada por un CDE y un CDR, donde este último procede de una observación en campo (un método directo externo según la clasificación de ISO 19157), el proceso general que se propone puede resumirse en las siguientes fases:

- Definición del proceso de evaluación de la exactitud posicional. Si existen unas especificaciones de producto de datos adecuadas, los aspectos clave de la evaluación se extraerán de ellas. En otro caso, éstos deberán ser definidos de manera previa a la evaluación. Los aspectos que definen la evaluación son:
 - El elemento de calidad. Podrá ser cualquiera de los establecidos por ISO 19157 para la exactitud posicional (p.ej. ex. posicional absoluta o relativa). Siempre que sea posible, se recomienda trabajar con la exactitud posicional absoluta.
 - El ámbito de la evaluación de la calidad. Se establecerán los aspectos temáticos, geográficos, temporales, etc., que delimiten de manera adecuada el conjunto de objetos geográficos que va a ser evaluado (p.ej. todas las construcciones en una región geográfica determinada).
 - Unidad de calidad de datos. Es la conjunción de los dos aspectos anteriores.
 - Nivel de conformidad. En el caso de un control de calidad, deberá existir uno o más niveles de conformidad que se utilicen para tomar la decisión de aceptación/rechazo del producto (p.ej. no más del 10 % de errores posicionales mayores que una tolerancia dada).
 - Método de evaluación. Debe ser la especificación del procedimiento de evaluación. No basta con indicar la aplicación de un estándar de evaluación de la exactitud posicional (p.ej. NMAS, EMAS, NSSDA). El método de evaluación al que nos estamos refiriendo debe abarcar todos los aspectos relevantes de la evaluación incluyendo: exactitud necesaria, tamaño y generación de la muestra de control, directrices de trabajo en campo (p.ej. técnicas de levantamiento, casos especiales, etc.), procesado estadístico de los datos (p.ej. verificación de hipótesis básicas, tratamiento de valores atípicos, etc.), etc.
 - Medida de la calidad. La(s) medida(s) de la calidad deben quedar especificadas (p.ej. medida ID 45 de la lista normalizada de ISO 19157).
- Aseguramiento del proceso de evaluación de exactitud posicional. Una vez se dispone de todos los elementos que conforman la definición del proceso de evaluación de la exactitud posicional, se deberá proceder a asegurar que realmente se aplicará de manera adecuada. Para ello los aspectos a considerar son:
 - Disponer de personal cualificado. El personal que vaya a realizar los trabajos de campo y gabinete deberá disponer de la formación y capacitación adecuadas.
 - Disponer del instrumental adecuado (p.ej. equipos GNSS). Se deberá disponer de equipos adecuados para el método elegido y, además, deberán estar adecuadamente calibrados.
 - Muestra aleatoria¹⁶. Se generará una muestra de puntos de evaluación¹⁷ de manera aleatoria y que satisfaga adecuadamente las condiciones de representatividad. A modo de reserva, se propondrá un conjunto limitado de puntos de evaluación sustitutorios (Tabla 7).
 - Planificación de los trabajos de campo. Se planificarán las rutas, fechas y horas de los trabajos según es usual en los proyectos de ingeniería.
 - Planificación de los trabajos de gabinete. Se planificarán los trabajos de procesamiento en gabinete según es usual en los proyectos de ingeniería.

¹⁶ Si bien este aspecto es metodológico, se ha incluido en el bloque de aseguramiento por ser clave a la hora de conseguir la representatividad de la muestra.

¹⁷ Tradicionalmente se les denomina puntos de control, pero dado que en esta guía el término control tiene una acepción restringida, se les denomina puntos de evaluación, de tal forma que sirven tanto para estimar como para controlar el producto.

Tabla 7. Sustituciones, movimiento y desplazamiento de puntos de evaluación (fuente JRC 2012)

Operación	Puntos de evaluación
Reemplazo	2
Movimiento Desplazamiento	2
<p><small>Nota: Reemplazo se refiere a la sustitución de un punto de control que no es accesible por otro que sí lo es. Movimiento se refiere a puntos accesibles pero que presentan algún problema (p.ej. obstáculos que impiden buena recepción de señal GNSS). En este caso se localiza otro punto en los alrededores del punto inicialmente identificado. Desplazamiento se refiere a dar posicionamiento excéntrico cuando existe el problema detectado en el caso del movimiento y no se puede encontrar otro punto adecuado.</small></p>	

- Trabajo de campo. Se ejecutarán los trabajos de campo consistentes en la obtención de las observaciones precisas sobre los objetos del terreno de que forman el CDR de la muestra de evaluación. Aspectos relevantes de este proceso son:
 - Identificación inequívoca de los objetos y sus rasgos. No puede existir error en la identificación en campo de los objetos y rasgos que forman parte de la muestra de evaluación (p.ej. el objeto es una construcción y su rasgo elegido para tomar la medida es la esquina sur izquierda). Deberá asegurarse que no se comente ningún error de identificación y generarse evidencias de la correcta identificación (p.ej. croquis, fotografías, etc.).
 - Observación. El método de levantamiento seleccionado (p.ej. GNSS en estático rápido) deberá ejecutarse (p.ej. hora de captura, máscara de horizonte, evitación del efecto multicamino e interferencias electromagnéticas, etc.), siguiendo un procedimiento estandarizado previamente por la organización, y tal que se asegure la obtención de las exactitudes propias de ese método.
- Trabajo de gabinete. Se ejecutarán los trabajos de procesado en gabinete consistentes en la obtención de las coordenadas precisas de los objetos campo/producto (CDR y CDE) que forman la muestra de evaluación. Aspectos relevantes de este proceso son:
 - Procesado de observaciones. Las observaciones de campo serán procesadas mediante una herramienta de cálculo y siguiendo un procedimiento estandarizado previamente por la organización, y tal que se asegure la obtención de las exactitudes propias de ese método.
 - Identificación inequívoca en el conjunto de datos. No puede existir error en la identificación de los objetos y rasgos homólogos a los del campo en el conjunto de datos. Deberá asegurarse que no se comete error alguno.
 - Verificación de prerrequisitos cartográficos. Se deberá verificar que las coordenadas campo y CDE corresponden a un mismo sistema de referencia y proyección.
 - Verificación de hipótesis estadísticas sobre el error posicional. Se deberá verificar que se cumplen las hipótesis estadísticas que se requieran como base para la aplicación del método estadístico que se utilice para el análisis (p.ej. normalidad, homocedasticidad, atípicos, etc.). Se seguirá un procedimiento estandarizado previamente por la organización para este proceso.
 - Aplicación de uno o más MEEP para la evaluación de la exactitud posicional (p.ej. NMAS, EMAS, NSSDA). Se seguirá un procedimiento estandarizado previamente por la organización para este caso.
 - Análisis y e informe. Se analizarán los resultados numéricos, se generarán salidas gráficas (p.ej. mapa de distribución de errores, etc.). Se seguirá un procedimiento estandarizado previamente por la organización para este caso (p.ej. una plantilla de resultados).

ASPECTOS RELATIVOS A LA EJECUCIÓN

En este apartado se van a considerar una serie de aspectos relativos a la ejecución y que tienen una especial relevancia a la hora de asegurar la calidad de la evaluación realizada (metacalidad).

DATOS DE REFERENCIA PARA LA EVALUACIÓN

Para una evaluación válida se requiere disponer de una fuente externa e independiente (método de evaluación directo externo) que permita generar el CDR y, además, que en la ejecución de los trabajos se cumplan unos requisitos mínimos para asegurar la confianza en los resultados. La referencia puede proceder una captura *ad hoc* sobre el mundo real, por medio de un trabajo de campo, o de cualquier otro conjunto de datos, que cumpla las siguientes exigencias:

1. **Independencia.** La referencia no debe compartir con el producto en evaluación procesos comunes. Procesos independientes son los realizados en fechas distintas, los realizados por grupos de trabajo distintos, los realizados con instrumental distinto, etc. En caso de duda se podrán aplicar técnicas estadísticas para demostrar y evidenciar la independencia.
2. **Mayor exactitud.** La exactitud de la referencia debe ser, como mínimo, tres veces mayor que la exactitud del CDE. Para asegurar este requisito se necesita conocer el método de creación del CDE y diseñar y ejecutar un método de captura del CDR que asegure este requisito.
3. **Compleción.** La muestra de evaluación debe ser coherente con el ámbito de la evaluación de la calidad declarado; cubriendo adecuadamente todos los aspectos que definen ese ámbito (p.ej. espacial, temporal, temático).

Se recomienda que el CDR proceda de diseños *ad hoc*, que sea generada por métodos más exactos, ejecutada con procesos más cuidados y sobre una realidad más completa que el producto. En los subapartados siguientes se incide en estos aspectos.

EXACTITUD DE LOS TRABAJOS DE CONTROL

Los trabajos de evaluación de la exactitud posicional deben reflejar la exactitud propia de los datos de interés a evaluar (el CDE) y no verse afectados por el método de evaluación. Por ello, para reducir al máximo los efectos que el CDR utilizado pudiera ocasionar sobre la evaluación, siempre se debe procurar usar fuentes de mayor exactitud que el CDE que se está evaluando. Para asegurar esto, una regla general es utilizar una referencia cuyas coordenadas procedan de procesos independientes a los que originan los datos a evaluar y que sean, al menos, tres veces más exactas (es decir, con una incertidumbre tres veces menor). Esta regla (independencia y mayor exactitud) tiene su justificación estadística. La independencia de los procesos de control y producción es necesaria pues, si no existiera, no se podría detectar la existencia de sesgos. Por su parte, la exigencia de mayor exactitud (menor incertidumbre) en el CDR permite que, desde la perspectiva de la composición o propagación de las incertidumbres, la repercusión práctica de la exactitud del CDR esté acotada (en torno al 5 % del valor estimado para el caso de la relación 1:3 que se ha indicado -al menos tres veces más exacta-).

En función de lo anterior, es básico determinar cuál es la exactitud teórica del producto a evaluar, pues ésta condiciona la exactitud de la referencia a utilizar para su evaluación y el método de obtención de las coordenadas. Por ejemplo, supóngase un CDE a una escala 1:5.000 y que se quiere fijar su exactitud

teórica máxima en función del límite de percepción del ojo humano. Si este límite se establece en ¼ de milímetro, y se le asocia una probabilidad del 95 % (en un 5 % de los casos podrá ser rebasado), esto implica que un círculo de incertidumbre expandida al 95 % tendrá $0.00025 \times 5000 = 1.25$ m de radio. Por tanto, para que el CDR sea, al menos tres veces más exacto, se requerirá una incertidumbre típica de $1/3 \times 1.25 / k = 0.17$ m (o inferior), donde k es el factor de cobertura obtenido de la distribución normal circular¹⁸. A partir de este conocimiento se puede ya determinar el método de observación y cálculo GNSS que garantice esta exactitud (p.ej. RTK, Stop & Go, estático rápido, etc.).

Otro aspecto a considerar es el tipo de datos; no es lo mismo una evaluación para altimetría, planimetría, un mosaico, elementos vectoriales, nubes de puntos o MDT. Por lo tanto, cada requisito debe ser atendido de manera especial, pues el método de trabajo en terreno, el tipo de elementos de control y el tipo de muestreo no necesariamente serán iguales.

CANTIDAD Y DISTRIBUCIÓN DE LOS PUNTOS DE EVALUACIÓN

Tanto los procesos de estimación como de control se basan en muestras representativas. Por lo tanto, es fundamental tener criterios claros relativos a la cantidad de muestra, o tamaño de muestra, y a los aspectos cualitativos que la hacen representativa. Como se ha avanzado, los métodos con perspectivas de estimación y de control requieren tamaños de muestra distintos pues sus fines son distintos.

Cantidad en estimación. En estimación el tamaño de muestra se debe relacionar con el tamaño de la población, la variabilidad de la característica de interés en la población, la precisión deseada para la estimación y un nivel de significación. En el caso de la evaluación de la exactitud posicional, características de interés en la población pueden ser la media del error y la desviación típica. Para el caso de MEEP basados en conteos, también es de interés estimar la proporción de errores mayores de una(s) tolerancia(s) determinada(s). Para el caso particular de la exactitud posicional, en los estándares se ha venido considerando un tamaño mínimo de 20. Existen numerosos trabajos que indican que esta cantidad no es adecuada para los procesos de estimación de la exactitud posicional. A continuación se presentan las fórmulas que permiten derivar los tamaños de muestra para cada uno de los casos anteriores:

- Estimación de la media. La determinación del tamaño de muestra es directa a partir de la Ec.3.

$$n = \frac{N\hat{\sigma}^2}{\hat{\sigma}^2 + N \frac{e^2}{t_{\alpha/2}^2}} ; \text{ si } N \rightarrow \infty \quad n = \frac{t_{\alpha/2}^2 \hat{\sigma}^2}{e^2} \quad \text{Ec.3}$$

- Estimación de la proporción. La determinación del tamaño de muestra es directa a partir de Ec.4.

$$n = \frac{N \cdot P \cdot Q}{P \cdot Q + \frac{(N-1) \cdot e^2}{z_{\alpha/2}^2}} ; \text{ si } N \rightarrow \infty \quad n = \frac{z_{\alpha/2}^2 \cdot P \cdot Q}{e^2} \quad \text{Ec.4}$$

- Estimación de desviación típica. La determinación del tamaño de muestra es un proceso más complejo puesto que la distribución Chi cuadrado que modeliza el comportamiento de la varianza no es simétrica y su forma depende de los grados de libertad (el tamaño de la muestra). Este caso se resuelve de manera iterativa a partir de Ec.5 y Ec.6 donde se puede trabajar fijando dos de los tres parámetros que intervienen (u , n , α).

$$\alpha = p_1 + p_2 \quad \text{Ec.5}$$

¹⁸ El factor de cobertura k tiene un valor de 2,4477 para una probabilidad del 95 % en la distribución normal circular.

$$p_1 = P \left[\frac{(n-1)s^2}{\sigma^2} > (1+u)^2(n-1) \right] = P[\chi_{n-1}^2 > (1+u)^2(n-1)] \quad \text{Ec.6a}$$

$$p_2 = P \left[\frac{(n-1)s^2}{\sigma^2} < (1-u)^2(n-1) \right] = P[\chi_{n-1}^2 < (1-u)^2(n-1)] \quad \text{Ec.6b}$$

donde:

p	Probabilidad de asignación correcta en el modelo binomial.
$q = 1 - p$	Probabilidad de asignación incorrecta en el modelo binomial.
N	Tamaño de la población.
n	Tamaño de la muestra.
α	Nivel de significación deseado.
e	Error permitido en la estimación por muestreo en unidades del parámetro que se estima.
u	Error permitido en la estimación por muestreo como fracción de la desviación.
$Z_{\alpha/2}$	Estadístico correspondiente a la distribución normal con significación α .
$t_{\alpha/2}$	Estadístico correspondiente a la distribución T-Student con significación α .
χ_{n-1}^2	Estadístico correspondiente a la distribución Chi cuadrado con $n-1$ grados de libertad.

