



REVISTA **cartográfica**

Número 103 / julio-diciembre 2021



INSTITUTO PANAMERICANO DE
GEOGRAFÍA E HISTORIA

**AUTORIDADES DEL
INSTITUTO PANAMERICANO DE GEOGRAFÍA E HISTORIA
2017-2021**

PRESIDENTE Lic. Israel Sánchez Panamá
VICEPRESIDENTE Mag. Alejandra Coll Chile

SECRETARIO GENERAL
Mag. César Rodríguez Tomeo
Uruguay

COMISIÓN DE CARTOGRAFÍA

(Costa Rica)
Presidente:
Mag. Max Lobo

Vicepresidente:
Mag. Álvaro Antonio Álvarez

COMISIÓN DE HISTORIA

(México)
Presidenta:
Dra. Patricia Galeana Herrera

Vicepresidente:
Mtro. Rubén Ruiz

COMISIÓN DE GEOGRAFÍA

(Estados Unidos de América)
Presidenta:
Dra. Patricia Solís

Vicepresidenta:
Geóg. Jean W. Parcher

COMISIÓN DE GEOFÍSICA

(Ecuador)
Presidente:
Dr. Mario Ruiz

Vicepresidente:
Dra. Alexandra Alvarado

MIEMBROS NACIONALES DE LA COMISIÓN DE CARTOGRAFÍA

Argentina
Belice
Bolivia
Brasil
Chile
Colombia
Costa Rica
Ecuador
El Salvador
Estados Unidos de América
Guatemala
Guatemala
Haití
Honduras
México
Nicaragua
Panamá
Paraguay
Perú
República Dominicana
Uruguay
Venezuela

Agrimensor Sergio Rubén Cimbaro Sr.
Wilbert Vallejos
Cnl. DAEN José Oviedo Bustillos
João Bosco de Azevedo
Dr. Carlos Mena Frau
Fernando León Rivera

Sr. Xavier Molina
Sr. Mario Antonio Zeledón Flores
Eric Van Praag
Ing. Marcos Osmundo Sutuc Carillo Ing.
Arch. Pierre Alexilien Versaille Arq.
Marilyn Villatoro
Ing. Raúl Ángel Gómez Moreno

Lic. Israel Sánchez
Cnel. SG Antonio Gavilán Estigarribia
Mayor EP Reynaldo Flores Rivero
Geóg. Susana Hernández
Cnel. Daniel Píriz
Ing. Sergio Rodríguez

COMITÉS DE LA COMISIÓN DE CARTOGRAFÍA

Normas y estándares de Información Geográfica (Colombia)
Cartografía Temática
Infraestructura de Datos Geospaciales (Ecuador)

REVISTA
cartográfica

número 103 • julio-diciembre 2021



INSTITUTO PANAMERICANO DE
GEOGRAFÍA E HISTORIA

REVISTA cartográfica

Publicación anual fundada en 1952. Desde 2016 publicación semestral
Indizada en PERIÓDICA y Latindex
Disponible en: Cengage Learning, Ebsco y ProQuest
<https://www.revistasipgh.org/index.php/rcar/Indexada>

La preparación de la *Revista Cartográfica* está a cargo de la editora
María Ester Gonzalez
Departamento de Geografía, Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Geografía
Universidad de Concepción
Victoria 486-490, CP 4030000, Concepción, Chile
Correo electrónico: editor_revista_cartografica@ipgh.org
www.revistasipgh.org/index.php/rcar

Comité Editorial

Carlos Granell Canut, Universidad Jaume I de Castellón (España)
Carlos López Vázquez, Universidad ORT Uruguay (Uruguay)
Daniela Ballari, Universidad de Azuay (Ecuador)
Diego Seco Naveiras, Universidad de Concepción (Chile)
Francisco Javier Ariza López, Universidad de Jaén (España)
Jean Francois Mas, Universidad Nacional Autónoma de México (México)
Joep Crompvoets, KU Leuven Public Governance Institute (Bélgica)
Miguel Ángel Bernabé Poveda, Universidad Nacional de Catamarca (Argentina)
Montserrat Gómez Delgado, Universidad de Alcalá (España)
Sandra Staller Vázquez, Universidad Politécnica de Madrid (España)
Stefan Steiniger, Pontificia Universidad Católica de Chile (Chile)
Theofilos Toulkeridis, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE (Ecuador)

Canje, venta y distribución, escribir a:
Instituto Panamericano de Geografía e Historia
Secretaría General
Apartado Postal 18879, C.P. 11870 Ciudad de México, México
Teléfonos: (52-55)5277-5888, 5277-5791 y 5515-1910
Correo electrónico: publicaciones@ipgh.org | <https://revistasipgh.org/> | <http://www.ipgh.org>

Las opiniones expresadas en notas, informaciones, reseñas y trabajos publicados en la *Revista Cartográfica*, son de la exclusiva responsabilidad de sus respectivos autores. Los originales que aparecen sin firma ni indicación de procedencia son de la Dirección de la Revista.

En cumplimiento con la resolución IX de la XIV Reunión del Consejo Directivo del IPGH (Buenos Aires, Argentina, julio, 1972.), se advierte que: "Los límites que aparecen en los mapas de esta publicación no están, en algunos casos, finalmente determinados y su reproducción no significa aprobación oficial o aceptación por el Instituto Panamericano de Geografía e Historia (IPGH)".



Diseño de portada / Cover design: Santiago Mora Van Cauwelaert - Taller Siranda.

Fuente de la imagen / Source: Reinterpretación del Plano Topográfico de Bogotá levantado por Carlos Clavijo en 1891 y reformado en 1894; Banco de la República, Colombia.

© 2021 Instituto Panamericano de Geografía e Historia.

Revista Cartográfica, núm. 103, julio-diciembre 2021, publicación semestral editada por el Instituto Panamericano de Geografía e Historia, Ex-arzobispado núm. 29, Col. Observatorio, Alcaldía Miguel Hidalgo, C.P. 11860, Ciudad de México, México. Tels. (52-55)5277-5888, 5277-5791, 5515-1910, www.ipgh.org, <https://revistasipgh.org/> | publicaciones@ipgh.org | Editora: María Ester Gonzalez, correo electrónico: editor_revista_cartografica@ipgh.org. | Reserva de Derechos al Uso Exclusivo núm. 04-2015-090212390600-203, otorgado por el Instituto Nacional del Derecho de Autor | ISSN (en línea) 2663-3981 | Licitud de título y contenido: en trámite | Responsable de la última actualización de este número: Departamento de Publicaciones del IPGH, Ex arzobispado núm. 29, Col. Observatorio, Alcaldía Miguel Hidalgo, C.P. 11860, Ciudad de México, México.

Se autoriza cualquier reproducción parcial o total de los contenidos o imágenes de la publicación, incluido el almacenamiento electrónico, siempre y cuando sea para usos estrictamente académicos y sin fines de lucro, citando la fuente sin alteración del contenido y otorgando los créditos autorales.

REVISTA **cartográfica**

número 103

julio-diciembre 2021

CONTENIDO

Editorial	5
Artículos	
Positional quality assessment based on linear elements <i>Evaluación de calidad posicional basada en elementos lineales</i> Antonio Tomás Mozas-Calvache	11
Métodos de orlado para la evaluación de la exactitud altimétrica en modelos digitales de elevaciones del terreno <i>Buffer methods for assessing the altimetric accuracy in digital terrain elevation models</i> Francisco Javier Ariza-López Juan Francisco Reinoso-Gordo	33
Implementación de procesos de control de calidad en la actualización de series cartográficas urbanas mediante combinación de CAD y SIG <i>Implementation of quality control processes in the updating of urban cartographic series through a combination of CAD and GIS</i> Eulàlia Torrent Foz Ángel Luis Muñoz-Nieto Diego González-Aguilera Pablo Rodríguez-Gonzálvez	47
Análisis de la evaluación de daños en edificios basada en imágenes de satélite y aéreas en el ámbito de Copernicus EMS Mapping <i>Analysis of building damage assessment based on satellite and aerial imagery in the scope of Copernicus EMS Mapping</i> Raquel Ciriza Labiano, Uxue Donezar-Hoyos, M ^a Esperanza Amezketa Lizarraga, Fermín Ros Elso, Teresa de Blas Corral, Agustín Tames Noriega, Marco Broglia, Alan Steel, Iban Amezttoy, Paola Rufolo	71

Normalización de datos geospaciales de fuentes y manantiales inventariados en el Nomenclátor Geográfico de Andalucía (España)

Standardization of geospatial data of water sources and springs collected in the Andalusian Gazetteer (Spain)

María Teresa Garrido Borrego
Cristina Torrecillas Lozano
Irene García Benabad
Lucía Romero Cardenas
Cora Torrecillas Nicolás

99

Caracterización del error en MDE por mixtura de distribuciones

Characterization DEM Error by Distribution mixtures

José Rodríguez Avi

123

Revisión de la calidad de los conjuntos de datos abiertos sobre presupuestos

Quality Review of Budget Open Datasets

Manuel Antonio Ureña-Cámara
Javier Nogueras-Iso
Javier Lacasta

145

Aplicación de los test de equivalencia al control tipo temático de magnitudes asociadas a un Modelo Digital de Elevaciones

Application of an equivalence test to the thematic-type control of magnitudes derived from a Digital Elevation Model

María Virtudes Alba-Fernández

165

iCPos: una herramienta web para la elaboración de Informes de Calidad Posicional

iCPos: A web-tool to create Quality Positional Control Reports

José Luis García-Balboa
Manuel Antonio Ureña-Cámara
Emerson Magnus de Araujo Xavier

183

Instructivo para Autores

200

Editorial

El presente número (103, julio-diciembre de 2021) de la *Revista Cartográfica* se ha centrado en la calidad de datos geoespaciales. Desde siempre, el IPGH, a través de sus Comisiones, especialmente la de Cartografía ha mostrado su preocupación por esta temática y ha apoyado el desarrollo de normas, estándares, guías y proyectos de asistencia técnica con este fin. Hoy, con esta edición, se avanza más en esta línea, ofreciendo a científicos y técnicos la oportunidad de presentar sus trabajos y últimos avances en la temática. Con ello se refuerza el compromiso del IPGH con la calidad y, especialmente, con la calidad de datos.

De siempre, los cartógrafos y técnicos que han usado mapas fueron conscientes de sus imperfecciones y errores, pero no fue hasta mediados del siglo pasado cuando se empezó a hablar de su calidad de una manera más científica y organizada. En el último tercio del siglo pasado, con la aplicación de “nuevas tecnologías” (Sistemas de Información Geográfica, Teledetección, etc.) y, ya en nuestro siglo, con la llegada de las Infraestructuras de Datos Espaciales, la calidad de los datos es una exigencia cada vez más evidente y un requisito indispensable para la interoperabilidad (posicional, semántica, etc.) entre conjuntos de datos. Desde sus inicios, la calidad de los datos geoespaciales ha sido una subdisciplina central de las ciencias de la información geográfica, y ha sido de interés para la comunidad científica, académica, agencias gubernamentales (p.ej. el IPGH) y, más recientemente, para la industria.

La calidad de los datos geoespaciales se ha desarrollado hasta la fecha siguiendo la línea que ofrece la perspectiva clásica establecida por aportaciones pioneras como la de Moellering (1987), Guptill & Morrison (1995) y que todavía perduran en estándares internacionales como ISO 19157:2013. Por tanto, se dispone de un marco conceptual sólido y de bastantes años de aplicación, lo que nos permite conocer tanto sus fortalezas como debilidades. En este sentido una de las principales fortalezas del marco es su propia existencia como marco específico, pues no existen otros marcos para otros tipos de datos. No obstante, esta fortaleza se convierte en una debilidad sin evolucionar para incorporar nuevas tipologías de datos (p.ej. datos BIM, datos enlazados, metadatos, datos estadísticos, datos generados por voluntarios, datos de IoT, datos de redes sociales, etc.) y hacerse más genérico y amplio para dar satisfacción a un mundo cada vez más datificado y donde los datos de otros campos (p.ej. estadísticos, IoT) pasan a tener componente “geo” explícita. Otra debilidad importante es de este marco es que está casi exclusivamente centrado en una perspectiva de productor, olvidando la adecuación al uso. Además, presenta notables limitaciones para su implementación a nivel de instancias y para el aseguramiento de la trazabilidad y derivación de la calidad en integración de distintas fuentes de datos. Por tanto, la calidad de los datos geoespaciales se debe entender hoy de una manera mucho más abierta de lo que se ha estado considerando, con una perspectiva especulativa sobre sus problemas y

limitaciones actuales y, en esta línea, se abrió la convocatoria de trabajos para este número de la *Revista Cartográfica*.

En esta oportunidad, se presentan trabajos de muy diversa índole, que ofrecen una perspectiva variada y amplia, y que van desde técnicas estadísticas para la estimación y control de la calidad de datos, métodos aplicados a toponimia, hasta el desarrollo de servicios de control de calidad, pasando por la evaluación de la calidad de datos de diversa índole (p.ej. datos sobre daños de edificios en cartografías de emergencias). Se ofrece una visión bastante aproximada de temáticas de interés, de avances, etc., y que, como factor común, se observa un interés especial por las aplicaciones (casos concretos, herramientas, etc.). Esto nos llena de satisfacción dado que indica que la temática de calidad está saliendo de la perspectiva del productor y acercándose cada vez más al usuario, a sus usos y necesidades. Esto la hará más fuerte y más necesaria y, a la vez, más entendible y útil; y este número aporta un pequeño paso en esta senda. Todo lo cual me satisface como editor invitado.

Finalmente, y para concluir, quisiera dejar constancia de mi agradecimiento: al IPGH, y en especial a la *Revista Cartográfica* y a la Comisión de Cartografía por apoyar esta iniciativa; también a la Editora, la doctora María Ester Gonzalez, por su apoyo, diligencia y profesionalidad; y, por supuesto, a todos los que se han animado a presentar y revisar trabajos, sin los cuales no habría sido posible esta realidad.

Francisco Javier Ariza-López
Editor invitado

Editorial

This issue (103, July-December 2021) of the *Revista Cartográfica*, is a number focused on the quality of geospatial data. The PAIGH, through its Commissions, especially that of Cartography, has always shown its concern for this subject and has supported the development of norms, standards, guides, and technical assistance projects for this purpose. Today, with this special issue, a step of progress has been made in this path, we have offered to scientists and technicians the opportunity to present their works and the latest advances on the subject. This reinforces the PAIGH's commitment to quality and, especially, to data quality.

Cartographers and technicians who have used maps were always aware of the imperfections and errors contained by the cartography, but it was not until the middle of the last century that the quality of cartography began to be discussed in a more scientific and organized way. In the last third of the last century, with the application of "new technologies" (Geographic Information Systems, Remote Sensing, etc.) and, already in our century, with the arrival of Spatial Data Infrastructures, the data quality is an increasingly evident requirement and a prerequisite for interoperability (positional, semantic, etc.) between data sets. Since its inception, geospatial data quality has been a central sub-discipline of Geographic Information Sciences, and has been of interest to the scientific community, academia, government agencies (e.g. PAIGH) and, more recently, for the industry.

The geospatial data quality has developed to date along the lines offered by the classical perspective established by pioneering contributions such as that of Moellering (1987), Guptill & Morrison (1995) and that still exist in international standards such as ISO 19157: 2013. Therefore, there is a solid conceptual framework and many years of application, which allows us to know both its strengths and weaknesses. In this sense, one of the main strengths of the framework is its very existence as a specific framework, since there are no other frameworks for other data types. However, this strength becomes a weakness if it is not able to evolve to incorporate new data typologies (e.g., BIM data, linked data, metadata, statistical data, volunteer generated data, IoT data, social network data, etc.) and become more generic and comprehensive to satisfy an increasingly datafication of the world, where data from other fields (e.g., statistics, IoT) have now an explicit "geo" component. Another important weakness of this framework is that it is almost exclusively focused on a producer perspective, forgetting about suitability for use. In addition, it presents notable limitations for its implementation at the level of instances and for the assurance of traceability and quality derivation in integration of different data sources. Therefore, geospatial data quality must be understood today in a much more open way than what has been considered, with a speculative perspective on its current problems and limitations and, in this sense, the call for works was opened for this special issue of the *Revista Cartográfica*.

This issue presents works of a very diverse nature, offering a varied and broad perspective, ranging from statistical techniques for the estimation and control of data quality, control methods applied to toponymy, to the development of quality control services, through the data quality assessment in various fields (e.g., data on damage to buildings in emergency maps). We consider that today we offer a fairly approximate view of topics of interest, advances, etc., and that, as a factor common, there is a special interest in applications (specific cases, tools, etc.). This fills us with satisfaction since it indicates that the topic of quality is leaving the producer's perspective and getting closer and closer to the user, their uses and needs. This will make it stronger and more necessary and, at the same time, more understandable and useful; and this issue provides a small step on this path. All of which satisfies us as a Guest Editor.

Finally, and to conclude, I would like to place on record my gratitude: to the PAIGH, and especially to the *Revista Cartográfica* and the Cartography Commission for supporting this initiative; also to the Editor, Dr. M^a Ester Gonzalez, for her support, diligence and professionalism; and, of course, to all the who have been encouraged to present and review papers, without which this reality would not have been possible.

Francisco Javier Ariza-López
Guest Editor

Bibliography

- Guptill, S.C. & Morrison, J. L. (1995). *Elements of Spatial Data Quality*. Pergamon Press
- Moellering, H. (1987). *A draft proposed standard for digital cartographic data*. National Committee for Digital Cartographic Data Standards.
<https://doi.org/10.3133/ofr87308>

ARTÍCULOS



Positional quality assessment based on linear elements

Evaluación de calidad posicional basada en elementos lineales

Antonio Tomás Mozas-Calvache¹

Recibido 14 de diciembre de 2020; aceptado 21 de febrero de 2021

ABSTRACT

This study describes the current state of the art related to the assessment of the positional accuracy of spatial databases based on lines. The use of this type of element of spatial databases has increased in recent years because of the current possibilities of acquisition and sharing data of routes, roads, etc. Nowadays, users are also contributors and this supposes that the spatial quality of data acquired and shared by non-experts must be assessed as is the case with data produced by institutions and enterprises. In this context, several methods based on lines have been developed up to this time for several purposes. This study reviews these methods, analyzing their characteristics, measures, etc. In addition, more than 30 applications of these methods are also summarized. These applications include control of generalized and digitized lines, control of spatial databases, analysis of the displacement of lines between dates, etc.