Así, por ejemplo, vamos a considerar el caso de un modelo digital de elevaciones del terreno de tipo malla que representa una zona extensa y de superficie de suelo desnuda, del cual se desea estimar la media del error en la coordenada Z. Según ASPRS (2015) en este caso se puede suponer la normalidad de los errores altimétricos. Además, se va a considerar que el tamaño de la población es infinito ($N \rightarrow \infty$). En este caso, se puede aplicar la fórmula presentada en la Ec.3. Para determinar un tamaño de muestra se requiere como valores de entrada: i) una estimación para la desviación típica de esa población, ii) el error permitido en la estimación y iii) el nivel de significación. Para fijar las ideas sobre la importancia de la precisión de la estimación, en la Tabla 8 se presentan resultados para valores distintos de este parámetro considerando el resto constantes (*ceteris paribus*). Como se puede observar la relación entre los valores mayores y menores de precisión es de 1 a 4 (0.5m frente a 2 m), mientras que la relación de los tamaños muestrales correspondientes es de 16 a 1 (753 frente a 47) lo que evidencia la repercusión de este parámetro.

Tabla 8. Tamaño muestral para estimar la media del error de un modelo de elevaciones del terreno en función de la precisión deseada

N	σ (m)	$Z_{\alpha/2}$ $\alpha=0.5$	Precisión en la estimación ($\pm m$)	Tamaño Muestral
∞	7	1,96	0,5	753
∞	7	1,96	0,75	335
∞	7	1,96	0,9	232
∞	7	1,96	1	188
∞	7	1,96	1,1	156
∞	7	1,96	1,2	131
∞	7	1,96	1,3	111
∞	7	1,96	1,4	96
∞	7	1,96	1,5	84
∞	7	1,96	1,6	74
∞	7	1,96	1,7	65
∞	7	1,96	1,8	58
∞	7	1,96	1,9	52
∞	7	1,96	2	47

Cantidad en control. En el caso de control por medio del contraste estadístico de hipótesis, cualquier tamaño de muestra asegura el error de tipo I (riesgo del productor). En los procesos de control el tamaño de muestra se relaciona más con el error de tipo II (riesgo del usuario). Así, se requerirán mayores tamaños de muestra cuanto menor error de tipo II se desee. Como se ha indicado, para el caso particular de la exactitud posicional, en los estándares se ha venido considerando un tamaño mínimo de 20. Este valor puede ser adecuado para los controles de calidad que pretenden asegurar el error de tipo I pero no para aquellos que también pretendan asegurar el error de tipo II. En el caso de los MEEP, sólo desde hace muy poco tiempo se sugieren tamaños de muestra ligados al tamaño del proyecto a controlar, así el método ASPRS (2015) incluye una tabla con el número de elementos de control según el número de hectáreas, tal y como se muestra a continuación en la Tabla 9. La norma UNE 148002 (UNE 2016) también utiliza tamaños de muestra en función de los tamaños de la población a evaluar (lote) para lo que se apoya en la Norma Internacional ISO 2859, partes 1 (ISO 1999) y 2 (ISO 1985), según el caso de suministro lote a lote o por lote aislado, respectivamente.

Tabla 9. Tamaños de muestra recomendados en función de la superficie del proyecto (fuente: ASPRS 2015)

Superficie del proyecto (km ²)	Evaluación de la exactitud horizontal de ortoimágenes y planimetría	Evaluación de la exactitud horizontal y vertical de conjuntos de datos de elevaciones		
	Nº total de puntos estáticos de evaluación 2D/3D (puntos bien definidos)	Nº de puntos estáticos de evaluación 3D en terreno no vegetado	Nº de puntos estáticos de evaluación 3D en terreno vegetado	Nº total de puntos estáticos de evaluación 3D
≤500	20	20	5	25
501-750	25	20	10	30
751-1000	30	25	15	40
1001-1250	35	30	20	50
1251-1500	40	35	25	60
1501-1750	45	40	30	70
1751-2000	50	45	35	80
2001-2250	55	50	40	90
2251-2500	60	55	45	100

Distribución. La selección de los puntos de evaluación debe ser acorde con el ámbito definido en las especificaciones para la evaluación de la exactitud posicional (la unidad de calidad de datos). Además de cumplir este requisito, se requiere una distribución adecuada de los puntos de evaluación para alcanzar la representatividad, y para ello se establecen dos requisitos básicos:

- **Aleatoriedad.** Los puntos de evaluación deben ser seleccionados de manera aleatoria de entre los objetos geográficos que pertenecen a la subpoblación delimitada por el ámbito. Si la selección no es aleatoria (p.ej. realizada por un operador), se estará introduciendo sesgo en la muestra. Dado que no siempre se podrán observar todos los puntos inicialmente determinados por problemas de accesibilidad diversos (p.ej. propietario, inundación, destrucción, etc.), se debe utilizar una lista de puntos sustitutorios previamente determinada y también seleccionados de manera aleatoria.
- **Representatividad.** Esta representatividad se refiere a una adecuada distribución espacial, temática, temporal, etc. Para el caso de la distribución espacial existen recomendaciones como la que se presenta en la Figura 5 que es válida para el caso de que el área a controlar sea uniforme respecto de sus elementos y su incertidumbre, tal que se pueda considerar una distribución homogénea. En la Figura 5 se recomienda una distribución por cuadrantes, donde en cada cuadrante se localice, al menos, el 20 % de los puntos de control y tal que la distancia entre estos elementos esté en el orden de un 1/10 de la diagonal¹⁹. Indudablemente, si se trata de controlar la exactitud posicional de un conjunto de datos que se utiliza en un proyecto de ingeniería de una obra lineal (p.ej. vía férrea, autopista, etc.) la forma del área de interés será alargada y se deberá

¹⁹ En JRC 2012 se indica que esta distancia no sea inferior a 1/7 de la diagonal.

pensar en un criterio de distribución espacial más acorde con este caso. Con vistas a que la zona de interés quede realmente cubierta y no existan problemas de extrapolación en los bordes, en JRC (2012) se indica que los puntos de evaluación temáticos deben cubrir el área de interés y un orlado (un 25 %), y que los puntos de control deben distribuirse entre ambas áreas en una relación de 80 % (área de interés) y 20 % (orlado). Esta consideración puede ser igualmente válida para la evaluación de la exactitud posicional.

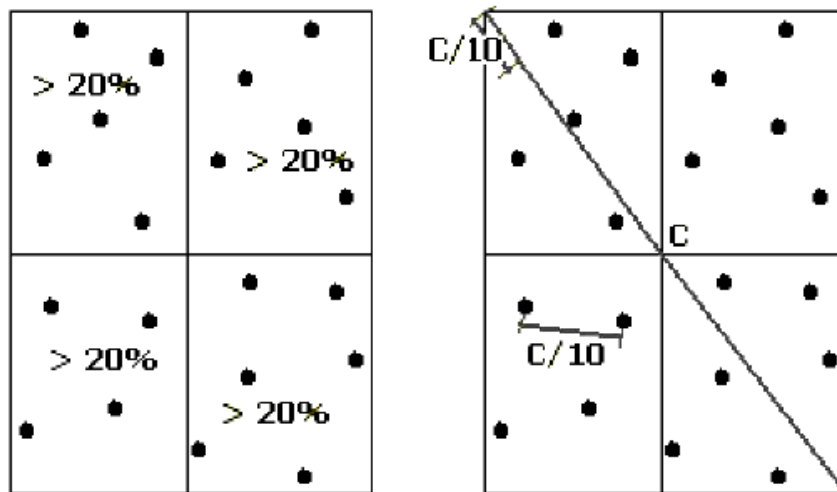


Figura 5. Recomendación para la distribución espacial de los puntos de evaluación (Fuente: MPLMIC 1999)

IDENTIFICACIÓN Y OBSERVACIÓN DE LOS PUNTOS DE EVALUACIÓN EN CAMPO

La ejecución del trabajo de campo es un aspecto clave para disponer de una referencia adecuada y, por tanto, para asegurar una evaluación de exactitud posicional bien ejecutada. Se debe asegurar este paso del proceso con el mayor esfuerzo e interés posible, pues una mala praxis de estos trabajos supondrá la invalidez de todo el trabajo de evaluación. Todos los desplazamientos a campo son muy costosos, por lo que debe asegurarse su ejecución correcta a la primera, si no se desean desviaciones de las planificaciones. Algunas directrices para su ejecución son las siguientes:

- **Identificación inequívoca.** Sólo se observarán los puntos de evaluación planificados que, visitados en campo, no presenten duda alguna en su identificación inequívoca (se trata realmente de ese punto). En caso de duda se tomará un punto de reserva.
- **Observación.** La observación de las coordenadas del punto de evaluación planificado, por ejemplo, mediante técnicas GNSS, se realizará siempre que existan condiciones óptimas para ello (suficiente horizonte de observación, sin presencia de antenas o elementos radio-eléctricos, etc.). En caso de no poder realizar una observación directa sobre la posición se podrá realizar una captura excéntrica siempre que los métodos auxiliares no degraden la exactitud de la coordenada final asignada a ese elemento en relación con las necesidades de la evaluación. En todo caso, se deberá reflejar claramente en los croquis y reseñas de los puntos de evaluación. A continuación, se presentan 3 casos que permiten apreciar diferentes situaciones posibles en el trabajo en campo (Figura 6):
 - ▭ Caso A. Es un quiebro aislado de una alambrada que está formando un ángulo de casi 90° , por lo que su identificación en terreno y en el CDE es muy fácil y ofrece poca incertidumbre posicional y escasa posibilidad de equivocación. Además, se trata de un terreno llano y sin obstáculos para la observación GNSS.
 - ▭ Caso B. Es una intersección de caminos, en este caso el punto medido no tiene una representación real en el terreno, por lo tanto, es necesario estimar la intersección de los ejes,

para lo cual deben efectuarse mediciones auxiliares para localizarlo. Este tipo de puntos es de menor exactitud que el Caso A.

- ▭ Caso C. Se trata de un punto ubicado en la esquina de la casa que no es posible medir por problemas de colocación de la antena y la afección que existiría sobre el horizonte de observación de la antena. Por ello se traslada el punto de observación a una posición con una distancia adecuada para la realización de las observaciones GNSS. Se trata de una medición excéntrica que puede estar apoyada por técnicas topográficas y de reconstrucción de coordenadas por geometría.

En los casos B y C son las mediciones auxiliares las que, si no se cuidan, pueden llegar a degradar la exactitud posicional alcanzada con la observación GNSS. La exactitud final de la posición deberá seguir siendo válida para el propósito de la evaluación («al menos tres veces mejor que la del producto»).

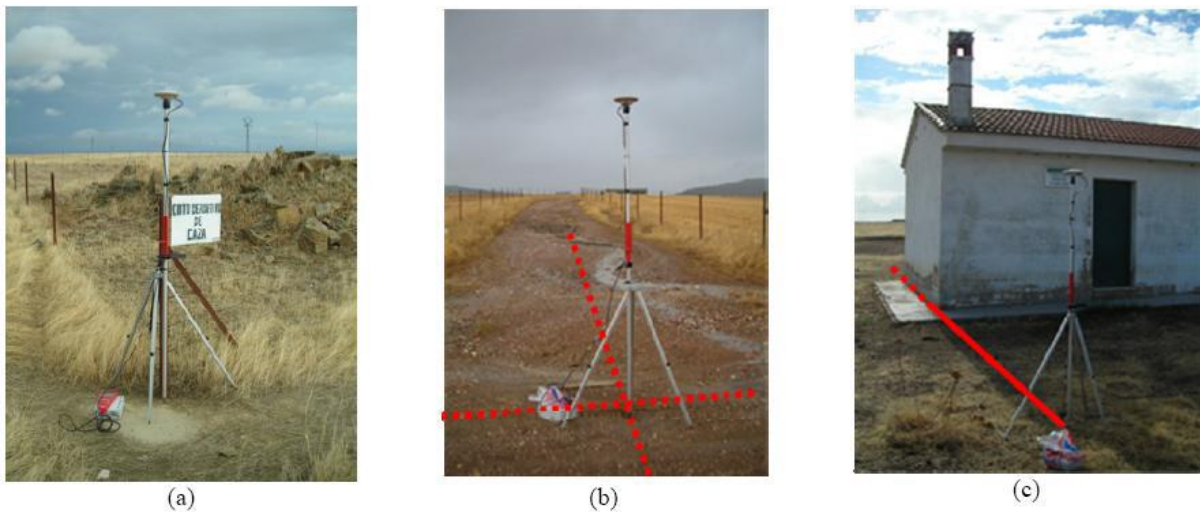


Figura 6. Ejemplos de situaciones que pueden darse durante los trabajos de campo para la obtención de las coordenadas de los puntos de evaluación (Fuente: Fundamentos de Evaluación de la Calidad de la Información Geográfica (Ariza-López Ed. 2013))

- **Reseña del punto de evaluación.** Siempre que se proceda al levantamiento de un punto de evaluación se tomarán fotografías y se creará un croquis con el nivel de detalle adecuado a las necesidades de la evaluación y tipo de producto. Toda esta información se incluirá en la reseña de cada uno de los puntos de evaluación para que pueda ser consultada y utilizada en la fase de producción, pero también en la de auditoría y metacalidad de los procesos. La Figura 7 presenta ejemplos de croquis.

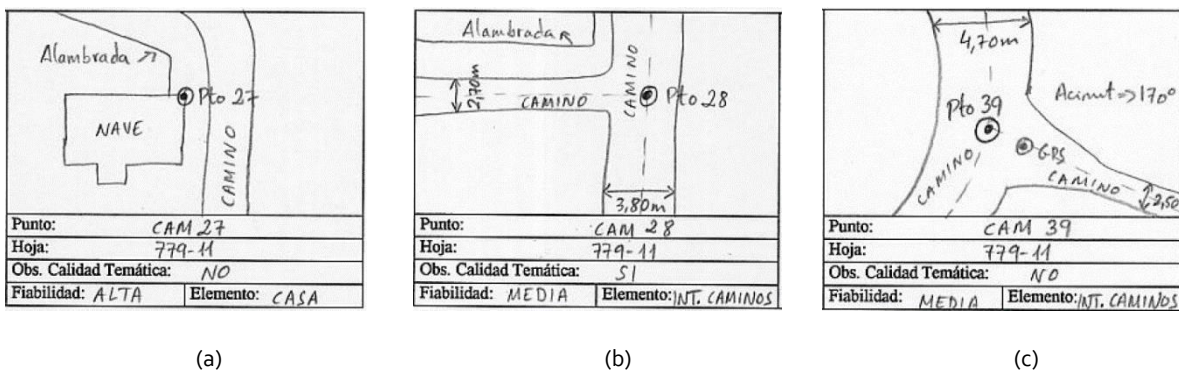


Figura 7. Ejemplos de croquis para una reseña (Fuente: Ariza-López Ed. 2013)

IDENTIFICACIÓN Y OBSERVACIÓN DE ELEVACIONES EN CAMPO

La evaluación de la exactitud posicional puede desarrollarse sobre productos altimétricos como son los modelos digitales de elevaciones (MDE). En este caso es usual adoptar como hipótesis que la exactitud posicional planimétrica es adecuada y evaluar la componente vertical de manera independiente.