Key words: lines, positional accuracy, quality, spatial databases, assessment.

RESUMEN

Este estudio describe el estado actual del arte relacionado con la evaluación de la exactitud posicional basada en líneas. El uso de este tipo de elementos de las bases de datos espaciales se ha incrementado en los últimos años debido a las posibilidades actuales de adquisición e intercambio de datos espaciales de rutas, carreteras, etc. Hoy en día, los usuarios también son contribuyentes y esto supone que la calidad espacial de los datos, adquiridos y compartidos por personas no expertas, deben evaluarse como se hace con los datos espaciales

¹ Departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría, Universidad de Jaén, España, correo electrónico: antmozas@ujaen.es. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5847-4338>

producidos por instituciones y empresas. En este contexto, se han desarrollado varios métodos basados en líneas hasta este momento para varios propósitos. Este estudio repasa estos métodos, analizando sus características, métricas, etc. Además, también se resumen más de 30 aplicaciones de estos métodos desarrollados hasta el momento. Las aplicaciones incluyen el control de líneas generalizadas y digitalizadas, el control de bases de datos espaciales, el análisis del desplazamiento de líneas entre fechas, etc.

Palabras clave: *líneas, exactitud posicional, calidad, bases de datos espaciales, evaluación.*

1. Introduction

This article summarizes the main methods and applications developed, until this moment, for assessing and/or controlling the positional accuracy of spatial databases based on lines. Positional accuracy is one of the main components of quality related to spatial databases (Mozas-Calvache & Ariza-López, 2011). Other components include attribute accuracy, temporal accuracy, logical consistency and completeness (ISO, 2013). This study is focused on positional accuracy and more specifically on its assessment based on linear elements. A line can be defined by a set of ordered vertexes that are connected by segments. The use of lines supposes an important alternative to the traditional controls based on points both independently or in a complementary way. There are several methods and standards published by several authors and institutions during the last decades which use a sample of well-distributed points (USBB, 1947; ASCE, 1983; ASPRS, 1990; FGDC, 1998) to determine the positional accuracy of cartographic products. In general, the coordinates of these points are compared to those obtained from more accurate sources using several metrics (e.g. Root Mean Squared Error, RMSE). However, there are several aspects to be considered related to the positional accuracy of spatial databases. Firstly, there are more types of elements in a spatial database such as lines or polygons. In fact, lines suppose the large group in a spatial database (Cuenin, 1972) and they usually have a good spatial distribution over any area (Mozas-Calvache & Ariza-López, 2014). Secondly, the analysis of these elements can improve the results of the assessment because of their own spatial characteristics. Lines contain a great deal of geometrical information defined by a large quantity of vertexes (Mozas & Ariza, 2011). Despite the fact that lines are commonly well-distributed and well-defined on a map, producers and institutions have traditionally used points to check the positional accuracy. Maybe this selection was caused by the best definition of these elements, both in the database and in reality, and the ease of determination of the coordinates using classical surveying, including static observations performed using Global Navigation Satellite System (GNSS). Nowadays the acquisition of lines from a more accurate source has achieved a great improvement thanks to the evolution of the acquisition devices and to the development of kinematic measuring techniques. Lines are acquired

much more comfortably and quickly Ruiz-Lendínez *et al.* (2009). Definitely, the use of linear elements can be considered for assessing the positional accuracy of spatial databases. This premise has been analysed during recent years by several authors.

The quality requirement of spatial databases has undergone a great development during the last few decades. This tendency has been based mainly on the growing concern of producers and users for the quality of products and services and the increase of the availability of the geographic information (GI) on the Internet, which implies a greater demand of data quality on the part of producers and users. An example of this increase of availability on the Internet is the development and establishment of Spatial Data Infrastructures, which allow users to access GI easily. As a consequence, the demand of GI has expanded to those user segments who were not used to these type of products in the past. In addition the global distribution of mobile devices, which has greatly eased positioning measurement, and consequently the development of location-based services, has obviously contributed to this expansion. Nowadays, this evolution supposes a change of paradigm because GI is no longer solely generated by traditional producers. Thus, users are producing, sharing and consuming geospatial data continuously. Goodchild (2007) suggested the term Volunteered Geographical Information (VGI) to include those data produced by citizens in this context. As an example, VGI includes routes and tracks surveyed and shared by users on applications such as OpenStreetMap, Wikiloc, etc. Consequently, we must consider that a large amount of VGI data are composed of lines. Obviously, the positional quality of this data must also be controlled because users require a level of quality similar to that demanded for data produced by institutions. This large amount of GI continually added and updated requires new mechanisms to control their quality feasibly and rapidly. In this context, the methods based on lines have a wide field of application. Antoniou & Skopeliti (2015) gave a more detailed description of measures and indicators of VGI quality.

During recent years the necessity of using lines to assess spatial databases has definitely intensified, both generally (a complete database) and particularly (several sets of elements represented by lines). Some examples of these particular assessments are the control of digitized lines, simplified lines, matching between vector datasets, the determination of displacements between dates, etc. Essentially, any application where two sets of lines must be compared spatially. This necessity has allowed the development of several methods for controlling the positional accuracy of a sample of these elements. In this study most of these methods are described in the methodology section and their main applications are described in the results section. Previously to their description it is necessary to understand how they have been developed based on the concept of uncertainty of lines based on their spatial characteristics. In this context several uncertainty models have been described until now for segments, and consequently for lines (Figure 1). The first model used to describe the uncertainty of digitized lines was the concept of the epsilon band. This was initially proposed by Perkal (1956) and subsequently adapted by several authors

(Chrisman, 1982; Blakemore, 1984; Goodchild, 1987; Hunter & Goodchild, 1995; Leung & Yan, 1998; Kronenfeld, 2011). The concept of the epsilon band supposes the true position of a line included inside a certain displacement (epsilon) from the position of the digitized line. Geometrically, it is defined by two lines parallel to the most probable position and tangential to the circular error at the extreme vertexes of each segment (Figure 1a). This supposes a normal-circular distribution of error at the extremes of the segment. From the first definition the epsilon band model has been improved to include variable width in the intermediate points of the segment (Caspary & Scheuring, 1993) (Figure 1b), nearer to a theoretical model of probability distribution (Winter, 2000) (Figure 1c). Caspary & Scheuring (1993) proposed a simplified error band with the minimum positional error shown in the midpoint of the segment (Gil de la Vega et al., 2016) (Figure 1b). In addition to these models, Shi & Liu (2000) proposed the G-band considering that infinite points compose the line. They assumed that the errors at the extreme points follow normal distributions. In addition, the errors in these points can be correlated to each other and the intermediate points of the segment are stochastically continuous to each other (Figure 1d). Other models represent uncertainty with probability distribution functions (Heuvelink et al., 2007; Wu & Liu, 2008). Gil de la Vega et al. (2016) carried out a more detailed description of these models and their adaptation to the 3D case.

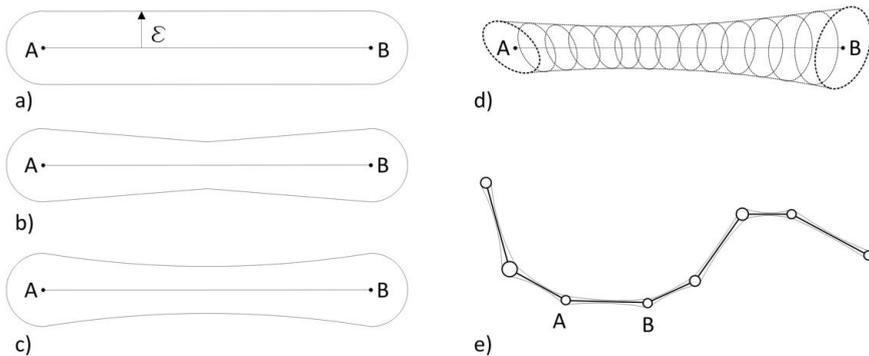


Figure 1. Uncertainty models of segments and lines: a) epsilon band; b) and c) error band; d) G-band; e) error band of a line.

In addition to these uncertainty models, several studies were undertaken to analyse positional effects caused by the simplification process based on the geometry of lines. These studies described interesting metrics for performing a positional control. McMaster (1986) described several metrics such as the

percentage change of length, the ratio of change in the number of coordinates, the difference in average number of coordinates per inch and the ratio of change in the standard deviation of the number of coordinates per inch, the percentage change of angularity and the ratio of change in the number of curvilinear segments. McMaster (1986) included two comparative metrics in order to analyse the displacement between both lines (original and simplified). These metrics can be considered basic to the development of positional control methods. The first is the vector displacement, calculated by the sum of the length of all vectors divided by the length of the original line. The second is the areal displacement, which is determined by the sum of the areas of the polygons formed between the original and the simplified lines divided by the length of the original line. Jasinski (1990) extended these metrics to include the error variance, the average segment length and the average angularity. Veregin (2000) described the uniform distance distortion based on the distortion polygons (areas) enclosed by both lines. Ramirez & Ali (2003) described other interesting metrics such as the bias factor, the distortion factor, the fuzziness factor and the generalization factor.

Another aspect to consider when assessing the positional accuracy of any spatial database based on lines is related to the sample of the elements to be used. The selection of a sample of lines must consider the characteristic of the population in order to obtain similar results using the selected sample. Ruiz-Lendínez et al. (2009) described three phases: establish a population of interest, estimate the size of the population and determine the size of the sample. In this sense, Ariza-López et al. (2011) studied the size of a sample of lines based on a simulation process using roads. In this process they used several methods to assess positional accuracy based on lines.

Traditionally, the assessment of the positional accuracy of the spatial databases has been carried out using points both in 2D and in 3D. The application of the different metrics to heights supposed in the majority of cases a simple addition of the Z coordinate to the metrics applied to the horizontal component. However, the study of the vertical accuracy (heights) was usually carried out independently with respect to the horizontal accuracy (USBB, 1947; ASCE, 1983; ASPRS, 1990; FGDC, 1998). Among others, this was caused by the different spatial behaviour and representation of heights (e.g. contour lines, Digital Elevation Models, etc.). In the case of linear elements, the first metrics were developed to assess the positional accuracy of lines obtained from digitizing or generalization. So initially, the control of the vertical accuracy was not implemented. However, with the development of 3D spatial databases and the availability of control lines obtained directly from GNSS kinematic surveys (defined by 3D vertexes), Mozas-Calvache & Ariza-López (2015) included the vertical component in this type of assessment by adapting some metrics based on lines. In most cases the inclusion of the vertical component supposed the development of a new procedure for adapting previous metrics developed for 2D.

This study reviews the methods and applications based on lines developed during recent decades to assess the positional accuracy of a set of lines or a

complete spatial database. The use of these types of elements is widely justified considering the current development of technology and the large amount of spatial data available on the Internet.

2. Methods

The firsts studies published on the assessment of the positional accuracy of lines were developed to analyse digitized and generalized lines. After that, several methods were developed to assess the positional quality of spatial databases. Previous studies have included some classifications of these methods, such as Atkinson-Gordo & Ariza-López (2002), Santos *et al.* (2015) and Gil de la Vega *et al.* (2016). In this study, we are going to update and review them following the classification shown by Mozas-Calvache & Ariza-López (2015) and Gil de la Vega *et al.* (2016), which differentiated between methods based on line-to-line distance measures (EBM, ADM, HDM, VIM, VIM-V) (Figure 2) and methods based on buffered lines (SBOM, DBOM) (Figure 3).

All methods are based on a set of lines to be assessed (XL) and the homologous set of lines obtained from a more accurate source used as reference (QL).

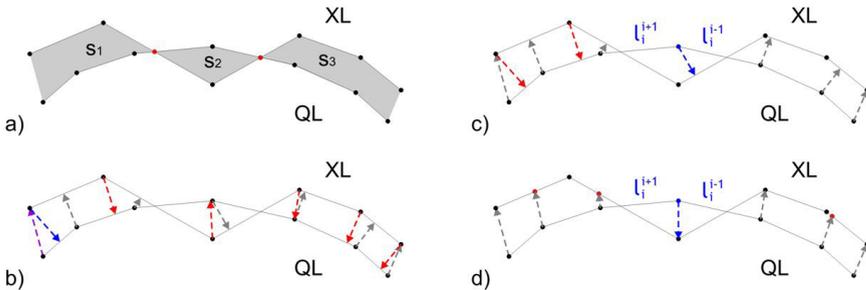


Figure 2. Methods based on line-to-line distance measures: a) EBM; b) ADM and HDM; c) VIM; d) VIM-V.

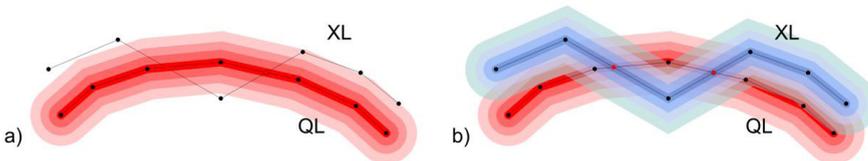


Figure 3. Methods based on buffered lines: a) SBOM; b) DBOM.

2.1. Methods based on line-to-line distance measures

2.1.1. Epsilon Band Method (EBM)

The Epsilon Band Method was based directly on the metrics developed by McMaster (1986). It consists of the determination of the enclosed area between both lines XL and QL ($S=S_1+S_2+S_3$ in Figure 2a) and division by the length of the line to be controlled (XL). The calculation of the enclosed area is based on the sum of all sub-areas determined by two consecutive crosses between both lines. This metric initially was applied to the study of generalized lines but Skidmore & Turner (1992) adapted it to control the displacement between two lines. Several authors have also used this method to obtain a mean displacement between both lines, such as Veregin (2000) and Mozas & Ariza (2010). In addition, Mozas-Calvache & Ariza-López (2015) expanded the use of this method from 2D to 3D. In this case, the calculation of the area was based on a 3D triangulation between both lines (XL and QL).

2.1.2. Average Distance Method (ADM)

This method was described by McMaster (1986) to study the positional quality of the generalization process and was applied by Mozas-Calvache & Ariza-López (2010) to control the positional accuracy of a set of roads. It is based on the calculation of the Euclidean distance between the vertexes of the XL line to the nearest point of the QL line and vice versa (see red and grey arrows in Figure 2b). The mean displacement between both lines is obtained considering the average distance determined. So the Euclidean distance is calculated from each vertex of a line to the nearest point of the other line. This nearest point on the other line can be defined by a vertex or by an intermediate point of a segment. In this case, the distance is perpendicular to the segment in that point (Figure 2b). Mozas-Calvache & Ariza-López (2015) expanded this method to 3D, including height values in all calculations.

Lawford (2010) developed an adaptation of this method. In this case, the line is divided by a defined interval of length. The points determined by these intervals are used to obtain the values of the distances (offsets) with respect to the other line. Therefore they used a set of points distributed along the XL line, with a certain separation between them to obtain the distances to the other line (QL line). This method allows us to obtain a probability distribution of displacements. The result included the value of the 90th absolute percentile of offset distances.

2.1.3. Hausdorff Distance Method (HDM)

The Hausdorff distance gives a measure of proximity between two lines (XL and QL). Hangouët (1995) described some properties of this metric such as asymmetry, orthogonality, sensitivity, tricks and tangency. Abbas *et al.* (1995) used this metric to assess linear elements. The Hausdorff distance indicates the maximal distance between any vertex of one line to the other and vice versa.

The value of the Hausdorff distance is the greatest of both maximum values of distances. As in the case of previous methods, Mozas-Calvache & Ariza-López (2015) expanded the use of this metric to 3D lines. This method has been applied in matching procedures of linear elements Xavier *et al.* (2016).

2.1.4. Vertex Influence Method (VIM)

Mozas & Ariza (2011) developed the vertex influence method. It consist of the determination of a mean value of displacement between both lines. First, the Euclidean distances between the vertexes of the QL line with respect to the XL line are calculated. Each distance is weighted by the length of the two segments adjacent to the implicated vertex (Figure 2c). So the final value of displacement is obtained from a weighted mean: summing up all values obtained in each vertex and dividing this sum by the double of the length of the QL line. Using this method the displacements (distances) from vertexes with longer adjacent segments are emphasized with respect to those that have less length.

An interesting metric added by Mozas & Ariza (2011) was the study of the components of the displacement vectors that define the distances. So they analysed each component (X and Y) of the displacement vectors independently. The goal was to detect positive and negative increments in these components and consequently to detect the presence of biases in the displacement between both lines. Similar to the case of the distances, the components values were also weighted by the length of the segments adjacent to the implicated vertex.

Mozas-Calvache & Ariza-López (2015) expanded both metrics to the 3D case. The result of this adaptation allows the determination of a mean 3D displacement between both lines.

2.1.5. Vertex Influence Method by Vertexes (VIM-V)

This method was derived from the previous one. In this case, Mozas-Calvache & Ariza-López (2018) suggested the application of the VIM method to calculating the distances and components between the vertexes of the QL line and their homologous vertexes of the XL line. The main goal was the determination of biases because lines can hide these type of displacements when the direction is coincident to the direction of the line. The method includes a previous procedure for determining homologous points in the XL line to those vertexes of the QL line. It consists of the adaptation of the turning function (Arkin *et al.*, 1991) to identifying homologous vertexes using three parameters based on distance and angles. After that, an interpolation in the XL is carried out to obtain points in this line that match those vertexes of QL which are not homologous. Finally, the VIM method is adapted using the calculations between homologous vertexes (from QL to XL) instead of between the vertexes of QL to the XL line (Figure 2d).

2.2. Methods based on buffered lines

2.2.1. Single Buffer Overlay Method (SBOM)

Goodchild & Hunter (1997) described the Single Buffer Overlay Method. The idea is to apply the concept of the uncertainty band directly to the assessment of positional accuracy. It consists of the generation of a buffer with a defined width around the QL line and the calculation of the percentage of the length of the XL displayed inside this buffer. A probability distribution is obtained with the percentage of inclusion obtained after increasing the buffer's width. Considering this method, Mozas-Calvache & Ariza-López (2010) added a secondary measure based on the percentage of vertexes included inside the buffers after the increase of the width. Analogically to the case of the length, they obtained a probability distribution of inclusion of vertexes depending on the width. This method has been widely applied to controlling spatial databases, to assessing VGI data, in matching procedures, etc.