En los MDE de tipo malla (*grid*), que son los más extendidos, no existen puntos bien definidos ni fácilmente identificables. Por este motivo se requiere un método específico que permita superar esta limitación. Este método se basa en dos elementos: planos de pendiente constante y un proceso de interpolación. En línea con esto último, dado que existen multitud de métodos de interpolación y que cada uno de ellos al aplicarlo sobre un mismo conjunto de datos puede dar valores muy distintos, se han de plantear métodos que limiten esta circunstancia. La opción proviene de limitar la interpolación al método más elemental y que mejor se ajuste a la realidad del terreno. Para ello se toma como condición de trabajo que los puntos de referencia se tomen sobre superficies del terreno que puedan ser consideradas como un plano, es decir, que tengan pendiente constante. Estos planos pueden ser determinados fácilmente con un análisis SIG²⁰ de forma previa en gabinete. Además, este aspecto puede ser confirmado, *de visu*, con bastante aproximación y seguridad en campo. Estos planos deben ser tales que tengan representación a la propia resolución del modelo, por ello se ha de pensar en un tamaño, al menos de dos veces el paso de malla (lado $\approx 2 \times$ paso de malla). De esta forma, los puntos pertenecen a un plano y el método de interpolación adecuado es el lineal. A la condición anterior del plano se le impone una restricción adicional que consiste en limitar su pendiente. Se pretende con ello limitar la influencia de la exactitud (inexactitud) de la componente planimétrica sobre la evaluación de la componente altimétrica²¹. Por ello, las pendientes de estos planos conviene que sean las menores posibles. Todas estas condiciones pueden manejarse adecuadamente en gabinete utilizando capacidades SIG para el diseño de la muestra de control.

En relación con la ejecución de la observación, una vez localizado el plano de pendiente constante, se levantarán 4 puntos (cuarteta) mediante una metodología GNSS adecuada a la exactitud exigida para la referencia. La distribución espacial horizontal relativa de este cuarteto de puntos será la de un cuadrilátero cuyo lado sea al paso de malla del MDE que se evalúa, lo que garantiza que en su interior exista un punto de la malla del producto a evaluar. Una vez se dispone de las coordenadas de la cuarteta, se ajustará un plano por mínimos cuadrados con todas ellas y en ese plano, por interpolación lineal, se obtendrá la coordenada altimétrica del punto de la malla que aparece en su interior. La Figura 8 presenta este esquema. Con línea discontinua se representa una zona que se puede asumir como un plano, con cruces se representan los puntos de la malla, con círculos la cuarteta, en cuyo interior se haya el punto de la malla cuyo valor altimétrico se obtendrá por interpolación lineal en el plano definido por la cuarteta.

²⁰ Sistema de Información Geográfica, entendido como herramienta de *software* con capacidad de análisis.

²¹ Pensemos que si los planos fueran de pendiente cero (terreno llano) la incertidumbre horizontal de una posición no afecta a la altimetría de esa posición.

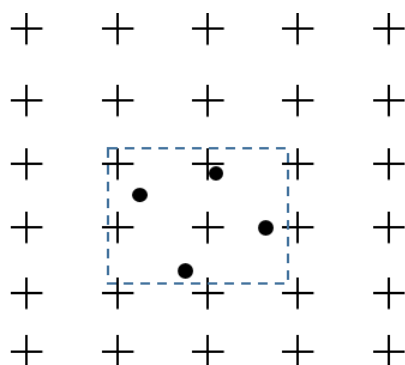


Figura 8. Ejemplo de configuración de una cuarteta

IDENTIFICACIÓN Y OBSERVACIÓN DE PUNTOS DE EVALUACIÓN EN IMÁGENES

En la evaluación de la exactitud posicional intervienen imágenes en numerosas ocasiones. En algunos casos las imágenes pueden ser utilizadas como referencia y, en otros muchos, se trata de evaluar la exactitud posicional de este tipo de producto (p.ej. un ortofotomosaico). En ambos casos el uso de la imagen para extraer coordenadas debe realizarse teniendo en cuenta todos los aspectos que afectan directamente a la extracción de coordenadas (p.ej. modelo de datos, forma de extraer las coordenadas, operador, etc.). En relación con el modelo de datos, el tamaño de píxel, o resolución espacial de la imagen, establece por sí mismo un umbral de incertidumbre sobre las posiciones extraídas²². En cuanto a la extracción de coordenadas de la imagen, en numerosas ocasiones esta actividad es realizada por operadores humanos. En este caso es usual que sea un único operador y, así, la confianza que se tiene sobre la bondad de las coordenadas extraídas se basa, única y exclusivamente, en la experiencia y habilidad de ese único operador. Esta situación no es adecuada, la extracción de las coordenadas debería proceder de un promedio de extracciones²³. Además de lo ya indicado, en la extracción de coordenadas a partir de imágenes puede ser conveniente el uso de métodos auxiliares para determinar de manera más precisa una posición, por ejemplo, el uso de alineaciones vectoriales ayuda a ubicar la posición de una intersección (Figura 9).

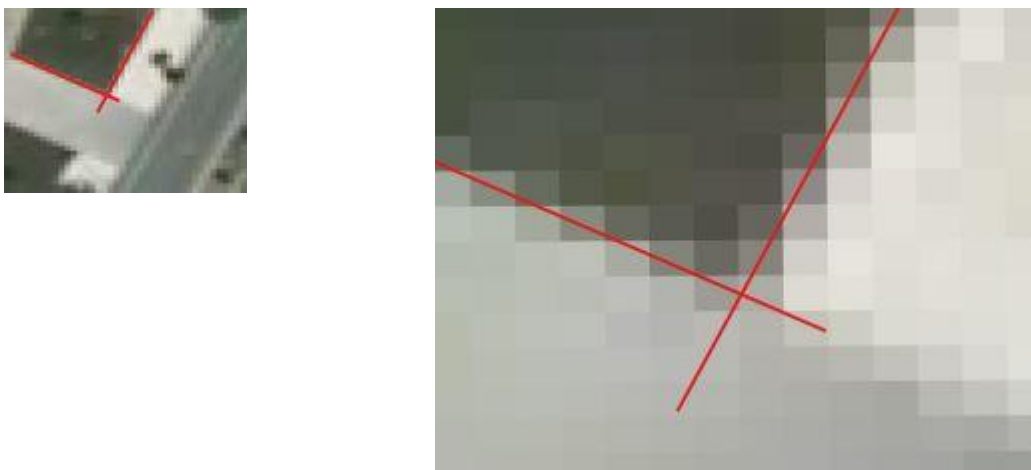


Figura 9. Ejemplo de punto de esquina en una imagen que es extraído como intersección de alineaciones

²² Si la imagen tuviera una georreferenciación perfecta, las posiciones dentro de una celda quedan asimiladas a las de la celda pues no hay rasgos identificables en su interior.

²³ Piénsese que en los métodos de captura GNSS se toman diferentes épocas y se promedian para dar una solución a un posicionamiento.

ASPECTOS ESTADÍSTICOS

De forma previa a la aplicación de cualquier método de evaluación de la exactitud posicional (p.ej. EMAS, NSSDA) se debe comprobar que se cumplen las hipótesis estadísticas sobre las que se basa ese método concreto, ya sean tanto hipótesis explícitas como implícitas o subyacentes. Así, por ejemplo, la mayoría de estos métodos consideran que los errores posicionales siguen una función de distribución estadística de tipo normal. Esto significa que los métodos de estimación, y los métodos de control en su caso, usan la distribución normal para proponer intervalos de confianza, tomar decisiones de aceptación o rechazo, etc. Por tanto, si no se cumple esta hipótesis, todo lo que se construye sobre ella queda en entredicho (la inferencia estadística realizada). Otras hipótesis son la aleatoriedad de los errores posicionales, la independencia entre las componentes (p.ej. X e Y) y un comportamiento variacional homogéneo (homocedasticidad) entre las componentes.

Aunque el objetivo de este documento no es profundizar en estos análisis estadísticos ni estandarizarlos, sí se considera relevante indicar su importancia y la necesidad de incluirlos en procesos bien documentados. A continuación se realiza una breve presentación de estos aspectos estadísticos²⁴:

- **Aleatoriedad de la muestra.** La aleatoriedad es una cualidad que deben tener los errores posicionales. Su cumplimiento suele ser habitual, pero es importante verificar la aleatoriedad en la muestra pues la falta de aleatoriedad es un indicador de algún grado de manipulación de los datos (con o sin intencionalidad). La aleatoriedad garantiza que se trata de un proceso estocástico (no determinista). Para verificar la aleatoriedad de un conjunto de datos (errores, en nuestro caso), existen numerosas pruebas estadísticas, entre ellas el test de Wald–Wolfowitz basado en la presencia de rachas.
- **Normalidad de la muestra.** La función de distribución Normal o Gaussiana es el modelo usualmente asumido por la mayor parte de los métodos de evaluación de la exactitud posicional. La no normalidad de unos errores puede ser más o menos grave. Si es leve no tendrá gran repercusión en los análisis, pero si es muy marcada (p.ej. distribución bimodal y con muchos valores extremos, etc.), el aplicar el modelo normal lleva a resultados que no son del todo válidos. De manera general, la no normalidad se puede deber a diversas causas y circunstancias, entre ellas: i) la presencia de demasiados valores atípicos, ii) la superposición de más de un proceso, iii) insuficiente discriminación en los datos (redondeos, pobre resolución, etc.), iv) eliminación de datos de la muestra, v) distribución de los valores cerca del cero o de otro límite natural, vi) datos que siguen otra distribución (p.ej. Gamma, Weibull, etc.). En el caso de datos de error posicional las situaciones más usuales son la primera y segunda. Cuando los datos se reciben de terceros, la causa cuarta también es usual. La verificación de esta hipótesis se puede realizar con pruebas gráficas (p.ej. gráficos QQ-Plot) y mediante test estadísticos apropiados como son los de Shapiro-Wilk y Lilliefors, entre otros. En la evaluación de la exactitud posicional no se puede exigir una normalidad estricta, pero sí aproximada, por ello se recomienda el test de Kolmogorov-Smirnov que es más permisivo. Se conoce que los datos altimétricos LiDAR procedentes sobre terrenos cubiertos no son normales (Maune 2007, Zandbergen 2008, 2011), y en estos casos se trabaja con percentiles o con proporciones de error (conteo de casos).
- **Presencia de sesgos.** Los sesgos o sistematismos son tendencias que se introducen en los datos con motivo de descalibraciones de equipos, de procesos con un error sistemático, de la participación de operadores²⁵, etc. La significación estadística de un sesgo se puede analizar por

²⁴ En https://coello.ujaen.es/investigacion/web_giic/SubWeb_IPGH2016/resultados.html se puede encontrar material complementario y códigos del paquete R que implementan estos análisis. En Ariza-López (2013) se puede encontrar mucho mayor detalle sobre estos aspectos y la forma de controlarlos.

²⁵ Un operador siempre se suele colocar de una manera determinada al realizar una observación y siempre introduce un error sistemático debido a ello (MSHA, 2001).

medio de un contraste de hipótesis sobre un valor de error medio. En este caso, lo usual es suponer que el error medio es nulo. En caso de presencia de un sesgo, se le debe buscar una causa asignable, es decir, la causa que lo origina. Tras la identificación de la causa y comprobación de que es la que realmente genera el sesgo, éste se podrá eliminar de los datos sin mayor problema mediante la operación matemática adecuada.

- **Detección de atípicos.** Los atípicos son valores extremadamente pequeños o grandes que ocurren en la realidad con probabilidades de ocurrencia reducida (por ello son atípicos: «poco típicos»). Si existe un porcentaje elevado de valores atípicos, entonces ya no son tan atípicos y significan la presencia de circunstancias especiales; generalmente su presencia se debe a una mixtura de procesos. Esta situación debe ser analizada y buscar la posible causa para mejorar los procesos. Los valores atípicos, al estar alejados de la media real, afectan mucho a los valores calculados de medias y desviaciones, pues tienen un efecto palanca sobre los cálculos de la estadística basada en la Normal. Así, bajo su presencia se obtienen como resultado malas estimaciones (por sobreestimación) de la media y la desviación y de todos sus derivados. Existen numerosos métodos para la detección de atípicos, por ejemplo, aplicando un factor de cobertura k a la distribución normal, el contraste gráfico, el método GESD (*Generalized Extreme Studentized Deviate*), etc. El método más sencillo es el primero, donde k es un coeficiente que cuanto más grande es, tanto mayor es el grado de atipicidad de los valores a eliminar.
- **Homocedasticidad de las componentes.** La homocedasticidad es la uniformidad en el comportamiento variacional de los errores en las componentes que se analizan de manera conjunta. Por ejemplo, para los errores en X , Y en el caso de la planimetría, usualmente se considera que $\sigma_x \sim \sigma_y$. Esta es una hipótesis asumida comúnmente y está motivada por cierta lógica en los procesos (las componentes deben funcionar más o menos igual), pero también por simplicidad de los cálculos (fórmulas). En el caso de la altimetría se trabaja muchas veces de manera independiente de la planimetría, pues el comportamiento variacional de sus incertidumbres suele ser diferente. Si la hipótesis de homocedasticidad para las incertidumbres en X , Y no se cumple se dice que existe heterocedasticidad, lo que significa que los resultados de su análisis conjunto no serán válidos. Así, por ejemplo, el NSSDA establece un rango máximo de diferencia entre la σ_x y la σ_y para que sus fórmulas sean aplicables. Existen diversos test estadísticos para verificar esta condición, entre ellos el test F , el test de Bartlett o el de Levene, entre otros.
- **No correlación de las componentes.** La correlación significa un comportamiento de una variable que puede ser descrito por otra, por lo que se puede considerar la existencia de cierta dependencia. La no existencia de correlación es una hipótesis lógica. Además, es importante verificar esta hipótesis, ya que los métodos de evaluación de la exactitud posicional se basan en su ausencia para ofrecer métodos de cálculo más sencillos. Si existiera, ésta puede ser modelada analíticamente, pero esto hace más complejos los cálculos. Algunos de los test que permiten determinar la existencia de correlación son: los coeficientes de Pearsons, de Spearman, el de Kendall, etc.

METACALIDAD DE LA EVALUACIÓN DE LA EXACTITUD POSICIONAL

La metacalidad se refiere a la calidad de unos resultados de la calidad. Es decir, dado un resultado de la calidad, por ejemplo, relativo a la evaluación de la exactitud posicional de unos datos espaciales, ¿cómo de buena es la calidad de ese resultado? El resultado podrá ofrecer un valor mayor o menor, pero su verdadera consideración no podrá hacerse si no se conoce la calidad del proceso de su obtención y, por ello, se confía en ese valor. La metacalidad ha sido propuesta en la norma internacional ISO 19157 y abarca los siguientes elementos:

- **Confianza.** Fiabilidad de un resultado de la calidad de los datos.

- **Homogeneidad.** Uniformidad esperada o comprobada de los resultados obtenidos para una evaluación de la calidad.
- **Representatividad.** Grado en que la muestra utilizada ha producido un resultado que es representativo de los datos pertenecientes al ámbito.