2.2.2. Double Buffer Overlay Method (DBOM)

Tveite & Langaas (1999) described the Double Buffer Overlay Method. It consists of the generation of a buffer (with a defined width) around each line (XL and QL) and the analysis of the possible situations derived from their spatial behaviours and intersections. After that, the buffers' width is increased in a similar way to the previous method in order to obtain a distribution of results. So they examined 4 types of areas generated by the buffers: outside both buffers, inside the QL buffer and outside the XL buffer, inside the XL buffer and outside the QL buffer and inside both buffers. Using these measures, they proposed several metrics for each buffer width (e. g. average displacement, oscillation, etc.). Finally, a distribution function is obtained for these measures based on the buffers' width.

3. Applications and results

During the last decades some studies have used positional control methods based on lines to assess sets of linear elements or spatial databases. In this study we summarize the main applications carried out and their results. To be coherent with the evolution of the methods, in this summary the applications are described ordered by their date of appearance.

- Abbas *et al.* (1995) applied the HDM to a set of routes (266 elements) and railways (101 elements) selected from a zone of about 6 by 8 km. The length of these elements was between 100 m and 1000 m. The XL set of lines was obtained from the IGN-DBcarto (France) at scale 1:30 000 and the QL set of lines was obtained from the IGN-BDTopo at scale 1:17 000. The results show a RMSE value of about 10,67 m.
- Goodchild & Hunter (1997) tested the SBOM method using a set of 179 km of coastline from the Digital Chart of the World at 1:1 000 000 (XL lines). As reference (QL lines) they used a set of lines digitized from local topographic

maps at 1:25 000. The results show a distribution function that related buffer width to the percentage of inclusion. For example, they obtained that a 95% inclusion rate was obtained using a buffer width of about 400 m.

- Kagawa *et al.* (1999) used the SBOM and the HDM with a set of roads (706,8 m) obtained from aerial surveys at scale 1: 2500 (XL lines) and a set of lines digitized from another source at scale 1:500 (QL lines). The results of SBOM show about 1,99 m with 95% of inclusion. In addition, the results of HDM show a value of 4,3 m.
- Tveite & Langaas (1999) tested the DBOM method using four datasets of roads, coastline data and railways from the Digital Chart of the World at scale 1:1 000 000 (XL lines) and as reference, the Norwegian N250 at scale 1:250 000 (QL lines). They obtained several distribution functions for each case and each measure described in DBOM (accuracy, average displacement, oscillation and completeness). For example, the accuracy of road data was about 1600 m (buffer's width at 70%).
- Johnston *et al.* (2000) applied the SBOM method to assessing the Fort Hood ITAM database. More specifically, they assessed roads and hydrology (XL lines) using lines extracted from imagery as reference source (QL). As an example, the results showed values of 94,70% of inclusion inside the buffer of 100 m in case of the roads.
- Tsoulos & Skopeliti (2000) used the HDM method to assess the digitization performed by eighteen operators using a coastline derived from a 1:1 000 000 scale map. They segmented the coastline into five segments. The results show values of maximum distance from 18,53 m to 37,73 m in these cases.
- Van Niel & McVicar (2002) applied the DBOM to assessing the positional accuracy of roads of the Digital Topographic Data Base of Australia at scale 1:50 000 (XL lines). The reference dataset (QL lines) was composed of a set of lines obtained from the centreline of over 466 km of road obtained using DGPS. The results showed that 95% of the roads were within 50 m.
- Kounadi (2009) assessed the positional quality of the OSM road network (XL lines) using as reference the Hellenic Military Geographical Service (HMGS) dataset (QL lines). The zone located in the Athens area was divided into 25 tiles of about 1 km². The selected method was SBOM using a buffer sizes of 7,5 m, 5 m and 4 m depending on the type of road. As an example, in the Athens tile, composed of more than 209 km of roads, the average overlap was about 89,54%.
- Haklay (2010) used the SBOM method to evaluate the positional accuracy of OSM roads in England (XL lines). He used the Ordnance Survey Meridian dataset that provides coverage of Great Britain at scales 1:1 250, 1:2 500 and 1:10 000 (QL lines). The results using 1 m of buffer width showed values of inclusion from 59,81% to 88,80% with an average value of nearly 80%.
- Lawford (2010) applied an adaptation of the ADM using intervals of 100 m to determine the distances between both lines. He assessed several datasets

from Geoscience Australia (at scales 1:250 000, 1:1 000 000, 1:2 500 000, 1:5 000 000, and 1:10 000 000) (XL lines) using as reference a dataset from the Victorian Department of Sustainability and Environment at scale 1:25 000 (QL lines). The results showed the 90th percentile absolute of the offset distances. For example, a value of 142,41 m was obtained for roads of the 1:250 000 dataset.

- Mozas-Calvache & Ariza-López (2010) described the results of applying several methods (EBM, ADM, HDM, SBOM and DBOM) to two datasets (Mapa Topográfico de Andalucía-MTA at scale 1: 10 000 and Mapa Topográfico Nacional-MTN at scale 1:25 000) (XL lines). The selected sample of lines was composed of more than 3300 km of roads. The reference dataset was obtained using a GNSS kinematic survey (QL lines). The results showed mean displacement of about 4,2 and 4,4 for MTA and 3,1 and 3,4 m for MTN using EBM and ADM respectively. The HDM showed maximum values of 11 m in both databases. In addition, the application of the SBOM showed that 95% inclusion was reached using 10 m in both cases. The results of DBOM showed average displacements of about 6,5 m and 4,7 m for MTA and MTN respectively.
- Zhang *et al.* (2010) used the SBOM to assess a set of GNSS traces of roads obtained from OSM. These roads were represented by the centreline (XL lines), determined using a method for integrating traces developed by these authors. As reference, they used the roads obtained from the TeleAtlas dataset. The results showed a percentage of inclusion of about 74% at 7 m of buffer width.
- Girres, J. F., & Touya, G. (2010) used the EBM and HDM to assess the positional accuracy of 93 km of roads obtained from OSM in France (XL lines). As reference dataset they used the homologous linear objects obtained from IGN-BDTopo. The results showed mean values of 2,19m (EDM) and 13,57 m (HDM).
- Mozas-Calvache & Ariza-López (2011) tested the VIM using a sample of more than 180 km of roads from a database at scale 1: 100 000 (DEA100) (XL lines). As reference they used another database at scale: 1:10 000 (MTA) (QL). The results of applying VIM showed an average displacement of about 5,2 m. The analysis of components X and Y show distribution with mean values of about -1 m in X and 0,07 m in Y. The authors also applied EBM, ADM, HDM, SBOM and DBOM, obtaining interesting results. In addition, they also applied some of these methods to a set of synthetic lines affected by simulated displacements in order to compare the results of the average displacement obtained.
- Ariza-López *et al.* (2011) applied EBM, HDM, SBOM and DBOM in a simulation process using sample sizes of road axes from 10 km to 200 km. The goal was to determinate the influence of sample size on these methods. They used a set of 1210 km of lines of the MTA at scale 1:10 000 (XL lines) which was controlled by a dataset obtained using a GNSS kinematic survey (QL lines).

The results demonstrated the viability of the simulation process developed in the study and suggested sample sizes depending on the method applied.

- Ariza-López & Mozas-Calvache (2012) applied the EBM, HDM, SBOM and DBOM to a set of twelve synthetic lines affected by certain simulated perturbations (bias, random errors and outliers). The results allowed them to determine the efficiency of each method in detecting the perturbations applied to the lines.
- Mozas-Calvache *et al.* (2012) applied EBM, HDM and SBOM to 4 km of a road extracted from a Quickbird scene (XL lines). The reference set of lines was obtained from a more accurate GNSS kinematic survey (QL lines). The results showed values of 2,7 of maximum displacement, 0,92 m of mean displacement and buffer widths of 0,8 m, 1,8 m and 2,2 m, considering 50%, 90% and 95% of inclusion respectively.
- Mozas-Calvache *et al.* (2013a) used an adaptation of the SBOM method to control four sets of contour lines at different intervals derived from a DEM at 10 m (XL lines). In addition, another dataset of contour lines was also used (obtained from the MTN at 1:25 000) (XL lines). As reference, they used a set of control points obtained from the DEM. The adaptation of the SBOM proposed by these authors supposed the generation of a 3D buffer around the maximum slope line between two consecutive contour lines and the determination of the percentage of inclusion of the control points inside this buffer. As occurred with the SBOM, the width of the buffer was increased to obtain a distribution of inclusions of the points. The results showed best behaviour in contour lines datasets with lower interval and higher slopes. In the case of the MTN, 90% of inclusion was reached using 35 m, which was coherent to that obtained using NSSDA standard based on points (39 m of RMSE at 95%).
- Ruiz-Lendínez *et al.* (2013) applied the SBOM and the DBOM to assessing the positional accuracy of the perimeter of urban polygons of the BCN dataset at scale 1:25 000 (XL lines) using as reference those matched polygons from the MTA at scale 1:10 000 (QL lines). The results showed uncertainties (95%) from 9,2 to 16,1 m using SBOM and average displacements from 4,6 to 6,3 m depending on the zone.
- Mozas-Calvache *et al.* (2013b) applied the VIM to quantifying planimetric changes of river channels between two dates. The line datasets were obtained from two orthoimages. Both banks of the river were digitized and an axis for each date was obtained segmented into several lines. Finally, both axes were compared using VIM and the results showed values lower than 50 m in the majority of cases.
- Arsanjani *et al.* (2013) applied the SBOM to assessing the positional accuracy of more than 2624 km of road networks obtained from OSM (XL lines). Lines obtained from the Federal Agency for Cartography and Geodesy (BKG) of Germany composed the reference dataset (QL lines). To apply this method they used buffer widths of 3, 5, 10 and 15 m.

- Mozas-Calvache & Ariza-López (2014) used the VIM to determine the systematic displacement of a sample of roads obtained from a database at scale 1: 10 000 (MTA). The sample of lines, composed of more than 180 km, was affected by simulated disturbances (translations, rotations, scaling, etc.) (XL lines). The reference was composed of the original dataset of lines (QL). Definitely, the authors determined 17 cases to be controlled using VIM. They obtained the results of the displacement vectors using VIM and based on these results they determined the presence of bias (using Student's t-test) in the cases related to translations and rotations.
- Eshghi & Alesheikh (2015) used the SBOM to assess the positional accuracy of VGI lines of roads in Tehran (Iran). The reference dataset was obtained from organizations. The results showed the length of the features included in several buffer widths (2 m, 5 m, 8 m, 10 m, and 15 m) divided into six categories.
- Mozas-Calvache & Ariza-López (2015) tested their adaptation of the 2D positional control method based on lines to 3D using EBM, ADM, HDM and VIM. Their study used a section of a road of about 16,5 km. They used the lines of the MTA at scale 1: 10 000 and the MTN at scale 1:25 000 as datasets to be controlled (XL lines) and the lines obtained by performing a kinematic GNSS survey as reference (QL lines). The results of the 3D cases showed maximum values of about 9,7 m and 17,9 m (MTA and MTN respectively) and mean displacements of about 4,5 m and 6,8 m (MTA and MTN respectively).
- Santos *et al.* (2015) applied the EBM, HDM, VIM and SBOM and DBOM methods to a set of lines of roads of about 46,2 km which were digitized from a orthoimage Ikonos (XL lines). The reference dataset was based on a kinematic GNSS survey. The results showed positional discrepancies of 2,29 m, 2,4 m, 2, 29 m and 3,6 m (from EBM, HDM, VIM and DBOM respectively).
- Sehra *et al.* (2015) used the SBOM to evaluate the positional accuracy of about 40 km of roads of OSM using GNSS data as reference (XL lines). The results showed percentages of inclusion of about 70% using buffer width of 50 m.
- Demetriou (2016) also used SBOM to assess OSM roads (XL lines). As reference, the author used lines obtained from digitizing aerial photographs. The results showed a percentage of inclusion of about 70% using 6 m of buffer width.
- Mozas-Calvache & Ariza-López (2017) used the VIM to check the axis obtained after an iterative process called the Condensation Method (CM) based on the use of several GNSS tracks. They applied this method to a dataset composed of 28 GNSS tracks of a section of 17 km of a road (surveyed in both directions) (XL lines). As reference dataset they used the lines obtained from a more accurate GNSS survey (QL lines). The results show lower values of 3D displacement of the axis obtained using CM compared to that estimated using the K-means method.
- Mozas-Calvache *et al.* (2017a) applied the HDM and the VIM to determining 3D positional displacements of drainage networks extracted from DEMs

using the D8 algorithm. The lines to be controlled were extracted from two DEMs from 1977 and 2010 (resolution of 10 m) (XL lines). The reference lines were extracted from a more accurate DEM (resolution of 5 m). The dataset was composed of more than 300 km of lines. The results showed maximum values of about 10,5 m and mean displacement of about 2,5 m. The differences between 2D and 3D were not important (0,1 m). In addition, the authors also studied the possible influence of parameters such as slope, stream order and drainage networks on the results.

- Mozas-Calvache & Pérez-García (2017) used the HDM and the VIM methods to assess more than 11,3 km of lines digitized from orthoimages obtained using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) and the same sample of lines acquired with a GNSS kinematic survey. Using these datasets the authors established a comparison where one is used as lines to be controlled (XL lines) and the other as reference (QL lines), and vice versa. In addition, the GNSS dataset was used as both lines and splines (defined by several parameters). The results showed maximum values of about 0,15 m and 0,8 m (2D and 3D respectively) and mean displacements of about 0,04 m and 0,14 m (2D and 3D respectively). The use of splines instead of straight segments shows an improvement in the values of displacement.
- Wernette *et al.* (2017) applied the DBOM to analysing changes on a shoreline between two dates. The buffer width of each dataset was based on the previously-determined shoreline accuracy (RMSE). They determined a proportion of similarity calculated by dividing the intersected areas from the merged areas. This value suggested the uncertainty of the measured change detected and was compared to a user-defined significance threshold.
- Mozas-Calvache *et al.* (2017b) applied the HDM and an adaptation of the VIM to estimating the displacements caused in several segments of roads by an active landslide between two different dates. The lines of three zones were obtained by digitizing two orthoimages from UAV photogrammetric surveys. So the first one was used as XL and the second as QL. The adaptation of VIM consisted of the calculation of the distances and displacement vectors between the vertexes of QL with respect to homologous vertexes of XL. The determination of the homologous vertexes of both dates was carried out during the digitizing stage. Both methods (HDM and VIM) were applied in 3D. The results show several maximum and average displacements by zones of up to 3,44 m. The determination of displacement vectors allowed them to obtain the main direction of the displacement of the terrain surface of the landslide.
- Mozas-Calvache & Ariza-López (2018) tested the adaptation of the VIM method, described previously as VIM-V, based on the determination of homologous vertexes on both databases. They applied this method to five datasets of lines of about 190 km. The five cases had different morphologies, from very smooth to very sinuous (QL lines). As lines to be controlled, they used these five cases but modified them by applying systematic perturbations (translations, rotations and scaling), random perturbations and combinations

of these types. The results showed that the VIM-V presented a high level of reliability in detecting the perturbations.

- Kweon *et al.* (2019) applied the SBOM to assessing the positional accuracy of three different road-mapping techniques (CAD file conversion, image warping and GNSS mapping). The XL lines were composed of five routes of about 6 km. The reference lines were obtained using a total station. The results showed an inclusion of 95% using 1,5 m (GNSS), 18 m (image warping) and 24 m (CAD file conversion).
- Mozas-Calvache & Ariza-López (2019) analysed the positional accuracy of axes obtained from VGI GNSS multi-tracks. The methodology included the calculation of a mean axis (XL lines) and its positional comparison using a reference dataset of lines obtained from a more accurate GNSS kinematic survey (QL lines). The selection of the definitive axis was based on this positional control. The application was carried out using a set of 69 tracks (going and returning) of a road of about 12,1 km. The method used was VIM, and the results showed 1,28 m and 3,71 m (2D and 3D respectively) using the total population of tracks. In addition, the authors analysed the results obtained when they selected several samples of tracks in order to determine the minimum number of tracks needed to describe a similar positional behaviour to the total population. They also studied the influence of other parameters such as the length and number of sections, slopes, etc.

4. Discussion

This study has summarized the main methods and applications carried out to assess the positional accuracy of spatial databases based on lines. As has been previously described, there is a large variety of methods, and as consequence, a great number of applications of them. This variety is mainly based on the large amount of features of reality represented with this type of element, their spatial behaviour, the evolution of the uncertainty models and the demand of certain results depending on the application. Therefore, there is a large set of methods for providing a mean value of displacement between both linear datasets based on the calculation of distances (EBM, ADM and VIM) and buffers (DBOM). The selection of the method to be used will depend on the data and the application itself. The use of VIM will provide more extended results because of the possibility of analysing displacement vectors. In fact, it can be used to detect some types of systematic displacements based on the study of the components of these vectors. If a maximum value of displacement is demanded, the use of HDM is the most recommendable option. An alternative is the use of SBOM considering a high percentage of inclusion. However, the HDM is easily applicable when the calculation of distances is carried out using other methods, such as the ADM or the VIM. The use of methods based on buffered lines is recommended when a percentage of inclusion of a certain uncertainty is demanded. This is one of the reasons why these methods are widely used to study the quality of OSM lines. In addition, other adaptations of these methods can be implemented in some

particular cases, such as the VIM-V to determine systematic displacements or to obtain the displacement of well-defined vertexes of lines considering the spatial behaviour of these elements (e.g. the study of a landslide between two dates). This supposes an important improvement with respect to methods based on points, because the behaviour of the line is considered.

5. Conclusions

The summary of the methods and applications described in this article has shown the current state of the art related to the assessment of positional accuracy based on lines. About seven methods, some of them with specific adaptations, and about 35 applications have been summarized to show readers this alternative type of assessment of positional accuracy, which is unknown by general users of GI. From the assessment of a complete spatial database to the simple detection of displacements and the control of the matching of elements these applications have contributed to the evolution and development of the methods described previously. The selection of the method to be used is in some cases complicated because each one has a diverse grade of difficulty in being implemented and shows different results and interpretations. Therefore, the selection of the method or methods to be applied will depend on several factors, but we can highlight the type of result to be obtained (mean displacement, maximum displacement, vector displacement, percentage of inclusion, uncertainty at a certain probability, displacement of homologous vertexes, etc.) to establish the most convenient method.

The future of this type of assessment is interesting, considering the current volume of acquisition, sharing and use of GI based on lines. Therefore, the development of new methods or adaptations of those previously described is expected and the extension of the applications to different purposes and fields.

References

- Abbas, I., Grussenmeyer, P., & Hottier, P. (1995). Contrôle de la planimétrie d'une base de données vectorielle: une nouvelle méthode basée sur la distance de Hausdorff: la méthode du contrôle linéaire. *Bulletin SFPT*, 1(137), 6-11.
- American Society of Civil Engineers (ASCE) (1983). *Map uses, scales and accuracies for engineering and associated purposes*. Committee on Cartographic Surveying. New York, USA. Surveying and Mapping Division ASCE.
- American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS) (1990). ASPRS Accuracy Standards for large-scale maps. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 56(7), 1068-1070.
- Antoniou, V., & Skopeliti, A. (2015). Measures and indicators of VGI quality: An overview. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, II-3/W5, 2015 (pp. 345-351).
- Ariza-López, F. J., Mozas-Calvache, A. T., Ureña-Cámara, M. A., Alba-Fernández, V., García-Balboa, J. L., Rodríguez-Avi, J., & Ruiz-Lendínez, J. J. (2011). Influence of sample

- size on line-based positional assessment methods for road data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 66(5), 708-719.
<https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2011.06.003>
- Ariza-López, F. J., & Mozas-Calvache, A. T. (2012). Comparison of four line-based positional assessment methods by means of synthetic data. *Geoinformatica*, 16(2), 221-243. <https://doi.org/10.1007/s10707-011-0130-y>
- Arkin, E. M., Chew, L. P., Huttenlocher, D. P., Kedem, K., & Mitchell, J. S. (1991). An efficiently computable metric for comparing polygonal shapes, in *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 13(3), 209-216.
<https://doi.org/10.1109/34.75509>
- Arsanjani, J. J., Barron, C., Bakillah, M., & Helbich, M. (2013). Assessing the quality of OpenStreetMap contributors together with their contributions. In *Proceedings of the AGILE* (pp.14-17).
- Atkinson-Gordo, A. D. J., & Ariza-López, F. J. (2002). Nuevo enfoque para el análisis de la calidad posicional en cartografía mediante estudios basados en la geometría lineal. In *XIV Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica (Santander)* (pp.1-10).
- Blakemore, M. (1984). Generalisation and error in spatial data bases. *Cartographica*, 21, 131-139.
- Caspary, W., & Scheuring, R. (1993). Positional accuracy in spatial databases. *Computer, Environment and Urban Systems*, 17, 103-110.
- Chrisman, N. R. (1982). A theory of cartographic error and its measurement in digital bases. In *AutoCarto*, 5, 159-168.
- Cuenin, R. (1972). *Cartographie Générale. Tome I. Notions Générales et principes d'élaborations*. Paris, France. Ed. Eyrolles.
- Demetriou, D. (2016). Uncertainty of OpenStreetMap data for the road network in Cyprus. In *Fourth International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment (RSCy2016)* Vol. 9688, 968806.
- Eshghi, M., & Alesheikh, A. A. (2015). Assessment of completeness and positional accuracy of linear features in Volunteered Geographic Information (VGI). *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 40(1), 169.
<https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-1-W5-169-2015>
- Federal Geographic Data Committee FGDC (1998). *Geospatial Positioning Accuracy Standards. Part 3: National Standard for Spatial Data Accuracy (FGDC-STD-007.3-1998)*. Washington D.C., USA. FGDC.
- Gil de la Vega, P., Ariza-López, F. J., & Mozas-Calvache, A. T. (2016). Models for positional accuracy assessment of linear features: 2D and 3D cases. *Survey Review*, 48(350), 347-360. <https://doi.org/10.1080/00396265.2015.1113027>
- Girres, J. F., & Touya, G. (2010). Quality assessment of the French OpenStreetMap dataset. *Transactions in GIS*, 14(4), 435-459.
<https://doi.org/10.1111/j.1467-9671.2010.01203.x>
- Goodchild, M. F. (1987). A model of error for choropleth maps, with applications to geographic information systems. In *AutoCarto* 8, 165-74.
- Goodchild, M., & Hunter, G. (1997). A simple positional accuracy for linear features. *International Journal Geographical Information Science*, 11(3), 299-306.
<https://doi.org/10.1080/136588197242419>

- Goodchild, M. F. (2007). Citizens as sensors: The world of volunteered geography. *GeoJournal*, 69, 211-221. <https://doi.org/10.1007/s10708-007-9111-y>
- Haklay, M. (2010). How good is volunteered geographical information? A comparative study of OpenStreetMap and Ordnance Survey datasets. *Environment and planning B: Planning and design*, 37(4), 682-703. <https://doi.org/10.1068/b35097>
- Hangouët, J. F. (1995). Computation of the Hausdorff Distance between plane vector polylines. *Auto Carto*, 12, 1-10.
- Heuvelink, G; B. M. Brown, J. D., & Van Loon, E. E. (2007). A probabilistic framework for representing and simulating uncertain environmental variables. *International Journal of Geographical Information Science*, 21(5), 497-513. <https://doi.org/10.1080/13658810601063951>
- Hunter, G. J., & Goodchild, M. F. (1995). Dealing with error in Spatial Databases: a simple case of study. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 61(5), 529-37.
- International Standard Organization ISO (2013). *ISO 19157: 2013 Geographic Information-Data quality*. Geneva, Switzerland. ISO.
- Jasinski, M. J. (1990). *The comparison of complexity measures for cartographic lines. Technical Report 90-1*. Buffalo, New York, USA. National Center for Geographic Information and Analysis.
- Johnston, D.; Timlin, D.; Szafoni, D.; Casanova, J.; Dilks, K. (2000). *Quality Assurance/Quality Control Procedures for ITAM GIS Databases*. Champaign, IL, USA, US Army Corps of Engineers; Engineer Research and Development Center.
- Kagawa, Y., Sekimoto, Y., & Shibaski, R. (1999). Comparative Study of Positional Accuracy Evaluation of Line Data. In *Proceedings of the ACRS. Hong Kong (China)* (pp. 22-25).
- Kweon, H., Kim, M., Lee, J. W., Seo, J. I., & Rhee, H. (2019). Comparison of horizontal accuracy, shape similarity and cost of three different road mapping techniques. *Forests*, 10(5), 452. <https://doi.org/10.3390/f10050452>
- Kounadi, O. (2009). Assessing the quality of OpenStreetMap data. *Msc geographical information science, University College of London Department of Civil, Environmental And Geomatic Engineering*. London, England,
- Kronenfeld, B. J. (2011). Beyond the epsilon band: polygonal modeling of gradation/uncertainty in area-class maps. *International Journal of Geographical Information Science*, 25(11), 1749-71. <https://doi.org/10.1080/13658816.2010.518317>
- Lawford, G. J. (2010). Examination of the positional accuracy of linear features. *Journal of Spatial Science*, 55(2), 219-235. <https://doi.org/10.1080/14498596.2010.521973>
- Leung, Y., & Yan, J. (1998). A locational error model for spatial features. *International Journal of Geographical Information Science*, 12(6), 607-620. <https://doi.org/10.1080/136588198241699>
- McMaster, R. B. (1986). A statistical analysis of mathematical measures for linear simplification. *The American Cartographer*, 13(2), 103-116. <https://doi.org/10.1559/152304086783900059>
- Mozas, A. T., & Ariza, F. J. (2010). Methodology for positional quality control in cartography using linear features. *The Cartographic Journal*, 47(4), 371-378. <https://doi.org/10.1179/000870410X12825500202931>

- Mozas, A. T., & Ariza, F. J. (2011). New method for positional quality control in cartography based on lines. A comparative study of methodologies. *International Journal of Geographical Information Science*, 25(10), 1681-1695. <https://doi.org/10.1080/13658816.2010.545063>
- Mozas, A., Ureña, M., & Ruiz, J. J. (2012). Positional accuracy control of extracted roads from VHR images using GPS kinematic survey: a proposal of methodology. *International Journal of Remote Sensing*, 33(2), 435-449. <https://doi.org/10.1080/01431161.2010.532828>
- Mozas-Calvache, A. T., Ureña-Cámara, M. A., & Pérez-García, J. L. (2013a). Accuracy of contour lines using 3D bands. *International Journal of Geographical Information Science*, 27(12), 2362-2374. <https://doi.org/10.1080/13658816.2013.801484>
- Mozas, A., Ureña, M. A., & Ariza, F. J. (2013b). Methodology for analyzing multi-temporal planimetric changes of river channels. In *Proceedings of the 26th International Cartographic Conference of Dresde (Germany)* (pp. 25-30).
- Mozas-Calvache, A. T., & Ariza-López, F. J. (2014). Detection of systematic displacements in spatial databases using linear elements. *Cartography and Geographic Information Science*, 41(4), 309-322. <https://doi.org/10.1080/15230406.2014.912153>
- Mozas-Calvache, A. T., & Ariza-López, F. J. (2015). Adapting 2D positional control methodologies based on linear elements to 3D. *Survey Review*, 47(342), 195-201. <https://doi.org/10.1179/1752270614Y.0000000107>
- Mozas-Calvache, A. T., & Pérez-García, J. L. (2017). Analysis and comparison of lines obtained from GNSS and UAV for large-scale maps. *Journal of Surveying Engineering*, 143(3), 04016028. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)SU.1943-5428.0000215](https://doi.org/10.1061/(ASCE)SU.1943-5428.0000215)
- Mozas-Calvache, A. T., & Ariza-López, F. J. (2017). An iterative method for obtaining a mean 3D axis from a set of GNSS traces for use in positional controls. *Survey Review*, 49(355), 277-284. <https://doi.org/10.1080/00396265.2016.1171956>
- Mozas-Calvache, A. T., Ureña-Cámara, M. A., & Ariza-López, F. J. (2017a). Determination of 3D displacements of drainage networks extracted from digital elevation models (DEMs) using linear-based methods. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 6(8), 234. <https://doi.org/10.3390/ijgi6080234>
- Mozas-Calvache, A. T., Pérez-García, J. L., & Fernández-del Castillo, T. (2017b). Monitoring of landslide displacements using UAS and control methods based on lines. *Landslides*, 14(6), 2115-2128. <https://doi.org/10.1007/s10346-017-0842-7>
- Mozas-Calvache, A. T., & Ariza-López, F. J. (2018). Assessment of Displacements of Linestrings Based on Homologous Vertices. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 7(12), 473. <https://doi.org/10.3390/ijgi7120473>
- Mozas-Calvache, A. T., & Ariza-López, F. J. (2019). Analysing the positional accuracy of GNSS multi-tracks obtained from VGI sources to generate improved 3D mean axes. *International Journal of Geographical Information Science*, 33(11), 2170-2187. <https://doi.org/10.1080/13658816.2019.1645335>
- Perkal, J. (1956). On epsilon length. *Bulletin de l'Académie Polonaise des Sciences*, 4, 399-403.
- Ramirez, R. & Ali, T. (2003). Progress in metrics development to measure positional accuracy of spatial data. In *Proceedings of the 21st International Cartographic Conference*. Durban (pp. 1763-1772).

- Ruiz-Lendínez, J. J., Mozas, A. T., & Ureña, M. A. (2009). GPS survey of road networks for the positional quality control of maps. *Survey Review*, 41(314), 374-383.
<https://doi.org/10.1179/003962609X451618>
- Ruiz-Lendínez, J. J., Ariza-López, F. J., & Ureña-Cámara, M. A. (2013). Automatic positional accuracy assessment of geospatial databases using line-based methods. *Survey review*, 45(332), 332-342.
<https://doi.org/10.1179/1752270613Y.0000000044>
- Santos, A. D. P. D., Medeiros, N. D. G., Santos, G. R. D., & Rodrigues, D. D. (2015). Controle de qualidade posicional em dados espaciais utilizando feições lineares. *Boletim de Ciências Geodésicas*, 21(2), 233-250.
<http://dx.doi.org/10.1590/S1982-21702015000200013>
- Sehra, S. S., Rai, H. S., & Singh, J. (2015). Quality assessment of crowdsourced data against custom recorded map data. *Indian Journal of Science and Technology*, 8(33), 1-6.
<https://doi.org/10.17485/ijst/2015/v8i33/79884>
- Shi, W., & Liu, W. (2000). A stochastic process based model for the positional error of line segments in GIS. *International Journal Geographical Information Science*, 14(1), 51-66. <https://doi.org/10.1080/136588100240958>
- Skidmore, A., & Turner B. (1992). Map accuracy assessment using line intersect sampling. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 58 (10), 1453-1457.
- Tsoulos, L., & Skopeliti, A. (2000). Assessment of data acquisition error for linear features. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 33(B4/3; PART 4), 1087-1091.
https://www.isprs.org/proceedings/XXXIII/congress/part4/1087_XXXIII-part4.pdf
- Tveite, H., & Langaas, S. (1999). An accuracy assessment meted for geographical line data sets based on buffering. *International Journal Geographical Information Science*, 13(1), 27-47. <https://doi.org/10.1080/136588199241445>
- US Bureau of the Budget (USBB) (1947). United States National Map Accuracy Standards. Washington DC, USA. US Bureau of the Budget.
- Van Niel, T. G., & McVicar, T. R. (2002). Experimental evaluation of positional accuracy estimates from a linear network using point-and line-based testing methods. *International Journal Geographical Information Science*. 16(5), 455-473.
<https://doi.org/10.1080/13658810210137022>
- Veregin, H. (2000). Quantifying positional error induced by line simplification. *International Journal of Geographical Information Science*, 14(2), 113-130.
<https://doi.org/10.1080/136588100240877>
- Wernette, P., Shortridge, A., Lusch, D. P., & Arbogast, A. F. (2017). Accounting for positional uncertainty in historical shoreline change analysis without ground reference information. *International Journal of Remote Sensing*, 38(13), 3906-3922.
<https://doi.org/10.1080/01431161.2017.1303218>
- Winter, S. (2000). Uncertain topological relations between imprecise regions. *International Journal of Geographical Information Science*, 14(5), 411-430.
<https://doi.org/10.1080/13658810050057579>
- Wu, H.S., & Liu, Z.L. (2008). Simulation and model validation of positional uncertainty of line feature on manual digitizing a map. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXVII-B2, 843-848.

- Xavier, E. M., Ariza-López, F. J., & Ureña-Cámara, M. A. (2016). A survey of measures and methods for matching geospatial vector datasets. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 49(2), 1-34. <https://doi.org/10.1145/2963147>
- Zhang, L., Thiemann, F., & Sester, M. (2010). Integration of GPS traces with road map. In *Proceedings of the Third International Workshop on Computational Transportation Science* (pp. 17-22).

Métodos de orlado para la evaluación de la exactitud altimétrica en modelos digitales de elevaciones del terreno

Buffer methods for assessing the altimetric accuracy in digital terrain elevation models

Francisco Javier Ariza-López¹

Juan Francisco Reinoso-Gordo²

Recibido 1 de febrero de 2021; aceptado 8 de abril de 2021

RESUMEN

Tradicionalmente, la evaluación de la exactitud altimétrica de modelos digitales de elevaciones del terreno (MDE), se ha realizado aplicando estándares (p.ej. National Standard for Spatial Data Accuracy) basados en el muestreo de puntos en el modelo de referencia (S1) y en el modelo a evaluar (S2). Estos estándares plantean dos inconvenientes: 1) los puntos utilizados en las evaluaciones son escasos comparados con la superficie total de un MDE y, por tanto, dejan gran parte del terreno sin evaluar, 2) la evaluación de un elemento superficial se realiza por comparación de elementos puntuales, cuando parece más adecuado evaluar por comparación de superficies. Ambos inconvenientes pueden ser superados si se utilizan métodos de orlado sobre superficies. En este trabajo se presentan por primera vez, en el ámbito de la evaluación altimétrica de MDE, los métodos de orlado simple (MOS) y doble (MOD) sobre superficies. El estudio se ha realizado sobre datos sintéticos que permiten plantear una situación de estudio predeterminada. Se ha demostrado que ambos métodos permiten la detección de atípicos y sesgos al evaluar S2. Además, se pueden elaborar funciones de distribución observadas, que eliminen la necesidad considerar hipótesis de normalidad sobre las discrepancias.

Palabras clave: error, exactitud, incertidumbre, orlado, modelo digital de elevaciones MDE, calidad.

¹ Universidad de Jaén, España, correo electrónico: fjariza@ujaen.es.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5204-3630>

² Universidad de Granada, España, correo electrónico: jreinoso@ugr.es.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3808-1857>

ABSTRACT

Traditionally, the altimetric accuracy assessment of digital elevation models (DEM) has been carried out using standards (e.g., National Standard for Spatial Data Accuracy) based on sampling of points in the reference model (S1) and in the model to be assessed (S2). These standards have two drawbacks: 1) the points are scarce compared to the total surface of a DEM and therefore they leave a large ground area not assessed, 2) the surface assessment is carried out comparing points, when it seems more suitable to assess by surfaces comparison. Both drawbacks can be overcome by surface buffer methods. This work presents for the first time in the altimetric assessment field the methods of single buffer (MOS) and double buffer (MOD) on surfaces. The study has been carried out on synthetic data. It has been proved that both methods allow the detection of outliers and biases when assessed S2. In addition, observed distribution functions can be elaborated, which eliminate the need to consider normality hypotheses about the discrepancies and allow applying some quality control techniques through tolerances

Key words: error, accuracy, uncertainty, buffer, digital elevation model, quality.

1. Introducción

Los Modelos Digitales de Elevaciones (MDE) del terreno son registros digitales de la superficie topográfica desnuda que pueden producirse por diversas técnicas (p.ej. LiDAR, fotogrametría aérea, teledetección, etc.). Los MDE son la base de otros modelos derivados, como los de pendientes, orientaciones, insolación, redes de drenaje, cuencas visuales y aportadoras, etc., que pueden derivarse fácilmente de ellos por medio de operaciones SIG. Por todo ello tienen aplicación en numerosas disciplinas como la agricultura, la biología, la geología, la climatología, telefonía, defensa nacional, etc., donde sirven para actividades de análisis, modelización y toma de decisiones.

Dada la importancia de los MDE su calidad posicional (altimétrica) debe ser conocida. Son numerosos los estándares y métodos para la estimación y control de la exactitud posicional (p.ej. ver la publicación 557 del IPGH). Algunos de estos estándares ofrecen alguna directriz particular para el caso de la altimetría; sin embargo, todos ellos se basan en la utilización de puntos bien definidos para realizar las evaluaciones. Este último aspecto no es adecuado al caso de MDE, especialmente cuando se registran como una teselación del espacio (grid). En Mesa-Mingorance y Ariza-López (2020) y en Polidori y El Hage (2020) se realizan amplias revisiones críticas de los métodos de evaluación de la exactitud aplicados al caso de los MDE y es de destacar que el enfoque mayoritario se basa en la utilización de puntos, con independencia del estándar o método que se aplique.