Hasta la fecha sólo la norma española UNE 148002 (UNE 2016) considera estos elementos en relación con la exactitud posicional. Algunas directrices para abordar estos elementos son (UNE 2016):

- **Confianza.** Se consideran dos aspectos a tener en cuenta para la confianza: los cualitativos y los cuantitativos. Los cualitativos se relacionan con el rigor en la aplicación de los métodos y la participación de expertos, los cuales son los principales garantes desde una perspectiva cualitativa. Los cuantitativos son aquellos relacionados con la cantidad en la aplicación de los métodos, por ejemplo, los tamaños de muestra, el grado de independencia estadística, la relación entre las exactitudes del CDE y del CDR, etc.
- **Homogeneidad.** Se han de considerar aspectos relacionados tanto con el CDE como con el CDR. El CDE podrá ser más o menos homogéneo debido a su génesis. Este aspecto es crítico para un CDE donde han intervenido activamente numerosas personas u organizaciones, donde concurren diversas procedencias, conocimientos, habilidades, etc., o se han aplicado diversos métodos de trabajo (p.ej. OpenStreetMap). El proceso de evaluación también puede afectar a la homogeneidad. En procesos de evaluación dilatados en el espacio o en el tiempo se deberán adoptar las medidas de gestión de la calidad adecuadas para asegurar la homogeneidad en todo momento. Elementos clave para asegurar la homogeneidad son, entre otros, el disponer de procedimientos escritos, el establecimiento de unos estándares en la formación y capacitación del personal interviniente, la inclusión de mecanismos de verificación que aseguren procesos homogéneos, etc.
- **Representatividad.** Se debe evaluar desde con una perspectiva múltiple, por ejemplo, espacial (zonas geográficas), temática (por tipología de objetos geográficos del producto de datos), temporal (por fechas), etc. Dado que en la evaluación se han de utilizar técnicas de muestreo, la representatividad debe ser analizada, en la medida de lo posible, por medio de técnicas estadísticas. En esta línea se pueden aplicar, entre otras técnicas: comparaciones visuales de histogramas o funciones de distribución de la muestra y de la población; contrastes de adherencia entre las curvas que representan las funciones de distribución de la muestra y de la población (p.ej., mediante el test de Kolmogorov-Smirnov para caso continuo y Chi cuadrado para caso discreto, etc.).

En la Figura 10 se presenta un ejemplo de análisis de la representatividad de unas muestras, atendiendo a la altitud, para la evaluación de dos productos del tipo MDE. En ella se muestran dos comparaciones de dos histogramas, en rojo la distribución de frecuencias de cada uno de los CDR y en azul la distribución de los CDE evaluados. Como se puede observar, en la figura de la izquierda, la muestra no captura todo el rango de variación de la población (p.ej. por encima de los mil metros no existe muestra), mientras que en la figura de la derecha los dos histogramas están superpuestos casi por completo. Por lo tanto, la figura de la derecha evidencia una mejor representatividad.

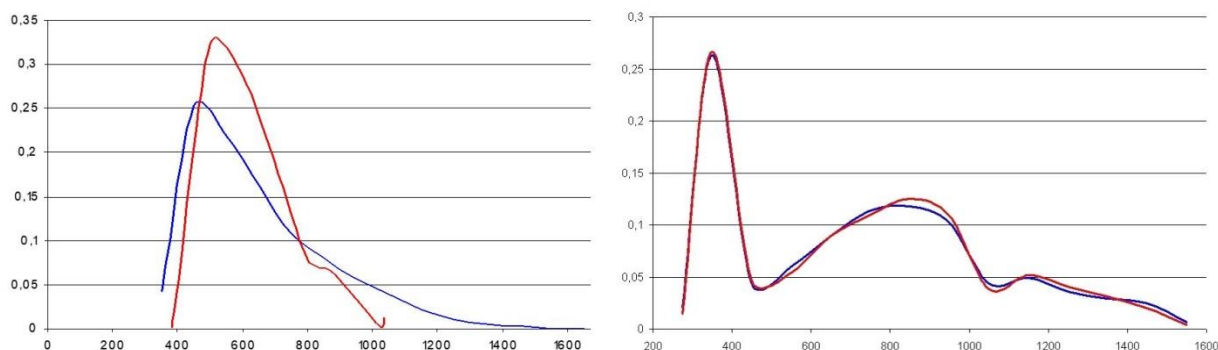


Figura 10. Ejemplos de histogramas, de dos MDE diferentes, que permiten analizar la representatividad de las muestras atendiendo a la altitud.

INFORME DE LA EVALUACIÓN

Finalmente, un aspecto relevante de toda evaluación es la manera de informar sobre los resultados obtenidos. En la presentación de los métodos NMAS, EMAS y NSSDA, en el apartado «Estándares de exactitud posicional» (véanse las Tabla 4, Tabla 5 y Tabla 6) se indicaban las leyendas que rigen en estos estándares a la hora de informar. Sin embargo, bajo nuestro punto de vista, esto es insuficiente pues ninguno de ellos establece procesos bien definidos sobre todos los aspectos relevantes de una evaluación de la exactitud posicional.

En la línea de crear el informe de calidad independiente que se menciona en la Norma Internacional ISO 19157 (ISO 2013) y tomando como base la propuesta que se realiza en la norma española UNE 148002 (UNE 2016), la Tabla 10 presenta lo que podría ser el esquema de un informe bastante exhaustivo y detallado adecuado a este caso. Este informe debería incluir, al menos, aquellos aspectos que se consideren necesarios para obtener la conformidad respecto el método de evaluación diseñado y aplicado. A continuación se explica cada uno de los bloques de esta propuesta, y en el anexo 1 se desarrolla un ejemplo:

- **Identificación del CDE de datos a evaluar.** Identifica el CDE y describe los aspectos más relevantes (p.ej. contenido, propósito, especificaciones), así como las especificaciones propias de la exactitud posicional.
- **Aspectos generales de la evaluación.** Se establece la unidad de calidad de datos (DQU) para identificar y comunicar de manera clara el elemento de la calidad que se va a evaluar. Igualmente se deben indentificar la(s) medida(s) y el método de evaluación utilizados de tal manera que no quede ambiguo ningún aspecto relevante (tal como se ha indicado en los distintos apartados de esta guía). Para ello, al objeto de no hacer demasiado extenso el informe, se aconseja incluir como vínculos externos los documentos que describen estos aspectos.
- **Fuente de mayor exactitud (CDR) y lista de coordenadas.** Esta parte del informe de evaluación tiene mucha importancia desde la perspectiva de la metacalidad, por ello se incluyen contenidos que han de permitir apreciarla la calidad del CDR. Se trata pues de un apartado crítico dentro del informe. Se puede aportar información sobre: cuál es la fuente de referencia, si es planimétrica y/o altimétrica, su exactitud, el recubrimiento poblacional (tamaño de muestra), temático o espacial, si se ha comprobado la interoperabilidad (que el CDE y el CDR se encuentren en el mismo sistema de referencia), cómo se ha generado la muestra, etc.

- **Comprobación de hipótesis estadísticas sobre los errores.** Esta parte del informe se centra en mostrar las evidencias relativas a la comprobación de que todas las hipótesis estadísticas, ya sean implícitas o explícitas, y que son requeridas por el/los MEEP aplicado/s, se satisfacen.
- **Resultados.** Incluye los resultados finales (cumple/no cumple o un valor estimado) que ofrece el método o métodos aplicados. También debe incluir las distribuciones de los errores y demás parámetros en las formas relevantes (espacial, histograma, etc.). Si existía sesgo y ha sido asignado se debe explicar. Finalmente, es conveniente una breve interpretación de todos los resultados de manera conjunta.
- **Metacalidad de los resultados y procesos.** En esta parte del informe se desarrollarán explicaciones justificativas relativas a los elementos de la metacalidad. Deberán estar basadas en hechos objetivos presentados en los apartados anteriores.
- **Fecha y firma del responsable.** Toda evaluación debe tener asignada una fecha y un técnico responsable que ha de firmarla.

Tabla 10. Esquema de contenidos de un informe de calidad independiente para la evaluación de la exactitud posicional

<p>1) Identificación del producto de datos a evaluar Nombre. ID. Productor. Descripción cualitativa. Propósito. Especificaciones. Exactitud de diseño (teórica).</p> <p>2) Elementos que definen el control Elemento de la calidad. Ámbito de calidad. Medidas de la calidad. Niveles de conformidad. Método de evaluación.</p> <p>3) Fuente de mayor exactitud y lista de coordenadas Fuente de referencia. Dimensión. Exactitud de la referencia. Recubrimiento: poblacional, temático, espacial. Interoperabilidad Aspectos relacionados con el método de obtención. Aseguramiento de la aleatoriedad de la muestra.</p>	<p>4) Comprobación de las hipótesis estadísticas de los errores Lista de errores Aleatoriedad. Atípicos. Normalidad. Sesgos. Independencia. Homocedasticidad. Interpretación de las comprobaciones.</p> <p>5) Resultados Lista de errores definitiva (sin atípicos). Parámetros estadísticos básicos. Diagrama circular de distribución de errores X,Y. Diagrama de distribución de errores Z. Histogramas de los errores. Distribución espacial de los errores. Distribución espacial de los atípicos. Asignación del sesgo. Resultados de las medidas y conformidad. Resultados de los MEEP. Interpretación de los resultados.</p> <p>6) Metacalidad de los resultados y procesos Confianza. Homogeneidad. Representatividad.</p> <p>7) Fecha y firma del responsable Fecha. Firma.</p>
---	---

PREGUNTAS Y RESPUESTAS FRECUENTES

A continuación se ofrece un conjunto de preguntas y respuestas frecuentes. Básicamente todos estos aspectos se han tratado en el documento, por lo que son redundantes, pero se incluyen aquí como mecanismo de ayuda rápida.

- **¿Cómo se puede generar una muestra de elementos de control que sea aleatoria y bien distribuida?** Esta muestra debe generarse por medio de alguna herramienta de *software* que tenga en cuenta ambos criterios.
- **¿Cuál es el mínimo número de puntos de control que debo utilizar en la evaluación de la exactitud posicional?** Esto depende de si se pretende una estimación de la incertidumbre posicional del CDE o un simple control de su exactitud posicional. En el primer caso, el número de puntos se debe establecer tomando como base a la teoría de muestreos y podrá ser elevado. En el segundo caso la cantidad no está ligada al tamaño de la población. Para asegurar el error de tipo I (riesgo del productor) se requiere una cantidad menor, pero se requiere de cierto tamaño de muestra para controlar el error de tipo II (riesgo del usuario).
- **¿La homocedasticidad está realmente presente en los datos?** Sí, son muchos los procesos en los que se produce homocedasticidad, por ejemplo, en coordenadas obtenidas por sistemas GNSS cuando las estaciones de referencia no tienen una distribución equivalente en Este-Oeste y Norte-Sur, en la digitalización en tabletas y pantallas, en sistemas de escaneo, etc.
- **¿La normalidad de los errores es realmente necesaria?** Esto depende de para qué se utilice la hipótesis de normalidad, ya sea en los MEEP aplicados o para el uso posterior de los resultados de la evaluación. Por ejemplo, si la normalidad se utiliza para realizar una propagación de incertidumbres, es relevante. Igualmente, los coeficientes de expansión para determinar intervalos de confianza se basan en la normal. Es decir, toda inferencia estadística basada en la normalidad estará en entredicho si los datos no tienen una distribución normal o casi normal.
- **¿Por qué la exactitud se utiliza muchas veces como sinónimo de precisión?** En este documento se asume la definición de ISO 5725-1 y JCGM200 (Vocabulario Internacional de Metrología, VIM), que no es conocida ni aplicada por todos. Para esta Norma Internacional y para el VIM existe una clara diferencia conceptual entre exactitud y precisión. Sin embargo, ya de forma aplicada, cuando no existe sesgo, surge la confusión. Como el sesgo es algo eliminable si tiene una causa asignable, situación que es la más común (p.ej. pensemos en una calibración donde se corrige un desfase u *offset* de un dispositivo), queda que exactitud y precisión puedan ser entendidas como la misma cosa. En cualquier caso, el uso de ambas como equivalentes es incorrecto y genera confusión, por ello debe cuidarse el uso correcto de ambos términos.
- **¿Por qué la muestra de puntos de evaluación debe ser aleatoria?** La muestra debe ser aleatoria para que no se introduzca un sesgo debido a la actuación de los operadores (personal) que intervienen en el proceso. Si un operador elige los puntos de evaluación que conforman la muestra, se estará sesgando la selección de éstos de una manera u otra en función de su experiencia (p.ej. sus consideraciones de lo que puede ser un trabajo más cómodo, sus intereses personales al visitar las zonas, etc.).
- **¿Qué cantidad de atípicos puede ser «normal»?** Pongamos el siguiente ejemplo: supuesto de errores en altimetría (1D) que se comportan como normales. Si el valor de k sobre la distribución normal es de 1.96, lo que quiere decir que el intervalo de confianza es del 95 %, deberíamos esperar en el orden de un 5 % de atípicos en la muestra. Si el valor de atípicos detectados excede con holgura este porcentaje, debemos pensar en la existencia de una mixtura de distribuciones.

- **¿Qué debo hacer si conozco que mis datos no son homogéneos en cuanto a su exactitud posicional?** Esto depende de tu rol y del método de evaluación. En el caso de un rol de usuario, para el control de la exactitud puede no ser relevante pues sólo interesa que el conjunto de datos cumpla el nivel de calidad esperado. Para un rol de productor si se requiere estimación, existirá una mixtura de las poblaciones de error, por lo que el resultado no será estrictamente normal. Además, en ese caso interesa conocer las causas que han generado esa situación. En general, lo adecuado es analizar cada conjunto homogéneo de manera independiente, e informar de los resultados de cada uno de ellos también de manera independiente.
- **¿Qué me interesa más, estimar la exactitud posicional o controlarla?** Esto depende de tu rol. Si eres un usuario, el control es suficiente. Si eres un productor te interesa tener caracterizados tus procesos y para ello se requiere estimación. Al productor también le interesa el control.
- **¿Qué método de evaluación de la exactitud posicional es el más adecuado?** Cada uno de ellos (p.ej. NMAS, EMAS; NSSDA, etc.) tiene una perspectiva distinta, por lo que antes de decidirnos por aplicar uno u otro deberíamos pensar en qué perspectiva es la que más nos interesa para nuestro rol. En cualquier caso, como todos los métodos²⁶ presentan perspectivas distintas sobre una misma realidad, dado que el coste de oportunidad de aplicarlos con las herramientas informáticas actuales es nulo, se pueden aplicar varios y tener así una visión más rica, completa y complementaria de lo que ocurre respecto a la exactitud posicional.
- **¿Qué puedo hacer si los datos de error con los que trabajo no son normales?** Lo mejor en este caso es trabajar con la distribución observada empíricamente por medio de percentiles. En este caso son de interés los métodos basados en tolerancias como el NMAS, la norma UNE 148002 o el método propuesto por Ariza-López, Rodríguez-Avi y Alba-Fernández (2018) que permite el uso de varias tolerancias y proporciones de errores.
- **¿Realmente es importante la metacalidad en una evaluación de la exactitud posicional?** Por supuesto. Sin tener conocimiento de ella no podemos confiar en el resultado obtenido de una evaluación. Por ejemplo, ¿nos fiaremos lo mismo de una evaluación realizada con 5 puntos que con 500?, ¿nos fiaremos lo mismo de una evaluación en la que los puntos de evaluación están bien distribuidos que de otra donde se observa que están concentrados en una parte del proyecto?
- **¿Una evaluación de la exactitud posicional por puntos es válida para otro tipo de elementos presentes en el producto, como superficies o líneas?** La evaluación de la exactitud posicional por puntos sólo es válida para elementos que posean las mismas características que esos puntos, es decir, que sean bien definidos y fácilmente identificables, en cuyo caso deberán incluirse en la muestra de evaluación. A elementos que no cumplen con estas características no se les puede asignar estos resultados como algo propio. Así, elementos lineales y límites difusos (p.ej. algunas cubiertas y usos) que no poseen puntos bien definidos pueden y deben evaluarse mediante otras técnicas (p.ej. mediante el uso de métodos basados en el orlado).
- **¿Y si mi zona de interés no es rectangular como la indicada por la Figura 5, qué debo hacer con la distribución de los puntos de evaluación?** Lo que se debe hacer es aplicar el sentido común. Lo que pretende la distribución que se presenta como ejemplo en la Figura 5 es que toda la superficie del proyecto esté bien cubierta, más o menos, de forma homogénea. Pues eso mismo se ha de pretender con cualquier zona de trabajo que no sea como la presentada en la Figura 5 (p.ej. una evaluación sobre una vía de comunicación, que será predominantemente alargada).