En el caso de datos geoespaciales de tipo lineal, como son las vías de comunicación, las líneas de costa o las redes hidrográficas, en los que no siempre es posible encontrar puntos bien definidos u homólogos entre dos representaciones de una misma realidad, se han propuesto métodos de

evaluación específicos basados en técnicas de orlado, como son el método del orlado simple (MOS) (Figura 1a) y el método del orlado doble (MOD) (Figura 1b), el método VIM (Mozas-Calvache y Ariza-López 2011), etc. En Ariza-López y Mozas-Calvache (2012) se puede encontrar un análisis esclarecedor basado en datos sintéticos.

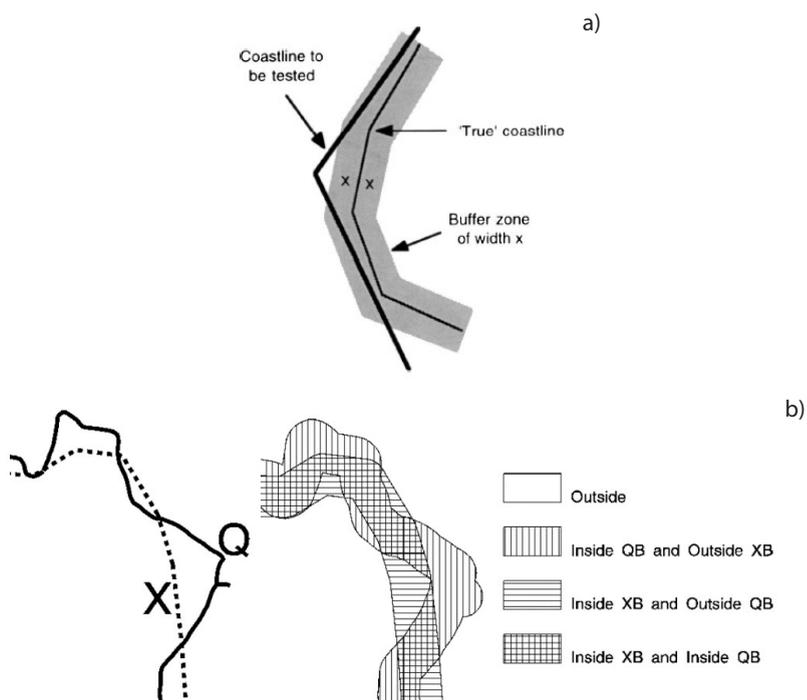


Figura 1. a) Método del orlado simple (MOS) (Fuente: Goodchild y Hunter, 1997); b) Método del orlado doble (MOD) (Fuente: Teveite, 1999).

En este trabajo se propone aplicar la idea del orlado, simple y doble, sobre superficies con vistas a comparar el comportamiento altimétrico de dos conjuntos de datos MDE. Con esta nueva perspectiva se soslaya el inconveniente de no disponer de puntos bien definidos en el caso de MDE de tipo *grid* y, además, permite ser aplicada en el contexto natural de la realidad que se analiza, que es el de una superficie. Los métodos basados en el orlado de superficies MDE podrán ser utilizados para comparar dos conjuntos de datos MDE, o un producto y una referencia que sirve para su control.

Este documento se organiza de la siguiente manera, tras esta introducción la siguiente sección (2a.) presenta los métodos de orlado y su adaptación al caso de MDE tomando como caso de uso un MDE sintético. La sección tercera desarrolla una breve discusión y, finalmente, se incluyen las principales conclusiones del trabajo.

2. Métodos de orlado adaptados a MDE

A continuación se presenta la adaptación de los dos métodos al caso que nos ocupa. Primeramente, se presentará un esbozo de la idea en la que se basa el método en su aplicación al caso original de elementos lineales, y luego se comentará cómo adaptarlo al caso de superficies MDE.

2.1. Orlado simple

Dado que el MOS fue diseñado para elementos lineales, para su explicación vamos a considerar aquí dos de ellos: Q (referencia) y X (elemento a analizar). El MOS consiste en generar orlados de semi-anchura w_i alrededor (ambos lados) de la línea Q (denotados por Q_{w_i}), e ir contabilizando el porcentaje de la línea X que se encuentra incluido en ese orlado Q_{w_i} . El parámetro w tomará valores desde aproximadamente cero hasta aquel que permita incluir la longitud total de X . El método se puede aplicar a una línea, tal y como se ha explicado, o a un conjunto de líneas Q_j y X_j , obteniendo un resultado agregado de todas ellas para cada w_i . Si se considera el porcentaje de longitud de línea que se va incluyendo para cada valor de w , $\%L=f(w)$, se dispone de una función de distribución observada que define el fenómeno de interés: porcentaje de inclusión de las líneas X frente a las anchuras del orlado de las líneas de referencia.

El método descrito en el párrafo anterior es directamente trasladable al caso de MDE. Primeramente, consideraremos dos superficies $S1$ y $S2$, tal que $S1$ actúa como referencia y $S2$ como producto. Además, deberemos suponer que la incertidumbre planimétrica es despreciable, de tal manera que el orlado se puede realizar directamente sobre la componente altimétrica. Para el caso de MDE de tipo *grid*, como el que nos ocupa, el proceso de aplicación del MOS es sencillo, basta con calcular el modelo de diferencias $DIFF = ABS(S2-S1)$, ordenar de menor a mayor los valores de discrepancias (errores) obtenidos, y contabilizar el área que se va acumulando para cada semi-ancho w_i . La curva así obtenida tiene las mismas propiedades que la que se genera en el método original para elementos lineales, de tal manera que se puede aplicar a un MDE o a un conjunto de "parches" (superficies parciales de un MDE de mayores dimensiones).

2.2. Orlado doble

Continuando con los dos elementos lineales, Q (referencia) y X (elemento a analizar), presentados anteriormente, el método del orlado doble consiste en generar orlados de semi-anchura w_i alrededor (ambos lados) de las líneas Q y X . En este caso, la propuesta de Tveite y Langaas (1999) es contabilizar varias medidas que evolucionan con w_i . Siendo X_{w_i} el área del orlado sobre X para el ancho w_i , y Q_{w_i} el área del orlado sobre Q para el mismo ancho, estas medidas se corresponden con las siguientes áreas: Área ($X_{w_i} \cap Q_{w_i}$), Área ($X_{w_i} \cap \bar{Q}_{w_i}$), Área ($\bar{X}_{w_i} \cap Q_{w_i}$), Área ($X_{w_i} \cup Q_{w_i}$) y, a partir de ellas, establecen un desplazamiento medio y la posibilidad de contabilizar el número de oscilaciones. Esta última determinación se vincula con la posibilidad de analizar la aleatoriedad de los desplazamientos laterales de X respecto a Q . El parámetro w tomará valores

desde aproximadamente cero hasta aquel que permita incluir la longitud total de X . El método se puede aplicar a una pareja X, Q de líneas, tal y como se ha explicado, o a un conjunto de líneas Q_j y X_j , obteniendo un resultado agregado de todas ellas para cada w_i . Como resultado se obtiene una curva con características de función de distribución observada.

Se ha de considerar el mismo supuesto que en la sección 2.1 para el MOS respecto a la componente de incertidumbre planimétrica. Además, el método descrito en el párrafo anterior debe ser ligeramente adaptado para su aplicación al caso de MDE de tipo *grid*. Considerando que $S1$ actúa como referencia y $S2$ como producto, se procede a establecer el orlado incremental sobre las dos superficies. Para el análisis con datos de tipo *grid* conviene introducir el concepto de voxel especificado para este contexto: volumen que tiene como sección central una celda del MDE de tipo *grid* sobre cuya cota se trabaja, y una altura w_i a cada lado (arriba y abajo) de esa celda. Al trabajar con dos superficies $S1$ y $S2$ para cada posición (celda) se consideran dos voxels y hay que prestar atención a las siguientes situaciones:

- Sin intersección de los voxels de los dos orlados. Significa que la distancia vertical entre $S1$ y $S2$ excede a $2xw_i$.
- Intersección parcial de voxels de los dos orlados. Significa que la distancia vertical entre $S1$ y $S2$ es menor que $2xw_i$. Si la distancia entre $S1$ y $S2$ es nula, existirá una coincidencia completa de los voxels. En este caso, para un w_i dado y una posición concreta en el MDE, el grado de intersección entre los voxels de $S1$ y $S2$ se puede considerar como una aproximación fuzzy o probabilística.

De esta forma y manera gestionamos en el caso de MDE la propuesta de áreas que realizaban Tevete y Langaas (1999) para trabajar con líneas pudiendo obtener curvas distribucionales relativas a la inclusión que son en todo semejantes.

3. Resultados de aplicar los métodos de orlado adaptados a MDE

Como se ha indicado anteriormente, los MOS y MOD se han aplicado al análisis de la exactitud posicional de elementos lineales, por ello, para proceder a su aplicación novedosa al caso de MDE, en este trabajo se utilizarán unos datos sintéticos tal que permitan diseñar y controlar el comportamiento que se analizará por medio de esta herramienta de análisis.

El conjunto de datos sintéticos es el que se visualiza en la Figura 2. Como se puede observar, se trata de dos superficies: $S1$ y $S2$. $S1$ es de carácter sinusoidal y se compone de una portadora de menor frecuencia sobre la que monta otro patrón sinusoidal de mayor frecuencia. $S2$ es un plano de pendiente constante. $S1$ se puede considerar como una mejor aproximación a la realidad dado que posee mayor detalle, mientras que $S2$ se puede considerar como una generalización. De esta forma, en el caso de un control de la exactitud posicional, $S1$ actuaría como referencia y $S2$ como producto. La configuración de $S1$ y $S2$ permite observar qué ocurre con las ondulaciones y el sesgo que existe entre las dos superficies.

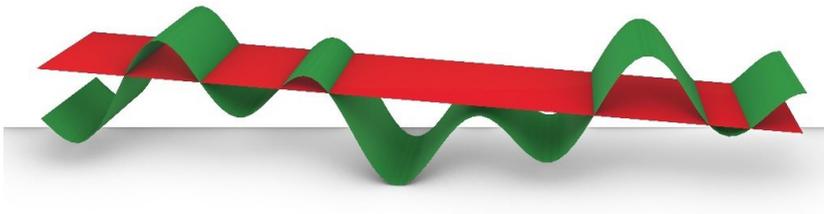


Figura 2. MDE sintéticos considerados: $S1$ (referencia) en tonos verdosos y $S2$ (producto) en tonos rojizos .

3.1. Orlado simple

Aplicando el sencillo procedimiento indicado en el apartado 2.1, se puede obtener como resultado la curva que se presenta en la Figura 3. Esta curva representa función de distribución del área de superficie del MDE respecto a la semi-anchura del orlado w_i . Una curva como esta permite:

- Reconocer la presencia/ausencia de valores atípicos. Un valor atípico en nuestro caso sería un valor excesivamente grande de discrepancia entre $S1$ y $S2$ y se correspondería con la presencia de picos o pozos. Esta presencia generaría la necesidad de un valor muy grande de w para conseguir su inclusión y un aplanamiento asintótico de la curva cercano al valor de la unidad en el eje vertical (100% de inclusión). Como se observa en la Figura 3, este no es el caso, por lo que no hay presencia de atípicos.
- Reconocer la presencia/ausencia de sesgo vertical. El sesgo vertical en este caso significa que un MDE tiene predominancia altimétrica sobre el otro. En este caso, el valor de $w(0,5)$, el w correspondiente al 50% de inclusión, se compara con $0,5xw(1)$, la mitad del correspondiente al 100% de inclusión. La posición de $w(0,5)$ respecto a $0,5xw(1)$ nos determina el sentido del sesgo, y la diferencia entre ellos, su magnitud. En nuestro caso, se evidencia sesgo ($S2 > S1$) y en el orden de 2m puesto que $0,5xw(1) = 6 m$, $w(0,5) = 4 m$, $0,5xw(1) - w(0,5) = 2 m$. Además, se evidencia por un desequilibrio del 20% de superficie: $F(0,5xw(1)) - F(w(0,5)) = 0,7 - 0,5 = 0,2$.
- Determinar la incertidumbre, bien estableciendo un percentil de interés (p.ej. 70%) y determinando la distancia correspondiente ($d_{p=70\%} = 6 m$), o bien estableciendo una distancia ($d = 8 m$) y determinando su percentil correspondiente (84%).

La disposición de la curva obtenida es totalmente equivalente a la generada por el MOS sobre líneas, y su interpretación exactamente igual, pero sustituyendo porcentaje de longitud de línea por porcentaje de superficie, como ya se ha

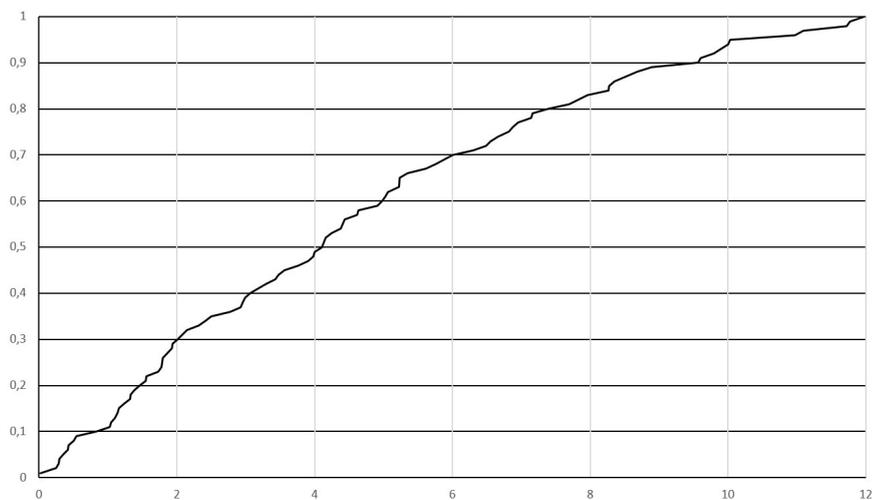


Figura 3. Resultado del método del orlado simple. % de inclusión de la superficie de S2 para cada semi-ancho de orlado (w_i)

indicado. Igualmente, se puede aplicar a un único conjunto de datos MDE, o a varios conjuntos de datos MDE de manera agregada. Por otra parte, la curva presentada en la Figura 3 es totalmente equiparable a la utilizada por Ariza-López y col. (2019) para aplicar un método de control posicional por puntos que se basa en la aplicación de varias tolerancias y un modelo multinomial para modelar los porcentajes de casos de error, por lo que este método puede ser aplicado directamente a este resultado.

3.2. Orlado doble

La aplicación directa del método indicado en la sección 2.2 permite obtener diversos resultados, algunos de los cuáles se presentan a continuación. En orden a entender la secuencia del proceso, la Figura 4 presenta una secuencia de los orlados de S1 y S2 conforme se incrementa $w = [1, 2, 3, 4] m$. En blanco aparecen las celdas para las que no hay intersección de voxels para el w_i considerado. En una gama de colores del rojo al verde aparecen las celdas en las que hay intersección parcial. Cuanto menor es el porcentaje de intersección los tonos son más rojos. Cuanto mayor es el porcentaje de intersección los tonos son más verdes. Estos resultados espaciales también se pueden expresar mediante curvas, como se realiza en la Figura 5. En esta figura el eje horizontal se corresponde con el porcentaje de intersección entre voxels y el eje vertical al porcentaje de área del MDE. En ella se observa que todas las curvas presentan un comportamiento tembloroso, el cual se debe a la configuración ondulada de

S1. Además, también se puede distinguir dos grupos de curvas; por un lado, las que parten de valores cercanos al cero del eje horizontal, que se corresponden con valores de w bajos (p.ej. $w=[1, 3, 5] m$) y que, por tanto, pueden no llegar a tener una intersección de voxels al 100% y que tampoco cubren el 100% del área del MDE, y por otro, aquellas que parten de un porcentaje de intersección medio y que sí llegan a cubrir toda la superficie del MDE, como es el caso de las curvas correspondientes a $w=[10, 15, 20] m$. El menor valor de w que envuelve a S1 y S2 generará una curva vertical a partir de un porcentaje de intersección alto. Esta gráfica permite determinar el valor de w que ofrecería un porcentaje determinado de intersección de voxels, por ejemplo, si se quiere partir de, al menos, un 50% de intersección se requiere un valor de w entre 10 y 15 m (en este caso 12 m). Además, también permite establecer el valor de w que permite cubrir un porcentaje dado de superficie del MDE (p.ej. 70%) y con el que se supere un nivel mínimo deseado de intersección de voxels determinado (p.ej. 80%). Así, para este caso, será la curva correspondiente a $w=15 m$ pues es la más cercana al punto (0,8; 0,3) de la gráfica. Es decir, la semi-amplitud $w=15 m$ nos asegura que el 70% de la superficie del MDE esté cubierta si se consideran todos los voxels cuya intersección es $\leq 80\%$. El grado de confianza será mayor cuanto mayor sea el valor de % de intersección de voxels (eje X) en el que comienza la curva, en el caso de $w=15$ comienza en el 60% lo cual es un alto grado de confianza.

En relación a la posibilidad de analizar las oscilaciones que se establecía en el MOD original, en este caso se propone analizar la evolución de los porcentajes de la superficie S2 por encima (E) o debajo (D) del orlado de S1, lo cual se determina fácilmente con operaciones de álgebra de mapas sobre S1 y S2 y sus orlados. La Figura 6 muestra la evolución espacial de las áreas E y D en función de w , y la Figura 7 las curvas de porcentaje de superficie correspondiente a cada una de ellas. Como se puede observar, la Figura 6 es complementaria a la Figura 4, dado que el sesgo se considera en las zonas sin intersección (bandas blancas en la Figura 4). Por su parte, en la Figura 7 se puede observar que, para una inclusión del 50% de la superficie, la semi-amplitud es de algo más de 2 m, sin embargo, la inclusión del 100% de la superficie ocurre para $w=6 m$, puesto que no existen atípicos y este último valor es mayor que el doble del primero (2x2), lo anterior significa que existe un sesgo apreciable. Además, dado que la curva que representa el área de S2 por encima de S1 siempre es superior a la que representa el área de S2 por debajo de S1, es evidente que el sesgo es positivo.

Esto coincide plenamente con la percepción visual que transmite la Figura 2. Por su parte, la curva de superficie total que se presenta en la Figura 7 es en todo equivalente a la Figura 3, con la salvedad que aquí se orlan las dos superficies, y por ello el 100% de inclusión ocurre para la mitad de la semi-anchura indicada en la Figura 3.

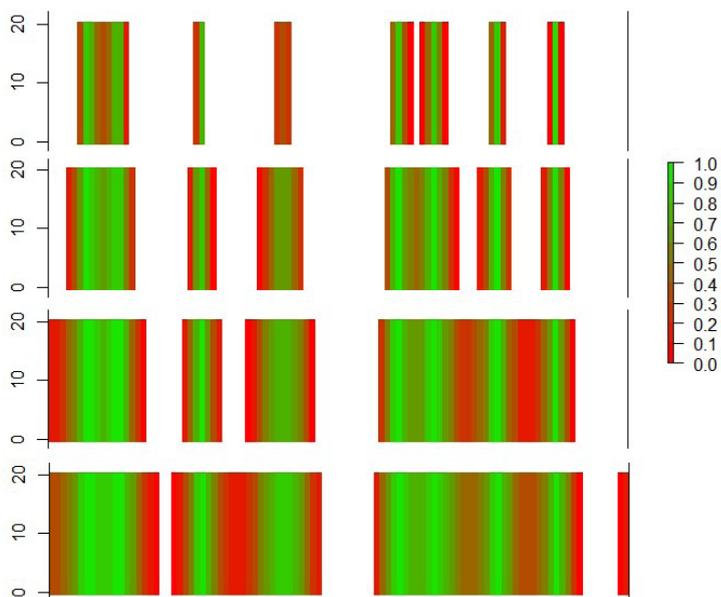


Figura 4. Evolución de las intersecciones de los voxels de los orlados de $S1$ y $S2$ para $w = [1, 2, 3, 4] m$.

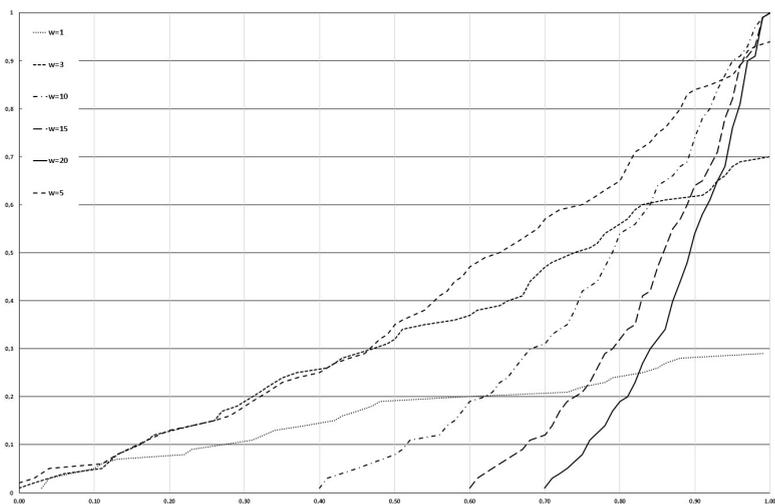


Figura 5. Graficas de la evolución de la superficie de inclusión correspondiente a los resultados de las intersecciones de los voxels de los orlados de $S1$ y $S2$ para $w = [1, 3, 5, 10, 15, 20]$.

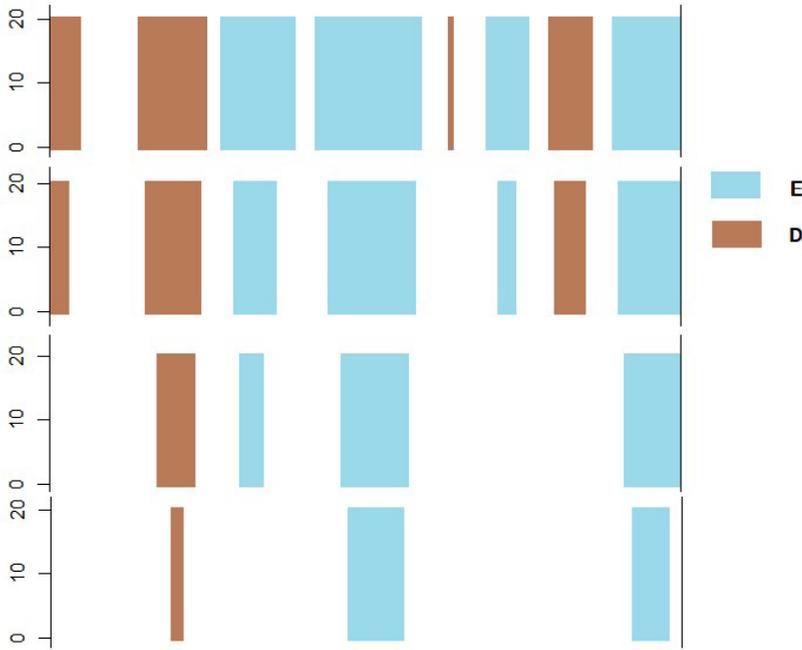


Figura 6. Evolución de las áreas de S2 que están por “encima” (E) o por “debajo” (D) de S1 para diferentes semi-anchuras de orlado $w = [1, 2, 3, 4] m$.

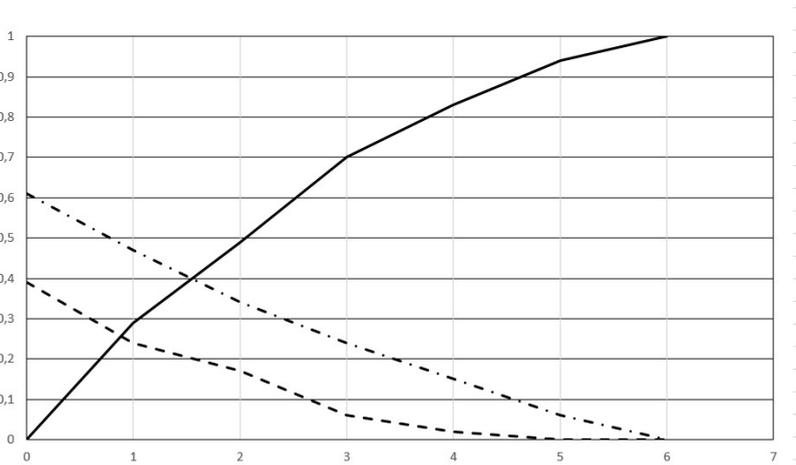


Figura 7. Evolución del porcentaje de área de S2 por encima (- · -) y debajo (- -) de S1, y dentro del buffer (—), para diferentes anchuras de orlado de S1 y S2.

4. Discusión

La discusión se va a centrar en distintos aspectos que consideramos clave analizar respecto a la propuesta de utilización de los métodos de orlado y que abarcan distintos ámbitos:

- Conceptual. El salto de la aplicación de los métodos de orlado de líneas a superficies es bastante directo y los conceptos manejados son semejantes. Sin embargo, la aplicación del MOD a líneas conlleva cierto cambio dimensional, de 1D a 2D, que en nuestra propuesta debería haber llevado a un paso de 2D a 3D. Por simplicidad, y por ser más usual manejarnos con unidades de superficie que con unidades de volumen, se ha desarrollado esta perspectiva, la cual no invalida la posibilidad de aplicación del MOD al caso de MDE.
- Algoritmos necesarios. La aplicación al caso de MDE de tipo *grid* es directa: operaciones simples de álgebra de mapas permiten ejecutar estos procesos sin problema, con agilidad y con grandes cantidades de datos. El trabajo con otros modelos de datos MDE requeriría codificar algoritmos más complejos.
- Elemento de análisis. En este sentido existe un cambio radical respecto a los métodos de evaluación usualmente aplicados a MDE, y que se basan en puntos. El análisis basado en superficies nos parece más natural y cercano a la realidad que se desea analizar. Al igual que en el caso de aplicación a elementos lineales, los métodos propuestos permiten ser aplicados a una única superficie, o a un conjunto de superficies, con independencia de su extensión. Esto permitirá aplicar métodos de evaluación basados en control por parches, como se propone en el proyecto FunQuality4DEM (https://coello.ujaen.es/investigacion/web_giic/funquality4dem/).
- Expresión de la incertidumbre. Dado que se obtienen curvas distribucionales, se dispone de mayor información sobre el comportamiento de la incertidumbre. Dado que ésta no se ajusta en la mayoría de los casos a una distribución normal, el disponer de curvas relativas a distribuciones observadas permite trabajar con percentiles de una manera directa. En el caso de desear la realización de un control de calidad (contraste de hipótesis), estas curvas se pueden utilizar como base de los métodos de control basados en tolerancias (una o varias tolerancias).
- Capacidades de análisis. En relación a los resultados y posibilidades de análisis, los dos métodos de orlado son distintos, como ocurría en el caso de aplicación a datos lineales y sus resultados complementarios, pues presentan dos perspectivas distintas de una misma realidad. En general, los resultados del MOS son más sencillos de interpretar que los del MOD cuando sobre éste se adopta una perspectiva de intersección parcial de voxels. En cualquier caso, ambos métodos generan curvas semejantes a funciones de distribución observadas (globales o parciales). Esto ofrece una herramienta de análisis potente pues se visualiza qué ocurre en toda la población o subpoblación de interés. Además, el uso de estas funciones de distribución observadas, elimina la necesidad de la hipótesis de normalidad sobre las

discrepancias y permite la aplicación de técnicas de control de calidad por medio de tolerancia(s).

- Aplicabilidad del MOS y MOD. Consideramos que el MOS es más adecuado para el caso en que la exactitud de S_1 es mucho mayor que la de S_2 , de tal manera que se pueda considerar despreciable. En el caso de los análisis de exactitud posicional por puntos se considera válida esta circunstancia cuando su exactitud es, al menos, tres veces mejor. Consideramos que el MOD es más adecuado para el caso en que la exactitud de S_1 y S_2 son aproximadamente iguales. En cualquier caso, el MOD permitiría, con gran facilidad, el considerar w distintas para S_1 y S_2 , por ejemplo, si se vinculara w con una estimación de la desviación en cada una de las dos superficies.

5. Conclusiones

Este trabajo propone de manera pionera el uso de métodos de orlado para la evaluación altimétrica de MDE. Los métodos de orlado se han originado en el ámbito de la evaluación de elementos lineales, donde su uso está consolidado, pero no extendido. La aplicación de los métodos de orlado al caso de los MDE es una consecuencia lógica puesto que, en principio, son más adecuados para tratar realidades continuas y donde es difícil encontrar “puntos fácilmente identificables y bien definidos” como se requiere en los estándares de exactitud posicional.

La aplicación de los métodos al caso de MDE *grid* es bastante directa, si bien requiere algo de adaptación para el MOD pero, en todo caso, se resuelven con sencillas operaciones de álgebra de mapas. Los resultados del MOS permiten una relación directa con métodos de control posicional ya desarrollados, y que se basan en control por tolerancias aplicando multinomiales. Además, la curva de inclusión de superficie por orlado permite sacar conclusiones sobre la presencia de atípicos y sesgos. Los resultados del MOD son más ricos y complejos que los del MOS dado que se juega con el grado de intersección de los voxels de los dos orlados, lo cual permite una interpretación probabilística sobre el porcentaje de inclusión de las superficies que, además, puede ayudar a la interpretación visual. Este método también permite analizar la presencia de sesgos. Los resultados de ambos métodos son complementarios a los ya existentes y basados en parámetros (p.ej. la raíz del error cuadrático medio, media, desviación, etc.). Además, consideramos que presentan una perspectiva más rica al ofrecer una visión más amplia de lo que ocurre por medio de curvas distribucionales (Figura 3, Figura 5 y Figura 7).

El trabajo aquí presentado es una primera aproximación y por ello se basa en datos sintéticos en cantidad y tipología limitada. Junto a la ampliación de estas pruebas, queda también pendiente la aplicación al caso de datos reales.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el proyecto de investigación "Calidad Funcional en Modelos Digitales de Elevaciones del Terreno en Ingeniería" (https://coello.ujaen.es/investigacion/web_giic/funquality4dem/) de la Agencia Estatal de Investigación. PID2019-106195RB-I00/AEI/10.13039/501100011033.

Bibliografía

- Ariza-López, F. J., Mozas-Calvache, A. T. (2012) Comparison of four line-based positional assessment methods by means of synthetic data. *Geoinformatica*, 16, 221–243. <https://doi.org/10.1007/s10707-011-0130-y>
- Ariza-López, F. J.; Rodríguez-Avi, J.; González-Aguilera, D., & Rodríguez-Gonzálvez, P. (2019). A New Method for Positional Accuracy Control for Non-Normal Errors Applied to Airborne Laser Scanner Data. *Applied Sciences*, 9(18), 3887. <https://doi.org/10.3390/app9183887>
- Goodchild M.F., Hunter G. (1997). A simple positional accuracy measure for linear features. *International Journal of Geographical Information Science*, 11(3), 206-299. <https://doi.org/10.1080/136588197242419>
- Mozas-Calvache, A. T, Ariza-López, F. J. (2011) New method for positional quality control in cartography based on lines. A comparative study of methodologies. *International Journal of Geographical Information Science*, 25(10), 1681-1695 <https://doi.org/10.1080/13658816.2010.545063>
- Polidori L., & El Hage, M. (2020). Digital Elevation Model Quality Assessment Methods: A Critical Review. *Remote Sensing*, 12(21), 3522. <https://doi.org/10.3390/rs12213522>
- Tveite, H. (1999) An accuracy assessment method for geographical line data sets based on buffering, *International Journal of Geographical Information Science*, 13(1), 27-47. <https://doi.org/10.1080/136588199241445>

Implementación de procesos de control de calidad en la actualización de series cartográficas urbanas mediante combinación de CAD y SIG

Implementation of quality control processes in the updating of urban cartographic series through a combination of CAD and GIS

Eulàlia Torrent Foz¹

Ángel Luis Muñoz-Nieto²

Diego González-Aguilera³

Pablo Rodríguez-Gonzálvez⁴

Recibido 25 de octubre de 2020; aceptado 25 de marzo de 2021

RESUMEN

El presente artículo presenta un conjunto de desarrollos y herramientas diseñadas con el fin de automatizar el mayor número posible de los procesos de control de calidad que se realizan sobre una serie cartográfica durante las fases de mantenimiento y actualización dentro de un contexto municipal. Dado que los tiempos y recursos empleados en estas tareas son considerables, se ha diseñado una metodología que aprovecha las posibilidades de los entornos CAD y SIG para agilizar y optimizar la detección de las discrepancias entre la representación cartográfica y los parámetros establecidos por el organismo cartográfico competente, facilitando así la localización de estos errores y su

¹ Ayuntamiento de Sabadell, España, correo electrónico: eulalia.tfet@gmail.com.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5422-2085>

² Universidad de Salamanca, España, correo electrónico: almuni@usal.es.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0814-1639>

³ Universidad de Salamanca, España, correo electrónico: daguilera@usal.es.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8949-4216>

⁴ Universidad de León, España, correo electrónico: p.rodriguez@unileon.es.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2657-813X>

posterior revisión y corrección. El proceso de automatización se ejemplifica con las series cartográficas a gran escala del Ayuntamiento de Sabadell, lográndose una importante minimización de la intervención de los técnicos.

Palabras clave: cartografía, control de calidad, Sistema de Información Geográfica, actualización cartográfica, detección automática de errores.

ABSTRACT

This article presents a set of developments and tools designed to automate the greatest possible number of quality control processes carried out on a cartographic series during the maintenance and updating phases, within a municipal context. Given that the time and resources employed in these tasks are considerable, a methodology has been designed that takes advantage of the possibilities of the CAD and GIS environments to speed up and optimise the detection of discrepancies between the cartographic representation and the parameters established by the competent cartographic body, thus facilitating the location of these errors and their subsequent revision and correction. The automation process is exemplified by the large scale cartographic series of Sabadell City Council, achieving a significant minimization of the intervention of technician.

Key words: cartography, quality control, Geographic Information System, cartographic update, automatic error detection.

1. Introducción

Los trabajos de mantenimiento y actualización de una base cartográfica dentro de una organización suponen uno de los procesos más importantes de las tareas de la misma, consumiendo la mayor parte de los recursos de la sección o departamento (Ariza & Rodríguez, 2018). A pesar de su importancia, los procesos de control de calidad de la cartografía suelen quedar en segundo plano, debido a la falta de medios, de recursos humanos y/o económicos. Pero con el tiempo se hace evidente la necesidad de disponer de un sistema de gestión para garantizar la calidad de la cartografía (Gallego-Priego, 2017). Esto implica documentar procesos, procedimientos y metodologías para garantizar la calidad del producto respecto a unos requisitos establecidos (Ariza-López, 2013).

El presente artículo busca contribuir a la modernización y mejora del proceso de control de calidad de la cartografía de los ayuntamientos, de modo que se supere la revisión manual y las tareas repetitivas que se realizan sobre las hojas de una serie cartográfica. Para ello se presenta un conjunto de herramientas que permiten automatizar un gran número de tareas dentro del procedimiento de control de calidad utilizando, en la medida de lo posible, software libre y de código abierto. Con el objeto de ilustrar la metodología y herramientas implementadas, se ejemplificarán los resultados con el caso de la cartografía a gran escala del ayuntamiento de Sabadell. En todo caso, las

herramientas desarrolladas están abiertas a ser modificadas para ajustarse a las necesidades y casuísticas concretas de otra organización (corporaciones municipales principalmente) según sus necesidades específicas o a ampliar su rango de uso incorporando nuevos parámetros de control para depurar todavía más el producto cartográfico final.

1.1. Contexto de trabajo

En la comunidad autónoma de Cataluña, para que la cartografía generada por una administración local tenga carácter oficial y pueda integrarse en el Registro Cartográfico de Cataluña (RCC), es necesario que haya sido elaborada según las normas y estándares establecidos por la Comisión de Coordinación Cartográfica de Cataluña (CCCC). Así se establece en el Plan Cartográfico de Cataluña que indica que la cartografía registrada debe tener un buen nivel de actualización y debe estar disponible según las normas y estándares mínimos de calidad (DOGC, 2010). De este modo, cada vez que se realiza una solicitud para registrar una nueva versión de un conjunto cartográfico al RCC, el Instituto Cartográfico y Geológico de Cataluña (ICGC) realiza un control de calidad sobre la totalidad de la documentación presentada para evaluar si esta puede registrarse o si presenta deficiencias.