²⁶ No se ha de pensar sólo en los tres aquí presentados, existen otros muchos (véase Ariza-López y Atkinson-Gordo, 2008a).

REFERENCIAS

- Ariza-López FJ (2002). Calidad en la producción cartográfica. RA-MA, Madrid. ISBN 978-84-7897-524-2.
- Ariza-López FJ (Editor) (2013). Fundamentos de evaluación de la calidad de la Información Geográfica. Universidad de Jaén. ISBN 978-84-8439-813-4.
- Ariza-López FJ (2017). Documento P2.1.1: Observaciones sobre aspectos de evaluación de la calidad (especificaciones de un elemento de la calidad). Proyecto de Modernización de la Administración de Tierras en Colombia. Agencia de Implementación.
- Ariza-López FJ, Atkinson AD (2008a). Analysis Of Some Positional Accuracy Assessment Methodologies. Surveying Engineering, 134(vol 2), pp. 404, 407. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9453\(2008\)134:2\(45\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9453(2008)134:2(45))
- Ariza-López FJ, Atkinson AD (2008b). Variability of NSSDA estimations. Surveying Engineering, 134(vol 2), pp. 404-407. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9453\(2008\)134:2\(39\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9453(2008)134:2(39))
- Ariza-López FJ, Atkinson AD, García-Balboa JL, Rodríguez-Avi J (2010). Analysis of User and Producer Risk when Applying the ASPRS Standards for Large Scale Maps. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 5(8): 625-632(8). <https://doi.org/10.14358/PERS.76.5.625>
- Ariza-López FJ, Atkinson AD, Rodríguez-Avi J (2008). Acceptance curves for the positional control of geographic data bases. Surveying Engineering. 134(vol 1), pp. 26,32. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9453\(2008\)134:1\(26\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9453(2008)134:1(26))
- Ariza-López FJ, Rodríguez-Avi J (2014). A statistical model inspired by the National Map Accuracy Standard. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. 80 (3):271-281. <https://doi.org/10.14358/PERS.80.3.271>
- Ariza-López FJ, Rodríguez-Avi J (2015). Using International Standards to Control the Positional Quality of Spatial Data. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. 81(8) <https://doi.org/10.14358/PERS.81.8.657>
- Ariza-López FJ, Rodríguez-Avi J, Alba-Fernández V (2018). A Positional Quality Control Test Based on Proportions. In: Mansourian A., Pilesjö P., Harrie L., van Lammeren R. (eds) Geospatial Technologies for All. AGILE 2018. Lecture Notes in Geoinformation and Cartography. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-78208-9_18
- Ariza-López FJ, Xavier E, Chicaiza EG, Buenaño X (2017). Métodos de evaluación de la calidad posicional en Hispanoamérica: análisis de la situación. Revista Cartográfica 94, 65-88. http://comisiones.ipgh.org/CARTOGRAFIA/rca/RCA94_Digital.pdf
- ASCE (1983). Map Uses, scales and accuracies for engineering and associated purposes. American Society of Civil Engineers, Committee on Cartographic Surveying, Surveying and Mapping Division, New York, USA.
- ASPRS (1990). Accuracy standards for large scale maps. PE&RS, vol. 56, nº7, 1068-1070.
- ASPRS (2015). ASPRS Positional accuracy standards for digital geospatial data, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Volume 81(3), 53 p. http://www.asprs.org/a/society/divisions/pad/Accuracy/Draft_ASPRS_Accuracy_Standards_for_Digital_Geospatial_Data_PE&RS.pdf
- FGDC (1998). FGDC-STD-007: Geospatial Positioning Accuracy Standards, Part 3. National Standard for Spatial Data Accuracy. Federal Geographic Data Committee, Reston, USA. <https://www.fgdc.gov/standards/projects/accuracy/part3/chapter3>

- IPGH (1978). Instituto Panamericano de Geografía e Historia: Especificaciones para mapas topográficos. Panamá: Instituto Panamericano de Geografía e Historia – IPGH, Panamá, 1978.
- ISO (1985). ISO 2859-2:1985 Sampling procedures for inspection by attributes -- Part 2: Sampling plans indexed by limiting quality (LQ) for isolated lot inspection.
- ISO (1994) ISO 5725-1:1994 Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results -- Part 1: General principles and definitions.
- ISO (1999). ISO 2859-1:1999 Sampling procedures for inspection by attributes -- Part 1: Sampling schemes indexed by acceptance quality limit (AQL) for lot-by-lot inspection.
- ISO (2006a). ISO 3534-1:2006 Statistics -- Vocabulary and symbols -- Part 1: General statistical terms and terms used in probability
- ISO (2006b). ISO 3534-2:2006 Statistics -- Vocabulary and symbols -- Part 2: Applied statistics.
- ISO (2007). ISO 19131:2007 Geographic information -- Data product specifications.
- ISO (2012). ISO 19158:2012 Geographic information -- Quality assurance of data supply
- ISO (2013). ISO 19157:2013 Geographic information -- Data quality.
- ISO (2014). ISO 19115-1:2014 Geographic information -- Metadata -- Part 1: Fundamentals.
- ISO (2015a). ISO 19135-1:2015 Geographic information -- Procedures for item registration -- Part 1: Fundamentals.
- ISO (2015b). ISO 9000:2015 Quality management systems -- Fundamentals and vocabulary
- Joint Committee for Guides in Metrology (2012). JCGM 200:2012. International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM), 3rd edition. Working Group 2 of the Joint Committee for Guides in Metrology (JCGM/WG2).
- JRC (2012) GMES Initial Operations emergency mapping validation service. Tender Specifications JRC/IPR/2012/G02/007/OC
- Maune DF (Editor) (2007) Digital Elevation Model Technologies and Applications: The Dem User's Manual. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Bethesda, ISBN 978-1-57083-082-2.
- MPLMIC (1999). Positional Accuracy Handbook: Using the National Standard for Spatial Data Accuracy to measure and report geographic data quality. Minnesota Planning Land Management Information Center. https://www.mngeo.state.mn.us/pdf/1999/lmic/nssda_o.pdf
- MSHA (2001). Survey field procedures manual. The Division of Plats and Surveys. Maryland State Highway Administration.
- Sevilla MJ (1991). Criterios de precisión cartográfica. Instituto de Astronomía y Geodesia. 1991, nº 182.
- UNE (2016). UNE 148002:2016 Metodología de evaluación de la exactitud posicional de la información geográfica. UNE, Madrid.
- USB (1947). United States National Map Accuracy Standards. U.S. Bureau of the Budget. Washington, USA.
- Zandbergen PA (2011). Characterizing the error distribution of Lidar elevation data for North Carolina. International Journal of Remote Sensing 32(2):409-430. <https://doi.org/10.1080/01431160903474939>

Zandbergen PA (2008). Positional Accuracy of Spatial Data: Non-Normal Distributions and a Critique of the National Standard for Spatial Data Accuracy. Transactions in GIS 12(1):103–130. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9671.2008.01088.x>

IN MEMORIAN

Queda en nuestra memoria y agradecimiento Edison Rojas, nuestro compañero y amigo, que solicitó este proyecto y que nos ha dejado sin ver este fruto, que también se debe a su esfuerzo y liderazgo.

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Panamericano de Geografía e Historia, especialmente a las comisiones de Cartografía y Geografía por financiar parcialmente este proyecto.

ANEXO 1. EJEMPLO DE INFORME EVALUACIÓN DE EXACTITUD POSICIONAL PLANIMÉTRICA DE UNA ORTOFOTOGRAFÍA

Este anexo presenta un ejemplo de informe de evaluación de la calidad posicional de una ortofotografía. Este conjunto de datos ha sido generado por el Servicio Aerofotogramétrico de la Fuerza Aérea de Chile para la «Ilustre Municipalidad de Quilicura- Santiago de Chile». Se trata de un informe extenso en la línea del informe de calidad independiente que se propugna en la Norma Internacional ISO 19157. Como se indica en esta norma, este informe nunca sustituye la obligatoriedad de informar en forma de metadatos.

Se presentan los resultados de la evaluación para los estándares NMAS, EMAS y NSSDA. No es lo usual presentar varios resultados de estándares, pero dado que se trata de un ejemplo, se ha considerado adecuado hacerlo así para ofrecer una visión más amplia. Por otro lado, dado que presentan perspectivas distintas, y que el coste de oportunidad de calcularlos todos ellos es nulo, tampoco es una opción deseable.

Los contenidos y estructura de este informe siguen lo presentado en la Tabla 10 de este documento. Recordemos que el producto de datos a evaluar, o conjunto de datos a evaluar, se denota por CDE y que los datos de mayor exactitud, o referencia, se denotan por CDR.

En cursiva se incluyen algunos comentarios descriptivos que ayudan a entender cómo se ha cumplimentado este ejemplo.

Este anexo se centra en el informe del proceso de evaluación y pretende ser exhaustivo y riguroso en este ámbito, pero para desarrollar el proceso de evaluación propiamente dicho se requiere de procedimientos bien descritos que abarquen procesos críticos. En este informe se considera que la organización dispone de los siguientes procedimientos:

- Proc1. Procedimiento para la ejecución de trabajos de campo con técnicas GNSS
- Proc2. Procedimientos para la toma de coordenadas de puntos de evaluación sobre imágenes.

Adicionalmente, se considera que se dispone de las siguientes herramientas de *software*:

- HS1. Herramienta para generar muestras de posiciones aleatorias y bien distribuidas en un espacio geográfico.

Finalmente, se debe indicar que todos los test estadísticos se realizan considerando un nivel de significación de un 5 %.

Dado el carácter formativo que se quiere dar a este ejemplo, al final se incluye una adenda con algunos comentarios que analizan este caso real.

1. INFORMACIÓN DEL PRODUCTO DE DATOS A EVALUAR

Este apartado debe proporcionar información que permita identificar el CDE, así como sus características más importantes, tales como Nombre, identificador, fecha o versión, productor, descripción cualitativa, especificaciones (p.ej. con parámetros tales como: escala, resolución, sistema de referencia de coordenadas), exactitud de diseño (para cada componente x, y, z o bien conjunta xy).

Se sugiere presentar esta información de forma clara y concisa en formato tabular como se realiza en la Tabla A1.1.

Tabla A1.1 Información del CDE a evaluar

Nombre	Mosaico ortorectificado de la comuna de Quilicura, Región Metropolitana de Santiago			
ID	SAF-OFM-001			
Productor	Servicio Aerofotogramétrico de la Fuerza Aérea de Chile			
Descripción cualitativa	Mosaico ortorectificado, obtenido de un levantamiento aerofotogramétrico de la comuna de Quilicura (Región Metropolitana de Santiago), realizado en el año 2010.			
Propósito				
Especificaciones	Resolución (GSD, <i>Ground Sample Distance</i>): 15 cm Escala equivalente 1:2000 Sistema de referencia de coordenadas (CRS, <i>Coordinate Reference System</i>): EPSG 5361			
Exactitud de diseño (teórica)	<input checked="" type="checkbox"/> XY (m) ECM: 0.71 m $\mu = 0 \text{ m}, \sigma = 0.5 \text{ m}$	<input type="checkbox"/> X (m) ECM: 0.5 m $\mu = 0 \text{ m}, \sigma = 0.5 \text{ m}$	<input type="checkbox"/> Y (m) ECM: 0.5 m $\mu = 0 \text{ m}, \sigma = 0.5 \text{ m}$	<input type="checkbox"/> Z(m) ECM: ____m $\mu = ___\text{m}, \sigma = ___\text{m}$

2. ASPECTOS GENERALES DE LA EVALUACIÓN

En el marco de la Norma ISO 19157, habría que concretar, en primer lugar, la unidad de la calidad de datos, que viene dada por la conjunción del elemento de la calidad y el ámbito de evaluación de la calidad. También se debe aportar información sobre las medidas de la calidad que se van a utilizar, los niveles de conformidad (si los hubiere) y el método de evaluación (un resumen).

Se sugiere presentar esta información de forma clara y concisa en formato tabular como se realiza en la Tabla A1.2.

Obsérvese que en la Tabla A1.2, para mayor comodidad, se ha incluido una lista de todas las medidas elegibles de ISO 19157 (ver Tabla 2 de la guía), asignándoles un ordinal para que sean citables en posteriores apartados de este informe. Esta lista incluye todas las medidas relacionadas con la exactitud posicional especificadas en el anexo D de la Norma ISO 19157, indicando el identificador y nombre. A modo de ejemplo, se han marcado las medidas con los ordinales: 1, 2, 16, 19 y 21. Las cuatro primeras son meramente informativas, ya que no se han establecido niveles de conformidad. Sí se ha establecido un nivel de conformidad para la última de ellas.

Se ha considerado también el aplicar los estándares específicos sobre calidad posicional NMAS, EMAS y NSSDA. Se recomienda elaborar un documento externo que especifique medidas basadas en estos estándares, siguiendo lo indicado en la Norma ISO 19157 en relación con «medidas de calidad de datos definidas por el usuario», en cuyo caso podrían añadirse a la lista de medidas de la calidad elegibles.

Tabla A1.2 Aspectos generales de la evaluación

GUÍA PARA EVALUACIÓN DE LA EXACTITUD POSICIONAL DE DATOS ESPACIALES
INSTITUTO PANAMERICANO DE GEOGRAFÍA E HISTORIA

Unidad de la calidad de datos	Elemento de la calidad	<input type="checkbox"/> Exactitud absoluta o externa <input type="checkbox"/> Exactitud relativa o interna			
	Ámbito de calidad	Espacial: zona definida por el límite administrativo de la comuna de Quilicura Temático: no procede			
Medidas de la calidad	Ordinal	Fuente	Identificador	Nombre	Nivel conformidad
	<input checked="" type="checkbox"/> 01	ISO 19157	28	valor medio de las incertidumbres posicionales X <input type="checkbox"/> Y <input type="checkbox"/> Z <input type="checkbox"/> XY <input checked="" type="checkbox"/> XYZ <input type="checkbox"/>	-
	<input checked="" type="checkbox"/> 02	ISO 19157	128	sesgo de las posiciones X <input type="checkbox"/> Y <input type="checkbox"/> Z <input type="checkbox"/> XY <input checked="" type="checkbox"/> XYZ <input type="checkbox"/>	-
	<input type="checkbox"/> 03	ISO 19157	29	valor medio de las incertidumbres posicionales excl. atípicos X <input type="checkbox"/> Y <input type="checkbox"/> Z <input type="checkbox"/> XY <input type="checkbox"/> XYZ <input type="checkbox"/>	-
	<input type="checkbox"/> 04	ISO 19157	30	X <input type="checkbox"/> Y <input type="checkbox"/> Z <input type="checkbox"/> XY <input type="checkbox"/> XYZ <input type="checkbox"/>	-
	<input type="checkbox"/> 05	ISO 19157	31	índice de errores posicionales mayores que un umbral X <input type="checkbox"/> Y <input type="checkbox"/> Z <input type="checkbox"/> XY <input type="checkbox"/> XYZ <input type="checkbox"/>	-
	<input type="checkbox"/> 06	ISO 19157	32	matriz de covarianzas X <input type="checkbox"/> Y <input type="checkbox"/> Z <input type="checkbox"/> XY <input type="checkbox"/> XYZ <input type="checkbox"/>	-
	<input type="checkbox"/> 07	ISO 19157	33	Z: error lineal probable	-
	<input type="checkbox"/> 08	ISO 19157	34	Z: error lineal típico	-
	<input type="checkbox"/> 09	ISO 19157	35	Z: exactitud lineal al 90 % de nivel de significación	-
	<input type="checkbox"/> 10	ISO 19157	36	Z: exactitud lineal al 95 % de nivel de significación	-
	<input type="checkbox"/> 11	ISO 19157	37	Z: exactitud lineal al 99 % de nivel de significación	-
	<input type="checkbox"/> 12	ISO 19157	38	Z: error lineal casi cierto	-
	<input type="checkbox"/> 13	ISO 19157	39	Z: error cuadrático medio	-
	<input type="checkbox"/> 14	ISO 19157	40	Z: error lineal absoluto al 90 % de nivel de significación de datos verticales con sesgo (Alternativa 1)	-
	<input type="checkbox"/> 15	ISO 19157	41	Z: error lineal absoluto al 90 % de nivel de significación de datos verticales con sesgo (Alternativa 2)	-
	<input checked="" type="checkbox"/> 16	ISO 19157	42	XY: desviación típica circular	-
	<input type="checkbox"/> 17	ISO 19157	43	XY: error circular probable	-
	<input type="checkbox"/> 18	ISO 19157	44	XY: error circular al 90 % de nivel de significación	-
	<input checked="" type="checkbox"/> 19	ISO 19157	45	XY: error circular al 95 % de nivel de significación	-
	<input type="checkbox"/> 20	ISO 19157	46	XY: error circular casi cierto	-
	<input checked="" type="checkbox"/> 21	ISO 19157	47	XY: error cuadrático medio planimétrico	≤ 0.25 m
	<input type="checkbox"/> 22	ISO 19157	48	XY: error circular absoluto al 90 % de nivel de significación de datos con sesgo	-
	<input type="checkbox"/> 23	ISO 19157	49	XY: error circular absoluto al 90 % de nivel de significación de datos con sesgo	-
	<input type="checkbox"/> 24	ISO 19157	50	XY: elipse de incertidumbre	-
	<input type="checkbox"/> 25	ISO 19157	51	XY: elipse de confianza	-
	<input type="checkbox"/> 26	ISO 19157	52	Z: error vertical relativo	-
	<input type="checkbox"/> 27	ISO 19157	53	XY: error horizontal relativo	-
Método de evaluación	<p>Tipo de método: directo externo</p> <p>Método de inspección: <input type="checkbox"/> inspección completa <input checked="" type="checkbox"/> muestreo</p> <p>Descripción: Se genera una muestra aleatoria de tamaño suficiente de puntos homólogos entre el CDE y el CDR que estén bien definidos y sean claramente identificables, dando lugar sus discrepancias a una muestra de errores planimétricos posicionales en X y en Y. Para la captura de coordenadas X, Y de la muestra se han de tener en cuenta las directrices de trabajo en campo especificadas en el documento <i>Proc1</i> y las directrices de digitalización en gabinete especificadas en el documento <i>Proc2</i>. Seguidamente sobre la muestra de errores:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Se verifican las hipótesis estadísticas básicas de la muestra de errores: aleatoriedad, tratamiento de valores atípicos, normalidad, sesgos, correlación y homocedasticidad. - Se calculan estadísticos básicos de cada componente X, Y. - Se realizan los cálculos relativos a las medidas de la calidad elegidas - Se aplican los estándares de calidad posicional: <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> NMAS <input checked="" type="checkbox"/> EMAS <input checked="" type="checkbox"/> NSSDA <p>Nota: se ofrece más información sobre el muestreo en el apartado "Fuente de mayor exactitud".</p>				

3. FUENTE DE MAYOR EXACTITUD Y LISTA DE COORDENADAS

Esta parte de informe de evaluación tiene mucha importancia desde la perspectiva de la metacalidad, por ello se deben incluir contenidos que han de permitir apreciarla. Se trata pues de un apartado crítico dentro del informe.

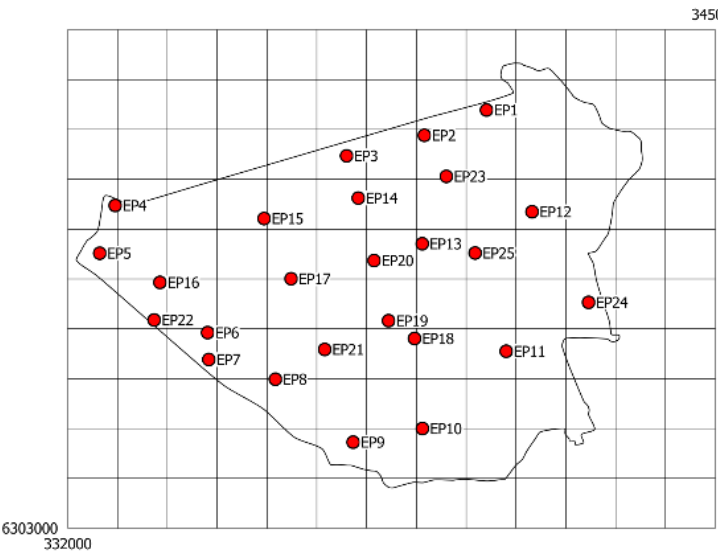
Se deben aportar detalles sobre el establecimiento de la muestra de puntos de evaluación. Se debe informar sobre: cuál es la fuente de mayor exactitud, cuál es el tamaño de la muestra, si la muestra es 1D, 2D o 3D, cuál es la exactitud posicional del CDR, qué tipos de objetos se utilizan de forma general para ubicar los puntos de evaluación, cómo se ha garantizado la aleatoriedad de la muestra, cuál es el método para seleccionar la ubicación concreta de un punto de evaluación, cuál ha sido el método de captura de coordenadas en campo, etc. Sería conveniente disponer de documentos externos que especifiquen recomendaciones a seguir, documentos que se citarían aquí. Por ejemplo, procesos con las directrices y recomendaciones para: elección de puntos de la muestra, realización de los trabajos de campo, etc.

Se sugiere presentar esta información de forma clara y concisa en formato tabular como se realiza en la Tabla A1.3.

En este apartado también se incluyen la lista de coordenadas del CDE y del CDR con las que se va a efectuar los cálculos y análisis posteriores. Se incluirán todos los datos limpios de cualquier equivocación y antes de efectuar cualquier proceso de filtrado, como puede ser la eliminación de atípicos. También se pueden incluir observaciones sobre los puntos (por ejemplo, el tipo de objeto con el que se corresponde cada uno).

Tabla A1.3 Fuente de mayor exactitud y coordenadas

Fuente de referencia	Trabajos de campo realizados mediante técnicas GNSS		
Dimensión	<input checked="" type="checkbox"/> Planimetría (2D: XY)		<input type="checkbox"/> Altimetría (1D: Z)
Exactitud de la referencia	ECM _x = ECM _y = 0.05 m <input type="checkbox"/> x2 <input type="checkbox"/> x3 <input type="checkbox"/> x4 <input checked="" type="checkbox"/> x5 ó mejor		ECM _z = ____ <input type="checkbox"/> x2 <input type="checkbox"/> x3 <input type="checkbox"/> x4 <input type="checkbox"/> x5 ó mejor
Recubrimiento	Poblacional	Tamaño de muestra:	25
	Temático	Tipos de objetos utilizados en la evaluación: <ul style="list-style-type: none"> • Esquinas de pinturas sobre el asfalto. • Esquinas de pasto (zonas ajardinadas). • Esquinas de acerado. • Postes de veredas. • Esquinas de tapas sobre el pavimento. • Otras formas geométricas (círculos, cuadrados) en la imagen que son de pequeño tamaño y están bien contrastadas. Nota: dado que el producto a controlar es una imagen, no existen capas temáticas.	

	Espacial																																																															
Interoperabilidad	<input checked="" type="checkbox"/> Se comprobó que el CDR y el CDE están en el mismo sistema de referencia de coordenadas (CRS)																																																															
Otros aspectos	<p>Aseguramiento de la aleatoriedad de la muestra: Mediante la herramienta HS1 se generó una muestra aleatoria de posiciones planimétricas (puntos) en el ámbito definido para la unidad de calidad de datos.</p> <p>Método de elección del punto de evaluación: Sobre el CDE, que en este caso es una imagen, el operador busca, en el entorno próximo de cada uno de estos puntos, rasgos claramente identificables y bien definidos en los objetos representados en la ortofoto. Este punto claramente identificable será elegido teniendo en cuenta que también lo ha de ser en campo y que se debe poder medir su posición estacionando un equipo GNSS. Las directrices de digitalización en gabinete especificadas en el documento <i>Proc2</i> incluyen recomendaciones sobre la elección de puntos de control.</p> <p>Aspectos sobre la captura de coordenadas en los trabajos de gabinete: Para mitigar la incidencia de la interpretación sobre la imagen, las coordenadas de cada punto se han digitalizado dos veces, cada una de ellas por un operador diferente, comprobando que la discrepancia no ha excedido un límite preestablecido, y promediándolas. El documento <i>Proc2</i> contiene información a este respecto.</p> <p>Aspectos sobre la captura de coordenadas en los trabajos de campo: Una vez identificado el punto en campo, se realizan las oportunas observaciones con instrumental GNSS por medio del método estático rápido, para posteriormente determinar sus coordenadas en gabinete. Se aseguró siempre que el sistema de referencia de coordenadas fuera el mismo que el propio del CDE. Para la captura de coordenadas se han de tener en cuenta las directrices de trabajo en campo especificadas en el documento <i>Proc1</i>.</p>																																																															
Lista de coordenadas [m]	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Id</th> <th colspan="3">CDR</th> <th colspan="3">CDE</th> <th rowspan="2">Observaciones</th> </tr> <tr> <th>X_C</th> <th>Y_C</th> <th>Z_C</th> <th>X_P</th> <th>Y_P</th> <th>Z_P</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>EP1</td> <td>340408,214</td> <td>6311389,779</td> <td></td> <td>340408,133</td> <td>6311389,518</td> <td></td> <td>vértice de vereda</td> </tr> <tr> <td>EP2</td> <td>339160,180</td> <td>6310882,149</td> <td></td> <td>339160,120</td> <td>6310882,029</td> <td></td> <td>vértice de vereda</td> </tr> <tr> <td>EP3</td> <td>337599,246</td> <td>6310470,578</td> <td></td> <td>337599,066</td> <td>6310470,450</td> <td></td> <td>esquina de cuadrado blanco</td> </tr> <tr> <td>EP4</td> <td>332953,628</td> <td>6309475,489</td> <td></td> <td>332953,635</td> <td>6309475,536</td> <td></td> <td>centro de mancha negra</td> </tr> <tr> <td>EP5</td> <td>332643,438</td> <td>6308517,124</td> <td></td> <td>332643,510</td> <td>6308517,006</td> <td></td> <td>extremo de mancha blanca</td> </tr> <tr> <td>EP6</td> <td>334808,520</td> <td>6306924,530</td> <td></td> <td>334808,462</td> <td>6306924,604</td> <td></td> <td>centro de mancha negra</td> </tr> </tbody> </table>	Id	CDR			CDE			Observaciones	X_C	Y_C	Z_C	X_P	Y_P	Z_P	EP1	340408,214	6311389,779		340408,133	6311389,518		vértice de vereda	EP2	339160,180	6310882,149		339160,120	6310882,029		vértice de vereda	EP3	337599,246	6310470,578		337599,066	6310470,450		esquina de cuadrado blanco	EP4	332953,628	6309475,489		332953,635	6309475,536		centro de mancha negra	EP5	332643,438	6308517,124		332643,510	6308517,006		extremo de mancha blanca	EP6	334808,520	6306924,530		334808,462	6306924,604		centro de mancha negra	
Id	CDR			CDE			Observaciones																																																									
	X_C	Y_C	Z_C	X_P	Y_P	Z_P																																																										
EP1	340408,214	6311389,779		340408,133	6311389,518		vértice de vereda																																																									
EP2	339160,180	6310882,149		339160,120	6310882,029		vértice de vereda																																																									
EP3	337599,246	6310470,578		337599,066	6310470,450		esquina de cuadrado blanco																																																									
EP4	332953,628	6309475,489		332953,635	6309475,536		centro de mancha negra																																																									
EP5	332643,438	6308517,124		332643,510	6308517,006		extremo de mancha blanca																																																									
EP6	334808,520	6306924,530		334808,462	6306924,604		centro de mancha negra																																																									

EP7	334833,602	6306384,681		334833,649	6306384,762		vértice de vereda
EP8	336170,053	6305989,103		336170,163	6305989,343		vértice de pasto
EP9	337730,216	6304726,637		337730,083	6304726,500		extremo de línea blanca
EP10	339121,724	6304999,681		339121,561	6304999,505		vértice de tapa negra
EP11	340803,068	6306550,788		340803,028	6306550,487		vértice de línea blanca
EP12	341322,568	6309348,265		341322,460	6309348,020		vértice de tapa
EP13	339117,805	6308706,981		339117,777	6308707,731		vértice de línea blanca
EP14	337833,715	6309623,811		337833,519	6309623,851		extremo de línea blanca
EP15	335942,644	6309212,095		335942,607	6309212,270		centro de mancha blanca
EP16	333851,880	6307931,556		333851,612	6307931,552		centro de roca
EP17	336484,559	6308005,303		336484,414	6308005,200		vértice de acerado
EP18	338963,237	6306806,313		338963,090	6306806,178		extremo de línea blanca
EP19	338441,394	6307163,523		338441,460	6307163,409		vértice de concreto
EP20	338151,037	6308369,663		338150,882	6308369,558		vértice de letra "L" inferior
EP21	337159,639	6306586,164		337159,566	6306586,055		vértice de pasto
EP22	333735,148	6307177,903		333735,214	6307178,112		centro de mancha blanca
EP23	339601,413	6310058,623		339601,228	6310058,442		vértice de pasto
EP24	342456,920	6307531,681		342456,662	6307531,515		vértice interno de líneas blancas
EP25	340180,126	6308521,032		340179,975	6308520,752		extremo de línea blanca

4. COMPROBACIÓN DE HIPÓTESIS ESTADÍSTICAS DE LOS ERRORES

Esta parte del informe se centra en mostrar evidencias de que se satisfacen las hipótesis requeridas por el método de análisis estadístico, ya sean implícitas o explícitas. Estas comprobaciones pueden ser realizadas mediante cualquier herramienta apropiada, ya sean un software estadístico de ámbito general (p.ej. SPSS), desarrollos específicos para su aplicación en calidad posicional (p.ej. códigos en R), hojas de cálculo con scripts desarrolladas para tal efecto, etc. Debe incluirse la lista de errores posicionales sobre la que se realizarán estas comprobaciones.

Se sugiere presentar esta información de forma clara y concisa en formato tabular como se realiza en la Tabla A1.4. No se han incluido gráficos en el ejemplo, pero podrían incluirse para una mayor claridad de las comprobaciones realizadas. Se ha añadido al final de la tabla un apartado para interpretar los resultados y para concluir si procede o no procede continuar con el proceso de evaluación de la calidad.