En el contexto específico del Ayuntamiento de Sabadell se han realizado distintos trabajos para adaptar la cartografía municipal a los estándares oficiales documentándose estos procesos de creación y mantenimiento de la cartografía municipal mediante el Pliego de especificaciones técnicas de la cartografía topográfica 2D del ayuntamiento de Sabadell a escalas 1:500 y 1:1 000, basado en el estándar elaborado por la Comisión de Coordinación Cartográfica de Cataluña (CCCC, 2016).

Las incidencias registradas en los procesos cartográficos, relacionadas con la calidad de representación, evidenciaron la necesidad de disponer de herramientas de control interno para evitar este tipo de problemas en el futuro. El compromiso de mantener la cartografía actualizada y registrada para su consulta de acuerdo con los estándares establecidos, obliga a la realización de entregas periódicas al RCC y esto requiere la realización de controles de calidad con mucha frecuencia para que la cartografía esté convenientemente actualizada, y por tanto refleje con prontitud los cambios que se producen en el territorio. En consonancia con la norma internacional ISO 19157-1 se detallan procedimientos de búsqueda y corrección de errores de consistencia lógica y exactitud temática.

Los procesos de actualización cartográfica y control de calidad llevados a cabo manualmente llevan implícitos una serie de errores sistemáticos y accidentales vinculados a la dinámica de trabajo del operador como su pericia, concentración, agudeza visual, etc. Por ello es aconsejable la implementación de una metodología de trabajo sistemática y unas herramientas que permitan automatizar el proceso de control de calidad mejorando los resultados en términos de reducción de costes de tiempo y fiabilidad de los resultados.

1.2. Objetivos

El objetivo principal de las herramientas desarrolladas es automatizar el proceso de control de calidad que se lleva a cabo sobre una serie cartográfica evitando la revisión manual y repetitiva de las hojas cartográficas que componen la serie para verificar que cumplen con los estándares mínimos de calidad y contenido. Como estándares de referencia se han establecido los recogidos según el *Pliego de especificaciones técnicas de la cartografía topográfica 2D del ayuntamiento de Sabadell a escalas 1:500 y 1:1 000* en cuanto a la representación de sus elementos. Como resultado final del control de calidad se identificarán, en las hojas cartográficas, los elementos que no cumplen con las características definidas en el catálogo de representación de elementos de la serie, localizando y clasificando los errores detectados para poder corregirlos más fácilmente.

Para comprobar la conformidad de la cartografía municipal con las especificaciones, se empleará el diccionario o catálogo de representación de elementos de la serie cartográfica asociado al control de calidad. El catálogo es un documento en forma de tabla en la que se relacionan los distintos elementos que pueden contener las hojas de la serie cartográfica y se definen, de forma unívoca, las características que deben cumplir estos elementos.

Seguidamente se desglosa el objetivo principal del trabajo en los siguientes objetivos específicos:

- Proponer una metodología para la automatización en la detección y corrección de errores cartográficos.
- Diseñar e implementar un set de herramientas flexible, que permita añadir nuevos inputs (nuevos tipos de error a detectar).
- Elaborar automáticamente informes de los errores detectados en las hojas procesadas.
- Crear marcadores de errores para facilitar su localización en el entorno CAD.
- Aplicar la metodología propuesta a un supuesto práctico.
- Validar los resultados del ensayo.

2. Materiales y métodos

Para describir a fondo los procesos de control de calidad y las metodologías de trabajo, se presentarán inicialmente los materiales empleados, para centrarse posteriormente en los aspectos metodológicos y de desarrollo implementados.

2.1. Materiales

Las herramientas software empleadas para los procesos de automatización se han desarrollado en dos entornos que se denominaran “entorno CAD” y “entorno SIG”. El “entorno CAD” constituye un entorno gráfico donde se puede ver, editar y manipular los ficheros gráficos de la serie cartográfica (en formato DGN). Para ello se empleará el software MicroStation v8i (Bentley, 2020) y el módulo de Visual Basic integrado para desarrollar funciones o rutinas personalizadas. El objetivo principal será exportar toda la información de los elementos presentes

en los ficheros gráficos a un fichero de texto estructurado, que se empleará como *input* del siguiente proceso que se ejecutará en entorno SIG.

El “entorno SIG” contempla el empleo de herramientas propias de un SIG para llevar a cabo las tareas relacionadas propiamente con el control de calidad. Nos referimos a tareas como cruzar información o analizar los datos obtenidos de cada hoja tras su comparación con el modelo de datos y la simbología asociada, y de este modo detectar los errores de representación. Para ello se escogió trabajar con el software libre QGIS (QGIS, 2020) y el lenguaje de programación Python.

2.2. Metodología

Para sintetizar como se van a estructurar, ordenar y relacionar las distintas fases y tareas que conforman el protocolo de automatización del procedimiento de control de calidad se presenta el diagrama mostrado en la Figura 1.

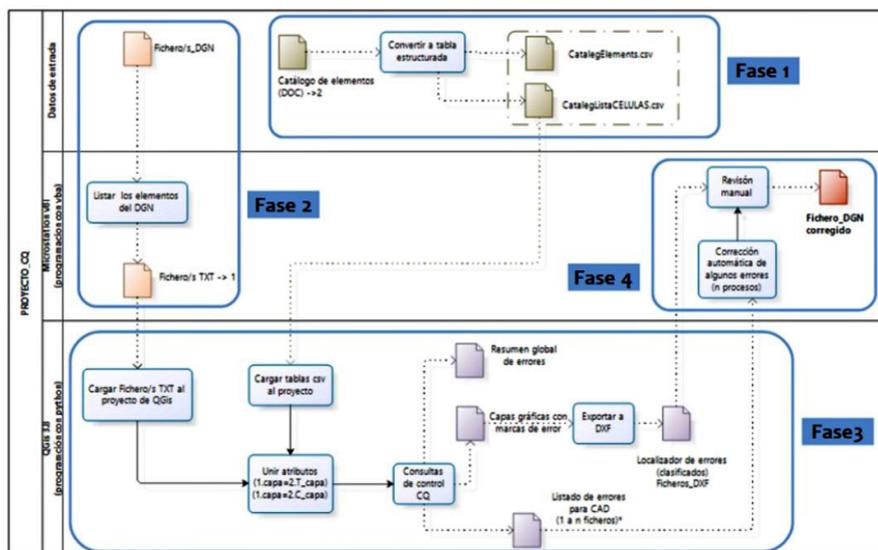


Figura 1. Diagrama conceptual del procedimiento de control de calidad.

Sobre dicho diagrama se han realizado cuatro agrupaciones (fases) que servirán en adelante para identificar inequívocamente la parte del proyecto que se está describiendo en cada momento. Dichas fases son:

- Fase 1. Preparación de datos de control
Su propósito es estructurar la información obtenida de los ficheros de especificaciones que acompañan la serie cartográfica y que servirán para establecer las normas de representación que deben cumplir los elementos de la cartografía.

- Fase 2. Conversión DGN a TXT

El objetivo de esta fase es la extracción de la información de las hojas cartográficas de modo que pueda ser incorporarla al SIG, en el que posteriormente se implementarán los algoritmos para la detección de errores y discrepancias.

Aunque QGIS permite importar ficheros CAD, esta importación es costosa en tiempo y peso porque incorpora la geometría de todos los elementos. Y, en este caso, no nos interesa tanto la geometría de los objetos como los atributos de representación de los mismos. Por este motivo se optó por trabajar con un fichero de texto que contuviera la información de representación de los objetos del fichero gráfico geolocalizada como si fuera un objeto puntual (tomando como localización el punto inicial en el caso de elementos lineales y el centroide para los elementos poligonales). El fichero de texto es fácil de incorporar al SIG y muy ligero y fácil de analizar.

- Fase 3. Control de calidad-Detección de errores

Se trata en esta fase de diseñar un proceso de detección e identificación de errores en el SIG. Para ello se definirán varias rutinas.

- Fase 4. Corrección de errores

Esta última fase se propone indicar al operador, de forma explícita, cómo se resolverían los distintos tipos de errores.

En un proceso de control de calidad es necesario que previamente se hayan definido los tipos de errores que se están buscando, explicitando las diferencias entre las características previstas de un elemento cartográfico analizado y las características obtenidas. En el presente trabajo se empleó el modelo de datos y la simbología del catálogo de representación de elementos de la serie para definir los errores que se van a buscar. Si bien es recomendable tener en cuenta la experiencia previa para determinar la tipología de errores esperados.

A continuación, se listan los tipos de errores a localizar agrupándolos en primera instancia en función del análisis interno por niveles (capas):

- Representación de elementos:
 - Niveles con elementos que no se representan según sus atributos de color, tipo de línea o grosor.
 - Objetos orientados que, por definición, deberían presentar un valor de orientación igual a cero.
- Consistencia de datos:
 - Niveles con elementos que no corresponden al tipo esperado por el propio nivel. Por ejemplo, niveles que esperan elementos lineales, pero contienen elementos de tipo texto, punto, formas, etc.
 - Depuraciones de información. Por ejemplo, en el caso de elementos lineales, detección y eliminación de elementos con longitud cero.
- Valores de texto y formato:
 - Revisión del formato de algunos textos. Por ejemplo, en el caso de las anotaciones de cotas altimétricas identificar si hay algún elemento con

un separador decimal distinto al definido en el modelo de datos, el número de decimales que contiene, etc.

- Detección del contenido del texto corresponde con el esperado para el nivel. Por ejemplo, que la anotación de un elemento concreto como una rampa sea "Rampa" en lugar del esperado "rampa".

Más concretamente, en el presente trabajo se ha automatizado la detección de los siguientes once tipos de errores:

- Error 1: Nivel lineal con elementos que no son líneas o polilíneas.
- Error 2: Nivel puntual con otros tipos de elementos.
- Error 3: Nivel de texto con otros tipos de elementos.
- Error 4: Elementos lineales de longitud cero.
- Error 5: Elementos con color diferente al asignado al nivel ($\neq -1$).
- Error 6: Elementos con tipo de línea diferente al asignado al nivel ($\neq \text{ByLevel}$).
- Error 7: Elementos que con grosor diferente al asignado al nivel ($\neq -1$).
- Error 8: Elementos puntuales no orientables con valor angular distinto a cero.
- Error 9: Nivel de texto (valor de cotas altimétricas) con separador decimal "." en lugar del esperado ",",.
- Error 10: Nivel T-cota_corba_nivell con separador decimal "." en lugar del esperado ",",.
- Error 11: Clase diferente de 0 (= "primaria").

Este listado de errores no pretende ser exhaustivo. Por ello, las herramientas diseñadas son escalables y permitirían definir otras casuísticas de errores como, detectar la presencia de algún elemento en un nivel que no aparece en el catálogo; elementos puntuales representados con definiciones de células fuera de las esperadas; representaciones de texto no conformes con el formato definido... Cuantos más tipos de errores se puedan considerar, más depurada podrá estar la cartografía y por ende aumentará su calidad.

2.2.1. Preparación de datos de control (fase 1)

El catálogo de representación de elementos es una tabla que complementa los mapas de una serie cartográfica indicando los atributos gráficos que debe tener cada elemento para su correcta representación. Dicha información será empleada para asegurar que las hojas cartográficas analizadas se ajustan a las especificaciones de la serie. En la Figura 2 se muestra el catálogo de representación de elementos que recoge tanto el modelo de datos como la simbología.

El primer paso es manipular la tabla del catálogo de representación de elementos para adecuar los nombres de campos y datos de la tabla y poder trabajar con la información que contiene. Como formato preferente se escogerá el CSV, y se generarán dos ficheros:

- Catálogo de representación de elementos propiamente dicho y que contendrá el listado completo del catálogo con los campos de información renombrados para evitar confusiones.
- Catálogo de células que contendrá la clasificación de los tipos de objetos puntuales que puede contener cada nivel con una relación 1 a 1. Las células son un conjunto de líneas o elementos que se agrupan para ser tratadas como un único objeto puntual. Se usan para representar elementos concretos como por ejemplo un árbol, un banco, una farola o una tapa de registro. De modo que, a partir de una definición de célula, se puede representar fácilmente tantas veces como sea necesario ese objeto.

CATÀLEG D'ELEMENTS. Cartografia topogràfica 2D															
Hidrografia-Obres hidràuliques															
Element	Fitxa	Color	Estil	Grup	Element gràfic	Font	Just	Alg	Amp	Nom de la	Escala	Angle	CARTOGRAFIA TEBÀTICA		
													Dades externes	Exhaustivitat	Representació
L Línia de costa	HD_01	99	0	0	Line String - Line									NO	NO
L Riu i aigües permanents	HD_02	105	0	0	Line String - Line									SI	SI
L Torrent i riera amples i aigües no permanents	HD_03	105	2	0	Line String - Line									SI	SI
Rh Rambla inundable	HD_04	105	1	0	Shape									NO	NO
L Moll	HD_05	74	0	0	Line String - Line									NO	NO
L Canal obra	HD_06	7	0	0	Line String - Line									SI	SI
L Canal de terra	HD_07	7	0	0	Line String - Line									SI	SI
L Sèquia	HD_08	99	0	0	Line String - Line									SI	SI
L Bassa obra	HD_09	99	0	0	Line String - Line									SI	SI
L Bassa de terra	HD_10	99	0	0	Line String - Line									SI	SI
L Pla obra	HD_11	99	0	0	Line String - Line									SI	SI
Rh Polígon de pla obra	HD_11-01pool	99	0	0	Shape								SI	SI	SI
L Pou	HD_12	0	0	0	Line String - Line									SI	SI
L Rieixa de desguàs	HD_13	102	0	0	Line String - Line									SI	SI
R Embornal	HD_14	102	0	0	Cel·la					EMBORN	va/0308	Oriental		SI	SI
R Símbol de font	HD_15	99	0	0	Cel·la					FONT_FONTE	va/0308	Oriental		SI	SI
L Font	HD_16	99	0	0	Line String - Line									SI	SI
R Diposant	HD_17	102	0	0	Cel·la					REQ	1.0	0		SI	SI
R Bocca de reg	HD_18	102	0	0	Cel·la					BREQ, BREQ	va/0308	0		SI	SI
R Bocca incendi	HD_19	105	0	0	Cel·la					BREQ, BREQ	va/0308	0		SI	SI
L Rierol	HD_20	105	3	0	Line String - Line									SI	SI
L Torrent i riera es trèls	HD_21	105	2	0	Line String - Line									SI	SI
L Eix canal obra	HD_22	7	[Arrow]	0	Line String - Line									NO	NO
L Eix canal de terra	HD_23	7	[Arrow]	0	Line String - Line									NO	NO
L Rieixa de canal de desguàs	HD_24	102	0	0	Line String - Line									NO	NO
L Eix de riu i rierol	HD_25	105	4	0	Line String - Line									SI	SI
L Eix de torrent i riera	HD_26	105	3	0	Line String - Line									SI	SI

Figura 2. Muestra del catálogo de representación de elementos con los atributos de representación.

Fuente: Pliego de especificaciones técnicas de la cartografía topográfica 2D del Ayuntamiento de Sabadell a escalas 1:500 y 1:1 000.

En el primer fichero, se mantendrán todos los campos de la tabla, pero renombrados para evitar caracteres problemáticos y garantizar que se podrá importar correctamente cuando lo llamemos desde el entorno SIG. Después de renombrar los campos, se modificarán los valores del campo TypeElement, el cual recoge la descripción del tipo de elemento gráfico que espera el nivel (puntuales, lineales, poligonales y de texto).

La necesidad de creación del segundo fichero de células se debe al hecho que en el listado original hay niveles que admiten distintas representaciones de objetos puntuales de tipo célula. Para que esta relación 1:N no sea un problema al relacionarla con la información obtenida de los ficheros gráficos DGN, se crea esta tabla auxiliar de soporte. De modo que la nueva tabla indique todas

las combinaciones de nivel/célula que puede admitir el fichero DGN según el catálogo.

2.2.2. Conversión DGN a TXT (fase 2)

Esta segunda fase se desarrolla en el entorno CAD (Microstation) donde se creará una rutina o macro para exportar toda la información de los elementos gráficos de un fichero DGN (Figura 3) y almacenarla en un fichero de texto estructurado (TXT), de modo que se puedan consultar los atributos de representación de los elementos y otras características propias al tipo de elemento. Esta información será imprescindible para que el control de calidad pueda detectar qué elementos están mal representados o si contienen alguno de los tipos de errores previstos.



Figura 3. Muestra de la base cartográfica de Sabadell: recorte de la hoja 392-34-26.dgn.
Fuente: Ayuntamiento de Sabadell.

La macro de MicroStation realiza un bucle de selección de los elementos contenidos en cada nivel y, en función del tipo de elemento, graba sus características específicas en el fichero de texto. Además, añade una cabecera al fichero de texto que contiene los nombres de los campos de información a exportar. En la Tabla 1 se recogen los tipos de elementos con los que se trabajará.

En la rutina se establece una operación del tipo Select-Case en función de los valores de *TypeElement* esperados. Esta instrucción es escalable, tal que podrá admitir otros casos para poder identificar y valorar si se trata de otros tipos de elementos gráficos a considerar que deben estar en la hoja cartográfica, si hay que eliminarlos o si se trata de elementos de definición del propio fichero de MicroStation que no afectan a la información gráfica.