Tabla A1.4 Comprobación de hipótesis estadísticas

Lista de errores [m]	Id	E_X	E_Y	E_Z	Atípicos				
					X	Y	Z	Punto*	Posible causa
EP1	-0,080526	-0,26086			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
EP2	-0,060268	-0,11973			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
EP3	-0,180206	-0,12778			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
EP4	0,006575	0,04734			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
EP5	0,071553	-0,11807			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
EP6	-0,057508	0,07409			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
EP7	0,047297	0,08075			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
EP8	0,109683	0,23957			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
EP9	-0,133466	-0,13742			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
EP10	-0,162899	-0,17565			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
EP11	-0,039788	-0,30098			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
EP12	-0,107757	-0,2448			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
EP13	-0,027503	0,7504			<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
EP14	-0,195867	0,04046			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

GUÍA PARA EVALUACIÓN DE LA EXACTITUD POSICIONAL DE DATOS ESPACIALES
INSTITUTO PANAMERICANO DE GEOGRAFÍA E HISTORIA

	EP15	-0,037015	0,17523		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	EP16	-0,268448	-0,00376		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	EP17	-0,14543	-0,10263		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	EP18	-0,147036	-0,13499		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	EP19	0,06567	-0,11428		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	EP20	-0,155278	-0,10457		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	EP21	-0,073324	-0,10916		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	EP22	0,066459	0,20853		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	EP23	-0,185416	-0,18078		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	EP24	-0,258211	-0,1659		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	EP25	-0,151007	-0,27981		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
* Un punto es considerado como atípico en el momento en que alguna de sus componentes es evaluada como atípica.									
Aleatoriedad	Prueba: test de rachas de Wald-Wolfowitz Nivel de significación: 5 % Hipótesis nula: la secuencia de errores es aleatoria Nota: en la lista de errores no se ha alterado el orden secuencial con que la herramienta HS1 generó la muestra aleatoria de posiciones planimétricas.								
	X	p-valor: 0,6764			<input checked="" type="checkbox"/> No se rechaza	<input type="checkbox"/> Se rechaza	<input type="checkbox"/> no comprobado		
	Y	p-valor: 0,0950			<input checked="" type="checkbox"/> No se rechaza	<input type="checkbox"/> Se rechaza	<input type="checkbox"/> no comprobado		
	Z	p-valor: ____			<input checked="" type="checkbox"/> No se rechaza	<input type="checkbox"/> Se rechaza	<input checked="" type="checkbox"/> no comprobado		
Atípicos	Prueba: Detección de valores atípicos en una distribución normal. Factor cobertura: $k = 3$								
	X	<input checked="" type="checkbox"/> comprobado <input type="checkbox"/> no comprobado				Puntos atípicos: EP13			
	Y	<input checked="" type="checkbox"/> comprobado <input type="checkbox"/> no comprobado							
	Z	<input type="checkbox"/> comprobado <input checked="" type="checkbox"/> no comprobado							
Comentario: Estos puntos se deberán analizar en detalle para determinar su posible causa. En cualquier caso, se eliminan del resto de comprobaciones de hipótesis estadísticas basadas en la normalidad. Estos puntos se incluyen en la figura de distribución espacial de los errores del apartado 5, para su posible análisis.									
Normalidad	Prueba: test de normalidad de Kolmogorov-Smirnov (valores críticos tabulados) Nivel de significación: 5% Hipótesis nula: la población está normalmente distribuida								
	X	p-valor: ____			<input checked="" type="checkbox"/> No se rechaza	<input type="checkbox"/> Se rechaza	<input type="checkbox"/> no comprobado		
	Y	p-valor: ____			<input checked="" type="checkbox"/> No se rechaza	<input type="checkbox"/> Se rechaza	<input type="checkbox"/> no comprobado		
	Z	p-valor: ____			<input type="checkbox"/> No se rechaza	<input type="checkbox"/> Se rechaza	<input checked="" type="checkbox"/> no comprobado		
Sesgos	Prueba: test t de Student para una muestra con media μ Nivel de significación: 5% Hipótesis nula: la media de la población es igual a μ .								
	X	$\mu = 0$	p-valor: ____		<input type="checkbox"/> No se rechaza	<input checked="" type="checkbox"/> Se rechaza	<input type="checkbox"/> no comprobado		
	Y	$\mu = 0$	p-valor: ____		<input type="checkbox"/> No se rechaza	<input checked="" type="checkbox"/> Se rechaza	<input type="checkbox"/> no comprobado		
	Z	$\mu =$	p-valor: ____		<input checked="" type="checkbox"/> No se rechaza	<input type="checkbox"/> Se rechaza	<input checked="" type="checkbox"/> no comprobado		
Independencia	Prueba: Coeficiente de correlación de Spearman Nivel de significación: 5 %								

	Hipótesis nula: ambas poblaciones son independientes entre sí	
	X - Y	p-valor: 0,042 <input type="checkbox"/> No se rechaza <input checked="" type="checkbox"/> Se rechaza <input type="checkbox"/> no comprobado
	Coeficiente correlación de Pearson: 0,454	
	X - Y	Interpretación: Correlación positiva moderada.
Homocedasticidad	Prueba: Test de Bartlett de homogeneidad de varianzas Nivel de significación: 5 % Hipótesis nula: ambas poblaciones tienen la misma varianza	
	X - Y	p-valor: 0,098 <input checked="" type="checkbox"/> No se rechaza <input type="checkbox"/> Se rechaza <input type="checkbox"/> no comprobado
Interpretación de las comprobaciones	<p>En general la muestra cumple con las hipótesis estadísticas de aleatoriedad, normalidad y homocedasticidad. En cuanto a la independencia hay una correlación moderada.</p> <p>La prueba para el sesgo no se supera para las componentes X e Y. En esta prueba influye el que los valores de desviación típica sean muy inferiores a la exactitud de diseño. Por ello estos resultados sobre el sesgo no se consideran especialmente relevantes.</p> <p>Del total de 25 puntos de la muestra, 1 es considerado como atípico. Esto supone el 4 % del total de la muestra, lo que es una proporción considerable. No obstante, el reducido tamaño de muestra limita la obtención de conclusiones sólidas.</p> <p>Conclusión: <input checked="" type="checkbox"/> Sí procede continuar al apartado de resultados <input type="checkbox"/> NO procede continuar al apartado de resultados</p>	

5. RESULTADOS

Primeramente, se incluirán la lista de errores definitiva (una vez eliminados los atípicos, si procede), que es sobre la que se irán ofreciendo todos los resultados posteriores. Se recomienda acompañarla de parámetros estadísticos descriptivos básicos. Seguidamente se pueden introducir gráficos que ayuden a la interpretación de las distribuciones espacial y estadística de los errores, tales como: diagrama circular con la distribución de las componentes planimétricas (X, Y), diagramas de caja y bigotes para cada componente, histograma para cada componente, gráficos de distribución espacial de los errores, etc. Si existía sesgo, y ha sido asignado, se debe explicar.

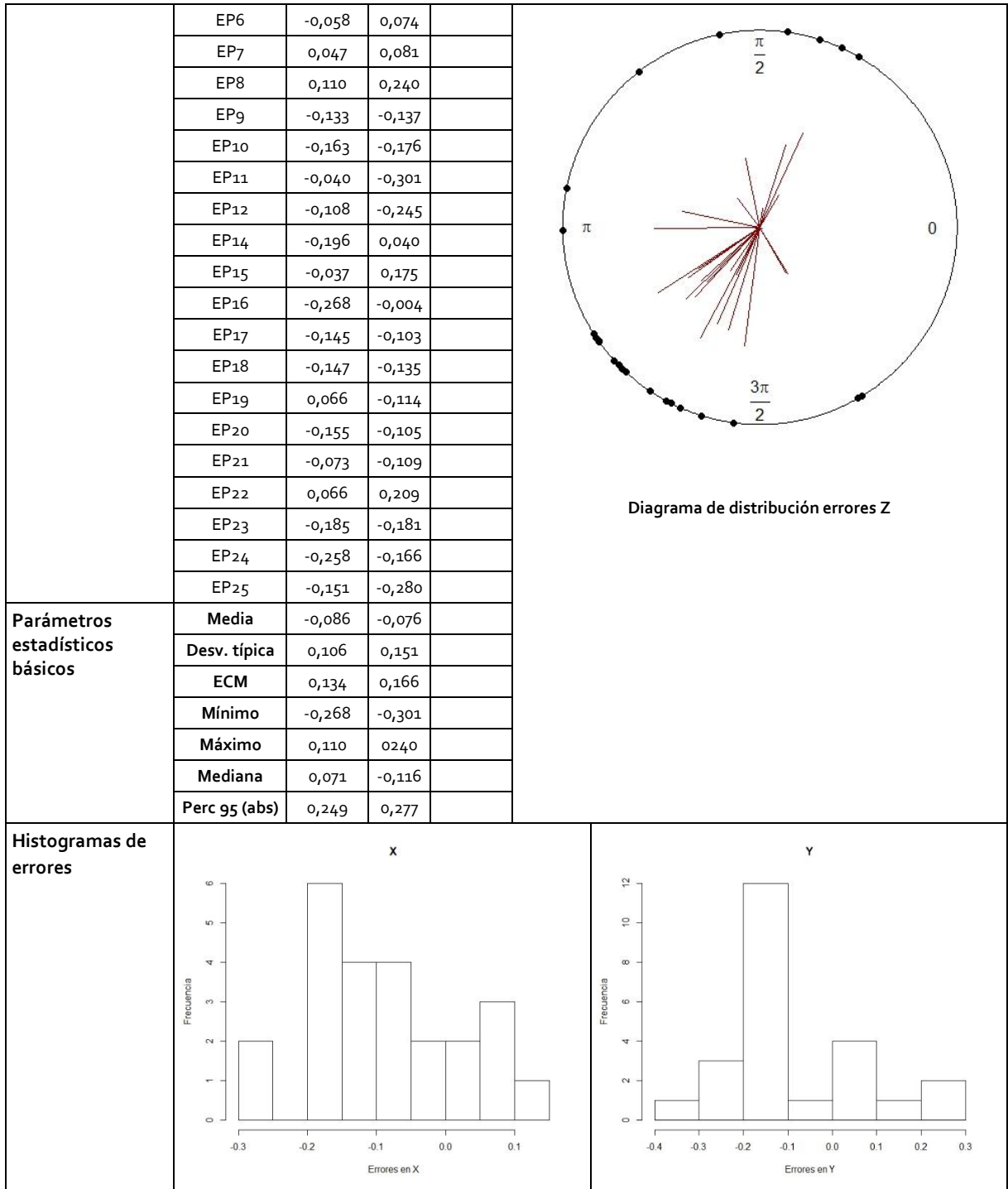
A continuación se presentarán todos los resultados de las medidas que se han elegido en el apartado 2. Si para alguna de ellas se había establecido algún nivel de conformidad, se indicará si la medida es o no conforme. Seguidamente se presentarán los resultados de los estándares de calidad posicional aplicados (NMAS, EMAS y NSSDA).

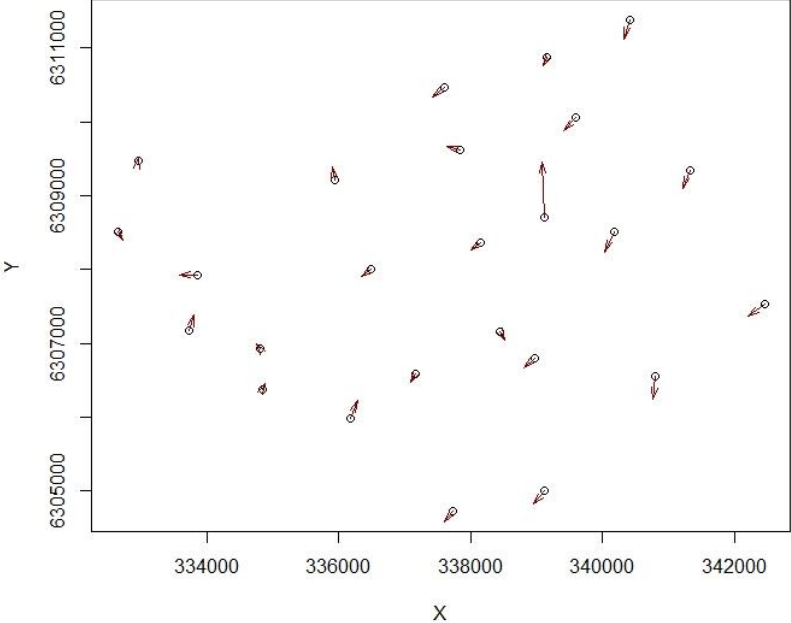
Finalmente, es conveniente una breve interpretación de todos los resultados de manera conjunta.

Se sugiere presentar esta información de forma clara y concisa en formato tabular como se realiza en la Tabla A1.5.

Tabla A1.5 Resultados

Lista de errores definitiva [m]	Id	E_X	E_Y	E_Z	Diagrama circular de distribución de errores X,Y
	EP1	-0,081	-0,261		
	EP2	-0,060	-0,120		
	EP3	-0,180	-0,128		
	EP4	0,007	0,047		
	EP5	0,072	-0,118		



<p>Distribución espacial de los errores</p>	<p style="text-align: center;">Campo de errores</p>  <p style="text-align: center;">Nota 1: Esta figura incluye los puntos atípicos que han sido eliminados en el apartado 4.</p>								
<p>Asignación del sesgo</p>									
<p>Medidas de la calidad</p>	Ordinal	Resultado	Conforme	Ordinal	Resultado	Conforme	Ordinal	Resultado	Conforme
	1	0,202 m	-	11			21	0,214 m	Sí
	2	0,115 m	-	12			22		
	3			13			23		
	4			14			24		
	5			15			25		
	6			16	0,129 m	-	26		
	7			17			27		
	8			18					
	9			19	0,315 m	-			
	10			20					
<p>NMAS</p>	Horizontal		Tol_hz = 1,693 m % puntos > Tol_hz = 0% <input type="checkbox"/> no comprobado <input checked="" type="checkbox"/> Pasa <input type="checkbox"/> No pasa						
	Vertical		Tol_vert = % puntos > Tol_vert = <input checked="" type="checkbox"/> no comprobado <input type="checkbox"/> Pasa <input type="checkbox"/> No pasa						
<p>EMAS</p>	X	Sesgo	Media límite: 0 m $\alpha = 5\%$ p-valor: _____ $t_x = -3,974$ $t_{n-1,\alpha/2} = 2,080$ <input type="checkbox"/> Pasa <input checked="" type="checkbox"/> No pasa			<input type="checkbox"/> no comprobado			
		Aleat.	Desviación típica límite: 0,5 m $\alpha = 5\%$ p-valor: _____ $\chi_x^2 = 1,042$ $\chi_{n-1,\alpha}^2 = 32,671$ <input checked="" type="checkbox"/> Pasa <input type="checkbox"/> No pasa						
	Y	Sesgo	Media límite: 0 m $\alpha = 5\%$ p-valor: _____ $t_y = -2,450$ $t_{n-1,\alpha/2} = 2,080$ <input type="checkbox"/> Pasa <input checked="" type="checkbox"/> No pasa			<input type="checkbox"/> no comprobado			
		Aleat.	Desviación típica límite: 0,5 m $\alpha = 5\%$ p-valor: _____ $\chi_y^2 = 2,105$ $\chi_{n-1,\alpha}^2 = 32,671$						

			<input checked="" type="checkbox"/> Pasa <input type="checkbox"/> No pasa	
Z	Sesgo	Media límite: p-valor: _____ $t_z =$ $\alpha =$ $t_{n-1, \alpha/2} =$ <input type="checkbox"/> Pasa <input type="checkbox"/> No pasa	<input checked="" type="checkbox"/> no comprobado	
	Aleat.	Desviación típica límite: p-valor: _____ $\chi_z^2 =$ $\alpha =$ $\chi_{n-1, \alpha}^2 =$ <input type="checkbox"/> Pasa <input type="checkbox"/> No pasa		
TOTAL			<input type="checkbox"/> Pasa <input checked="" type="checkbox"/> No pasa <input type="checkbox"/> no comprobado	
NSSDA	Horizontal	ECM _X = 0,135 m ECM _Y = 0,167 m ECM _{min} / ECM _{max} = 0,81 NSSDA _H = 0,369 m Se ha verificado una exactitud horizontal de 0,369 metros al 95 % de nivel de confianza.		
	Vertical	ECM _Z = NSSDA _Z = Se ha verificado una exactitud vertical de _____ metros al 95 % de nivel de confianza		
<i>Nota: Los datos de error no están exentos de sesgo, por lo que el resultado del NSSDA debe ser considerado con cierta precaución.</i>				
Interpretación de los resultados	<p>Calidad teórica. Se parte de una desviación típica circular de 0,5 m ($\sigma_c = \sigma_x = \sigma_y = 0,5$ m) y sin sesgo en ninguna componente.</p> <p>Hipótesis estadísticas. La muestra de errores supera la mayoría de hipótesis estadísticas, lo cual da confianza en el trabajo realizado. Se detectan sesgos en ambas componentes, hecho influenciado por la baja desviación típica de los errores. Se elimina 1 atípico, por lo que el tamaño muestral se reduce de 25 a 24 puntos. No se conoce su causa.</p> <p>Parámetros estadísticos básicos. La proximidad entre las medidas de tendencia central (media y median) y la de dispersión (desviación típica) parece indicar a la presencia de cierto sesgo. No obstante, los valores máximos (0,24 m en Y), mínimo (-0,30 m en Y) y el percentil 95 (0,249 m en X y 0,277 m en Y) apuntan sugieren que los errores son inferiores a lo esperado para un producto con la c calidad teórica dada (desviación típica en cada componente de 0,5 m).</p> <p>Estándar NMAS. Se supera el estándar, en tanto ningún punto supera el umbral de 1,693 m. Esto es lógico para un producto con una desviación típica teórica en cada componente de 0,5 m.</p> <p>Estándar EMAS. El estándar indica que se superan los test sobre la varianza en ambas componentes X, Y, pero que no se supera el test sobre la media en ambas componentes, confirmando lo que se intuía por la cercanía entre los valores de la media y la desviación típica.</p> <p>Estándar NSSDA. El estándar, que presupone que no existen sesgos, arroja un valor de 0,369 m al 95 % de nivel de confianza. Esto equivaldría a una incertidumbre típica circular de $0,369/2,4477 = 0,15$ m, muy inferior a la calidad teórica. Por tanto, se puede afirmar que el producto es mejor de lo esperado.</p> <p>Resumen general. El producto tiene una calidad global mejor que la calidad teórica supuesta (0,5 m), lo que queda confirmado por el test NSSDA, que es el estándar que ofrece un valor numérico interpretable. No obstante, entrando en detalle con el test EMAS y observando los valores estadísticos básicos, se observa que puede existir un sesgo en las componentes X e Y. La combinación del sesgo y la variabilidad ocultan el problema al aplicar el NSSDA, cuyo valor no se ve influido por el sesgo. Lógicamente se supera el test NMAS ya que el umbral fijado queda en 1,7 m, muy por encima de los errores encontrados.</p>			

6. METACALIDAD DE LOS RESULTADOS Y PROCESOS

En esta parte del informe se desarrollarán explicaciones justificativas relativas a los elementos de la metacalidad. Deberán estar basadas en hechos objetivos presentados en los apartados previos del informe. Se sugiere seguir las recomendaciones dadas en la norma UNE 148002.

Se sugiere presentar esta información de forma clara y concisa en formato tabular como se realiza en la Tabla A1.6.

Tabla A1.6 Metacalidad de resultados y procesos

Confianza	<p>Descripción cualitativa. La confianza en los trabajos de evaluación queda asegurada por: i) generación aleatoria de la muestra mediante un generador de posiciones aleatorias; ii) tamaño de muestra suficiente y algo mayor que el requerido habitualmente por los estándares NMAS, EMAS y NSDDA; iii) captura de coordenadas en campo mediante GNSS mediante el observable de fase y el método estático rápido; iv) procesamiento de las observaciones GNSS por un especialista en cálculos geodésicos; v) independencia del CDR y el CDE dado que éste no se utiliza en ninguna operación común; vi) en todas las fases ha participado personal con formación específica y más de 5 años de experiencia en evaluación de la calidad posicional.</p> <p>Datos cuantitativos: Tamaño de muestra: >20 Fuente de mayor exactitud: >5x</p>
Homogeneidad	<p>Descripción cualitativa. Existen medidas de gestión de la calidad para asegurar la homogeneidad del proceso de evaluación:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Estándares de formación y capacitación del personal interviniente. • Procedimientos escritos: <i>Doc1</i> para directrices de trabajo en campo. <i>Doc2</i> para directrices de digitalización en gabinete. <p>Todo el personal interviniente ha sido capacitado en este tipo de trabajos. El Servicio Aerofotogramétrico de la Fuerza Aérea de Chile dispone de un manual de procedimientos y de un SGC según ISO 9001 para este tipo de productos.</p>
Representatividad	<p>Espacial. La distribución espacial es homogénea y cubre el ámbito definido en la unidad de calidad de datos.</p> <p>Temática. No aplicable al tratarse de una imagen.</p> <p>Poblacional. El tamaño de la muestra es suficiente. No se rechaza la hipótesis de adherencia a la distribución normal de los errores de cada componente X, Y.</p>

7. FECHA Y FIRMA DEL RESPONSABLE

Toda evaluación debe tener asignada una fecha y un técnico responsable que ha de firmarla.

Fecha del informe	28 de marzo de 2019
Firma del/la responsable	PAC JOSELYN ROBLEDO CEBALLOS

ADENDA: COMENTARIOS SOBRE LA EVALUACIÓN

Como se ha indicado en la presentación inicial de este anexo, tras la presentación del informe se desea hacer algunos comentarios tanto sobre el propio informe como sobre el caso real de evaluación que se ha presentado.

En relación con el informe, se desea hacer hincapié en que es sólo una propuesta y que cada cual puede tomar de ella aquellos aspectos que le resulten de mayor conveniencia. El informe que se presenta puede parecer extenso, pero se debe tener en cuenta que se han incluido los resultados de distintas hipótesis estadísticas previas, diversas medidas de la calidad, y de tres estándares de control posicional, mas una parte dedicada a la metacalidad. Además, se ha adoptado una forma de presentación espaciosa y verbosa, todo lo cual ha incrementado su extensión notablemente. Sin embargo, creemos que este tipo de informes debe ser suficientemente exhaustivo y claro, en lugar de sintético y resumido.

El informe también ha pretendido ser muy gráfico, por lo que se han incluido esquemas de distribución de puntos de control, campo de errores, histogramas, etc., aspecto que, desgraciadamente, no suele ser muy común en este tipo de informes y cuya inclusión enriquece el informe, y además, amplía las posibilidades de análisis que ofrece.

En cuanto al control que se realiza, se trata de un caso real que presenta algunos aspectos que conviene indicar, pues el objetivo de este anexo es presentar el tipo de informe, no un caso real de evaluación de la exactitud posicional que sea perfecto. Algunos aspectos relevantes son:

- Fuente de mayor exactitud. La distribución espacial de los elementos de evaluación no es adecuada del todo, hay zonas del área de interés que no quedan suficientemente cubiertas. Además, como se ha indicado en el apartado «Cantidad y distribución de los puntos de evaluación», los puntos de evaluación deberían cubrir el área de interés con cierto orlado, situación que no ocurre en este caso. En relación con las tipologías de objetos utilizados en la evaluación, éstas deberían incluir mayoritariamente aquellas que se vayan a utilizar en el CDE que se evalúa. Por otra parte, el uso de pinturas sobre el asfalto sólo es aconsejable cuando son muy recientes y hay poca distancia temporal entre el momento de pintarlas, la toma fotogramétrica y la toma GNSS (por otro lado, no permitirían el disponer de un conjunto de puntos estable en el tiempo para futuros trabajos de evaluación de la calidad). Para dar mayor idea de rigor, en este apartado se ha incluido la mención a la herramienta HS₁ y al procedimiento Proc₂, que realmente deberían existir para que este proceso se ejecute adecuadamente y con rigor suficiente.
- Comprobación de hipótesis estadísticas. Como se observa, la aleatoriedad de los errores en Y está muy cercana a ser rechazada y su valor está muy alejado del que se obtiene para los errores en X. Esto indica que posiblemente exista alguna circunstancia especial en la componente Y de los errores. La normalidad de los datos está muy cerca del rechazo. Los datos presentan algo de sesgo, pero como la desviación teórica de 0,5 m por componente absorbe la composición de sesgos y desviaciones, no hay problema práctico en asumirlos. El análisis de independencia indica que existe cierta correlación entre los valores de errores en X y en Y, y en el análisis de homocedasticidad se acepta la hipótesis nula con un valor cercano al rechazo. En definitiva, los datos de errores en X y en Y de este caso real no son datos que cumplan holgadamente las hipótesis estadísticas necesarias por la mayoría de los métodos de evaluación de la exactitud posicional. Se deberían analizar los procesos que han intervenido en la obtención de estos datos al objeto de discernir posibles causas. El productor de esta evaluación debería estar atento a sus procesos para saber si este ha sido un proceso estándar dentro de su organización o un proceso anómalo y, a partir de ahí, mejorar sus procesos si es necesario. En cualquier caso, dado que se quería presentar un ejemplo completo, como conclusión se adopta la de proceder con la evaluación.

- Resultados. Este apartado confirma lo indicado en el párrafo anterior. Queremos destacar aquí que la inclusión del diagrama circular de distribución de errores y el campo de errores presentan una información que se complementa y que es muy interesante. Se observa en el diagrama circular que hay una mayor concentración de casos en el cuadrante inferior izquierdo (que viene a ser el sesgo antes mencionado) y que estos casos tienden a concentrarse en la zona Este (aproximadamente desde $X \geq 339000$). El resto del mapa presenta un comportamiento más aleatorio. Se evidencia con ello que estas dos herramientas gráficas facilitan el entender mejor la realidad de lo que está ocurriendo. A partir de ahí se deberán encontrar las posibles causas asignables
- Metacalidad. Se ha incluido este apartado con una clara intención divulgativa y cuyo contenido pretende ofrecer un ejemplo de qué puede incluirse, pues la evaluación que se ha presentado no permite realizar un informe de metacalidad satisfactorio. Consideramos que el informar sobre la metacalidad es una obligación moral de aquellos que realizan evaluaciones de la calidad, pues si no hay confianza en sus métodos no se debería tener confianza en sus resultados. Así, en este caso, el tamaño de muestra es escaso y su distribución es incompleta pues no cubre adecuadamente el espacio. Además, se ha supuesto la existencia de la herramienta HS1 para crear la distribución aleatoria de elementos de evaluación, pero realmente, la distribución y selección la ha realizado un operador. Igualmente, se ha supuesto la existencia de dos procedimientos (Doc1 y Doc2) para apoyar el informe. Lo que sí es un aspecto de confianza es que el SAF dispone de un SGC certificado según ISO 9001 que abarca la producción.

ESTADOS MIEMBROS
DEL
INSTITUTO PANAMERICANO DE GEOGRAFÍA E HISTORIA

EL IPGH, SUS FUNCIONES Y ORGANIZACIÓN

Argentina	El Instituto Panamericano de Geografía e Historia fue fundado el 7 de febrero de 1928 por resolución aprobada en la Sexta Conferencia Internacional Americana que se llevó a efecto en La Habana, Cuba. En 1930, el Gobierno de los Estados Unidos Mexicanos construyó para el uso del IPGH, el edificio de la calle Ex Arzobispado 29, Tacubaya, en la ciudad de México.
Belice	
Bolivia	
Brasil	En 1949, se firmó un convenio entre el Instituto y el Consejo de la Organización de los Estados Americanos y se constituyó en el primer organismo especializado de ella.
Chile	
Colombia	El Estatuto del IPGH cita en su artículo 1º sus fines:
Costa Rica	1) Fomentar, coordinar y difundir los estudios cartográficos, geofísicos, geográficos e históricos, y los relativos a las ciencias afines de interés para América.
Ecuador	
El Salvador	2) Promover y realizar estudios, trabajos y capacitaciones en esas disciplinas.
Estados Unidos de América	3) Promover la cooperación entre los Institutos de sus disciplinas en América y con las organizaciones internacionales afines.
Guatemala	Solamente los Estados Americanos pueden ser miembros del IPGH. Existe también la categoría de Observador Permanente, actualmente se encuentran bajo esta condición: España, Francia, Israel y Jamaica.
Haití	
Honduras	El IPGH se compone de los siguientes órganos panamericanos:
México	1) Asamblea General.
Nicaragua	2) Consejo Directivo.
Panamá	3) Comisión de: Cartografía (Costa Rica) Geografía (Estados Unidos de América)
Paraguay	Historia (México) Geofísica (Ecuador)
Perú	
República Dominicana	4) Reunión de Autoridades. 5) Secretaría General (México, D.F., México).
Uruguay	Además, en cada Estado Miembro funciona una Sección Nacional cuyos componentes son nombrados por cada gobierno. Cuentan con su Presidente, Vicepresidente, Miembros Nacionales de Cartografía, Geografía, Historia y Geofísica.
Venezuela	

METADATOS

Título	Guía para la evaluación de la exactitud posicional de datos espaciales.
Autores	Ariza López, F.J.; García Balboa, J.L.; Rodríguez Avi, J.; Robledo, J.
Materia	Información Geográfica, Producción Cartográfica, Calidad de datos, Exactitud Posicional
Descripción	Se ofrece una guía aplicada que permita desarrollar evaluaciones de la exactitud posicional absoluta de una manera correcta y fiable. Se tratan de manera conjunta aspectos teóricos y prácticos. Todo el proceso se desarrolla dentro del marco establecido por las normas ISO 19100 del Comité Técnico 211. Como complemento se propone un modelo de informe que resume las características de la evaluación realizada, así como los resultados obtenidos. Esta guía se centra fundamentalmente en los procesos a desarrollar en gabinete, pero también ofrece directrices para los procesos de toma de datos en campo.
Editor	Instituto Panamericano de Geografía e Historia
Colaboradores	Florencia Manduca (Argentina), Emerson Magnus de Araújo Xavier (Brasil), Pablo Morales (Chile), Elena Gabriela Chicaiza (Ecuador), Xavier Buenaño (Ecuador), Héctor Gómora (México), Rosario Casanova (Uruguay), Edison Rosas (Uruguay), Hebenor Bermúdez (Uruguay)
Fecha	Creado: 2019-05-15
Tipo de recurso	Texto
Formato	PFD
Identificador	IPGH Publicación 557
Fuente	Elaboración propia
Idioma	Español
Relación	
Cobertura	Panamericana
Derechos	IPGH (de la edición), los autores (de los contenidos)
Audiencia	Personal Técnico en Información Geográfica.

***El IPGH es la entidad continental
que brinda el espacio científico para repensar América, a partir
de su geografía e historia***



Instituto Panamericano de Geografía e Historia (IPGH)
Ex-arzobispado 29, Colonia Observatorio, 11860 Ciudad de México, México
secretariageneral@ipgh.org <http://www.ipgh.org>