Tabla 1. Tipos de elementos cartográficos y su correspondencia en Microstation

Tipo de elemento cartográfico	Tipo de elemento de Microstation (TypeElement)
Elemento puntual	2
Elemento lineal	4 – 3 (menos frecuente: 15, 16)
Elemento poligonal	6
Elemento de texto	17

Como resultado de la exportación masiva del proceso por lotes, se obtendrán n ficheros similares (uno por cada hoja cartográfica procesada) al ejemplificado en la Figura 4.

```

elementID|Nivel|codiElement|TypeElement|Text|NomCelula|X|Y|EscalaX|EscalaY|Angle|color|ST|lineST|gruixST|longitud|textStyle|class
4396608|L-Carril bici|COM_26|4|CTG-L|423018,755587796|4602029,62578873|1|1|0|-1|ByLevel|-1|26,2271394653566|-1|0
4397698|L-Carril bici|COM_26|4|CTG-L|423113,871162877|4601923,15274097|1|1|0|-1|ByLevel|-1|4,78220595919003|-1|0
4416547|L-Corba de nivell|ORO_01|4|CTG-L|422716,711843817|4601504,37976102|1|1|0|-1|ByLevel|-1|46,5532841319599|-1|0
4378639|L-Corba de nivell mestra|ORO_02|4|CTG-L|422546,10342521|4601841,18808283|1|1|0|-1|ByLevel|-1|15,2034448211409|-1|0
4378639|L-Corba de nivell mestra|ORO_02|4|CTG-L|421968,550881495|4601878,67552313|1|1|0|-1|ByLevel|-1|52,4024603417586|-1|0
4475417|P-Boca de reg|HID_18|2|-1|BRE|423199,195918541|4601640,95881704|0,6|0,6|0|-1|ByLevel|-1|-1|0
4475417|P-Boca de reg|HID_18|2|-1|BRE|423171,176779446|4602008,85132874|0,2|0,4|299,3327|-1|ByLevel|-1|-1|0
4475485|P-Contenedor escombraries|MOB_13|2|-1|CONTEB|422419,933834117|4601393,6793463|1|1|0|-1|ByLevel|-1|-1|0
4487670|P-Paperera|MOB_08|2|-1|PAPER|422457,928718508|4601502,4742267|0,65|0,65|0|-1|ByLevel|-1|-1|0
4487679|P-Paperera|MOB_08|2|-1|PAPER|422456,579330175|4601280,94945185|0,65|0,65|0|-1|ByLevel|-1|-1|0
4475771|P-Embornal|HID_14|2|-1|EMBORN|422263,7767081|4601672,57096355|1|1|35,0888|-1|ByLevel|-1|-1|0
4475771|P-Embornal|HID_14|2|-1|EMBORN|422263,7767081|4601672,57096355|1|1|35,0888|-1|ByLevel|-1|-1|0

```

Figura 4. Ejemplo del fichero de texto obtenido al ejecutar la macro sobre un fichero DGN.

2.2.3. Control de calidad (fase 3)

En esta etapa es en la que se comprueba la exactitud de los elementos de cada fichero DGN (hoja de la serie cartográfica). En concreto se chequea la fidelidad de la clasificación y de los atributos esperados. Para ello se siguen los procesos que a continuación se detallan.

Carga de datos iniciales en el entorno SIG

Como datos iniciales se parte de los ficheros obtenidos al finalizar las fases 1 y 2 expuestas anteriormente. En el entorno de trabajo de QGIS se crea una

```

# Creamos las nuevas agrupaciones del TOC
arbreArrel.addGroup("1-TXT_InfoDGN")
grup_TXT=arbreArrel.findGroup("1-TXT_InfoDGN")
arbreArrel.addGroup("1-Catalogo")
grup_Cataleg_txt=arbreArrel.findGroup("1-Catalogo")
arbreArrel.addGroup("2-Polilinea_ERRORRES_xTipo")
shp_GrupErrors=arbreArrel.findGroup("2-Polilinea_ERRORRES_xTipo")
arbreArrel.addGroup("3-Localizacion_ERRORRES")
grup_PintaERRORS=arbreArrel.findGroup("3-Localizacion_ERRORRES")

```

Figura 5. Código Python para la creación de las agrupaciones.

estructura de agrupaciones que permita almacenar, de forma ordenada, tanto los datos de entrada, como los resultados que se obtendrán al ejecutar cada una de las fases que conforman el control de calidad (Figura 5).

Enlace de información por unión de tablas

Seguidamente se enlaza la información de los ficheros DGN con los datos del catálogo, mediante la indicación del campo común entre ellos. El resultado es una unión virtual de información que se añade a la tabla principal (receptora) como datos anexados.

Para evitar ambigüedades, la relación de las dos tablas del catálogo de representación de elementos con cada uno de los ficheros de datos se realiza mediante una correspondencia del tipo 1:1. El proceso de unión está automatizado mediante código Python. En la Figura 6 se muestra un modelo relacional con los campos que se van a utilizar para realizar la unión entre las tablas.

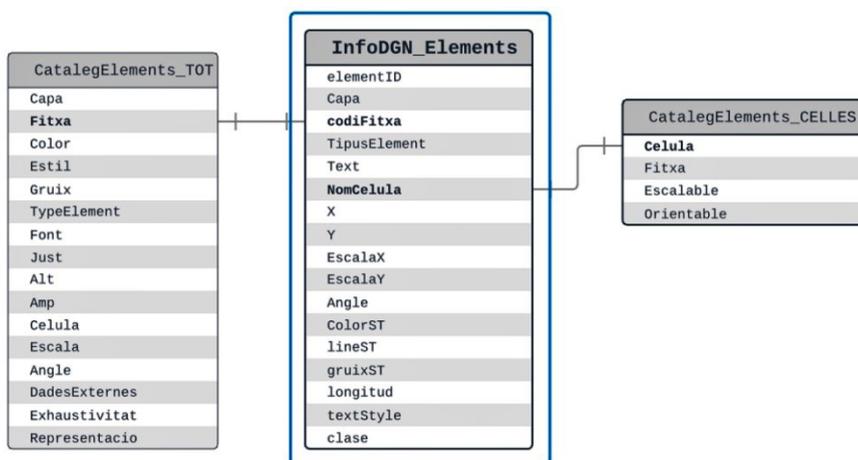


Figura 6. Unión de las tablas del catálogo con la tabla que contienen la información de los elementos de una hoja cartográfica concreta.

Definición e identificación de errores

En este proceso vamos a definir los errores que podemos localizar por diferencia entre el valor real del elemento y su valor esperado según el catálogo.

A continuación, se muestran las pautas seguidas para la automatización del proceso de detección de estos errores en el SIG y la pauta establecida para obtener resultados. Con ellas se persigue la obtención de:

- Un resumen global de errores detectados en todos los ficheros de datos procesados.
- Un listado con todos los errores detectados.

- Marcadores de errores que podamos exportar para facilitar la corrección de las hojas cartográficas.

La rutina sigue una pauta interactiva: cada vez que se procesa un tipo de error y, para cada tipo de error, se establece una expresión o función. Esta expresión se usará, a modo de filtro, para detectar los elementos que cumplen con la condición establecida (Figura 7).

También se definen dos funciones adicionales, que se ejecutan cada vez que se busca un tipo de error. La primera sirve para obtener un listado o reporte de todos los errores detectados en el fichero. La segunda crea una línea que une todos los errores del mismo tipo detectados. Esta línea será de gran utilidad como guía y referencia en la fase final del proceso de revisión, limpieza y corrección de los errores sobre las hojas cartográficas.

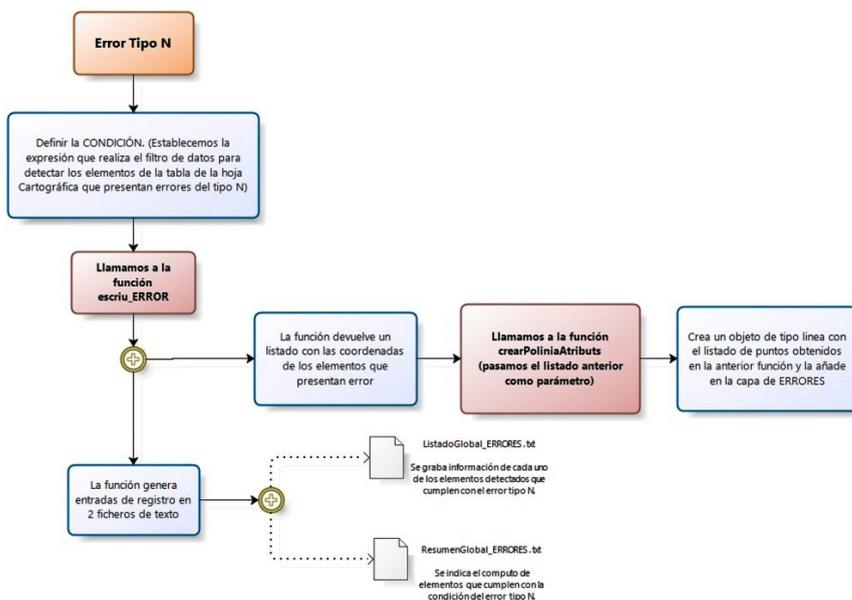


Figura 7. Esquema del proceso de detección de errores.

Localización y representación de resultados

En este proceso se genera una salida gráfica cuya misión es ayudar al técnico a localizar los errores detectados. Para ello se crean un conjunto de líneas que unen los puntos donde están localizados los errores de una determinada tipología, asignando a estos puntos información sobre las propiedades del error detectado.

De este modo, la rutina para el operador de control de calidad consiste en recorrer el circuito definido por las líneas de detección de errores tantas veces como tipos de errores hayan sido definidos. En la Figura 8 se recoge un diagrama

conceptual del proceso y de la creación de la capa gráfica de errores. Como se aprecia, cada vez que se procesa un tipo de error, el circuito devuelve una línea que se incorpora a la capa de errores.

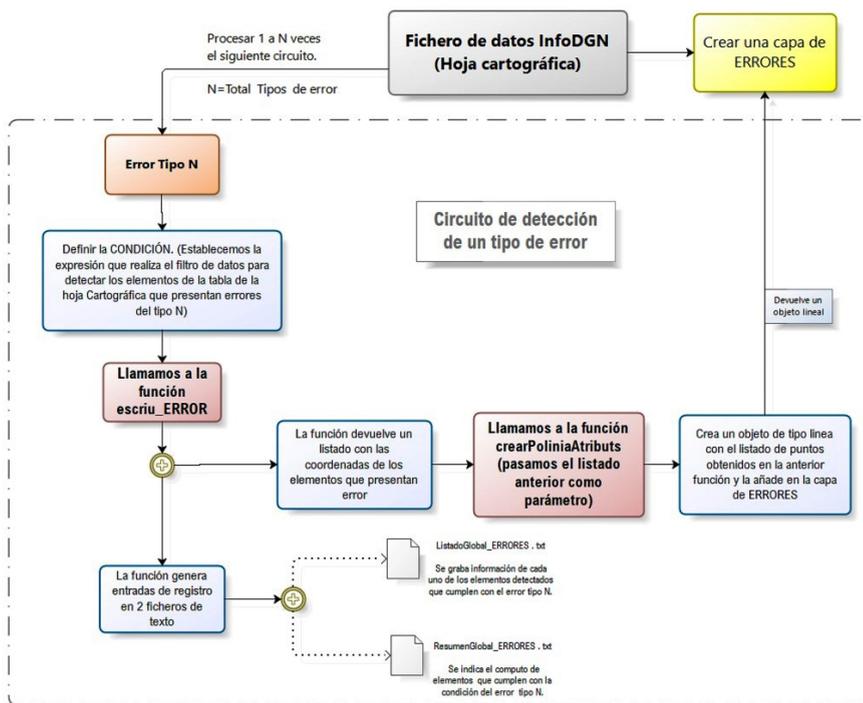


Figura 8. Esquema de creación de la capa de errores.

Como ya se indicó el presente trabajo parte de la definición de 11 tipos de errores distintos y, por lo tanto, el circuito de detección de errores se repite 11 veces para cada fichero de datos. Al mismo tiempo, en este proceso, se genera una salida gráfica a nivel de marcadores con un fichero global de errores. Para ello se carga en el entorno SIG su componente geométrica junto con un estilo predefinido para poder diferenciar el tipo de error.

En la Figura 9 se ejemplifica el resultado de todo ello, mostrando los marcadores y líneas generados para poder localizar los errores. Esta es la información gráfica, que posteriormente se exportará a DXF, se vinculará al entorno CAD y se usará como soporte para la corrección de error.

A modo de resumen, los ficheros resultantes del proceso son:

- Fichero de texto con un resumen global de errores. Contiene un informe de las hojas procesadas en el que se incluye la relación de tipos de errores encontrados en cada una y el computo de errores de cada tipo que presentan.

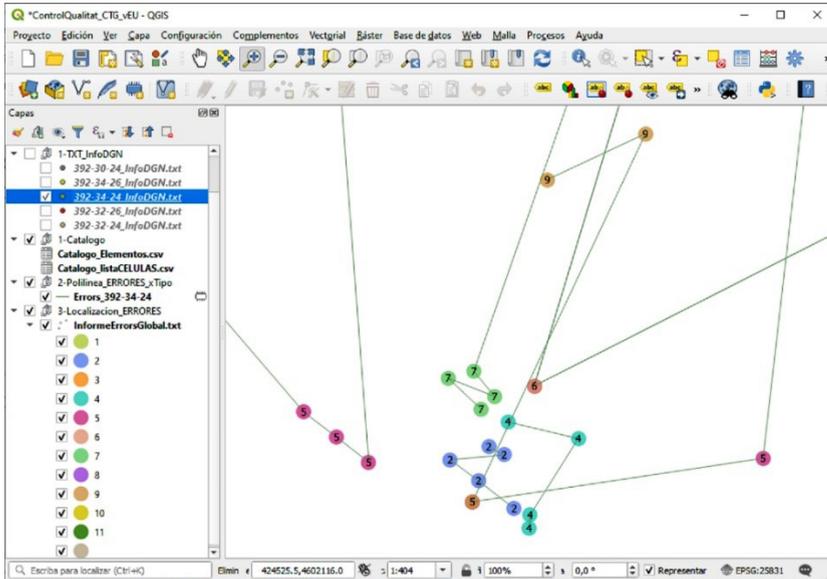


Figura 9. Ejemplo de resultado del proceso de detección de errores.

- Fichero de texto con un listado global de errores. Contiene información del identificador del elemento que presenta error, la hoja en la que se encuentra, el tipo de error detectado y otras características del elemento.
- Fichero DXF que incorpora la distribución de las marcas de error.

En este punto finaliza la fase del control de calidad y puede comenzar la fase de corrección de errores en el entorno CAD (fase 4).

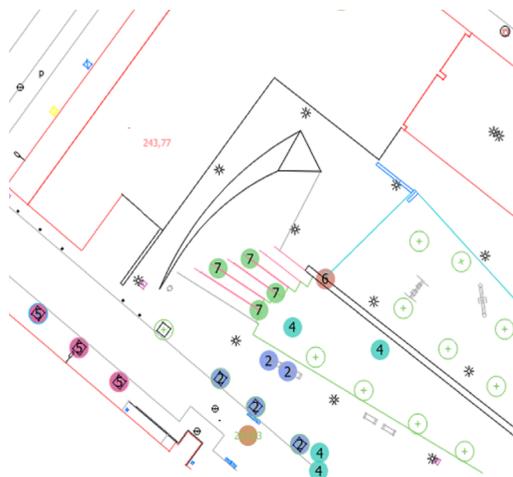
2.2.4. Corrección de errores (fase 4)

Esta última fase se desarrolla en entorno CAD y engloba el conjunto de acciones necesarias para corregir los errores detectados en el control de calidad. En la Figura 10 se recoge la superposición de las marcas de error (exportadas como un fichero DXF) con las hojas cartográficas. Cada círculo representa un error detectado y el número que contiene indica el tipo de error que se ha encontrado en ese elemento.

Antes de definir cómo será la corrección de errores se hace necesario realizar una serie de consideraciones sobre cómo abordar la corrección de cada tipo de error.

De modo general, los errores de los tipos 1, 2 y 3 indican elementos que no se encuentran en el nivel (capa) que les corresponde y deberán ser reasignados manualmente, ya que la casuística puede ser muy variada.

Por otro lado, el error del tipo 4, que localiza elementos lineales de longitud cero, hace necesaria la eliminación de estos elementos de dibujo, ya que se



Leyenda de tipo de errores

- 1 Error 1-Nivel lineal con otros tipos de elementos
- 2 Error 2-Nivel puntual con otros tipos de elementos
- 3 Error 3-Nivel de Texto con otros tipos de elementos
- 4 Error 4-Elementos lineales de longitud cero
- 5 Error 5-Elementos con color diferente al asignado
- 6 Error 6-Elementos con tipo de línea diferente al asignado
- 7 Error 7-Elementos que con grosor diferente al asignado
- 8 Error 8-Elementos puntuales que no deberían estar orientados
- 9 Error 9-Niveles de T-cota_ altimétrica_* con formato inesperado (###,##)
- 10 Error 10-Nivel T-cota_corba_nivell con con formato inesperado (###,##)
- 11 Error 11-Clase no "primaria"

Figura 10. Ejemplo de superposición de las marcas de error en una hoja cartográfica (arriba) y leyenda asociada (abajo).

trata de elementos residuales definidos por un único punto y que, en realidad, no representan nada.

Los errores del tipo 5, 6 y 7 son errores de representación de los elementos, que deberían estar definidos en función del nivel que los contiene. Dado que el control de calidad está indicando que hay elementos en esa hoja que presentan por lo menos un error de este tipo, se resolverá forzando todos los elementos del fichero a que se representen según las propiedades concretas de los niveles.

Los errores del tipo 8 indican elementos puntuales de tipo células que están girados pero que no deberían estar orientados, por lo que en estos casos se deberá localizar el elemento y forzar la orientación con valor cero.

Los errores del tipo 9 y 10 son errores relacionados con el formato del texto. Se comprueban valores de cotas altimétricas y se valida que el separador decimal sea la coma y el número de posiciones decimales sea el esperado en función del nivel en el que se encuentran.

Finalmente, el error del tipo 11 hace referencia a un valor de MicroStation, cuyo comportamiento esperado sería que todos los elementos pertenecieran a la clase “primaria”. En caso de no cumplirse será necesario localizar el elemento y modificar este valor.

La heterogeneidad de los errores y de las soluciones para corregirlos hace difícil la automatización total del proceso. Por ello, la metodología propuesta se centra en utilizar herramientas que ayuden a localizarlos con precisión y rapidez. En este sentido se plantean dos avances. Por un lado, y como hemos descrito, la superposición de las marcas de error sobre las hojas cartográficas, que ayuda notablemente al operador a identificar fácilmente los elementos afectados por error. Por otro lado, la implementación de macros que permitan identificar un elemento en concreto o seleccionar un grupo de elementos a tratar y gestionar de modo masivo la corrección según la naturaleza del error.

3. Caso de estudio y resultados

La metodología y herramientas presentadas se aplicó al caso del municipio de Sabadell (web.sabadell.cat) en la provincia de Barcelona. La cartografía topográfica elaborada por el ayuntamiento de Sabadell es una cartografía a gran escala (1:500 y 1:1 000) que pretende dar respuesta a las necesidades diarias de la gestión municipal. Dicha cartografía se ha ido generando y actualizando parcialmente con vuelos fotogramétricos de diferentes zonas del municipio, así como mediante levantamientos topográficos realizados por el equipo de topografía del ayuntamiento de Sabadell. Todo el procedimiento de restitución, levantamiento y revisión está recogido en el Pliego de especificaciones técnicas de la cartografía topográfica 2D del Ayuntamiento de Sabadell a escalas 1:500 y 1:1 000.

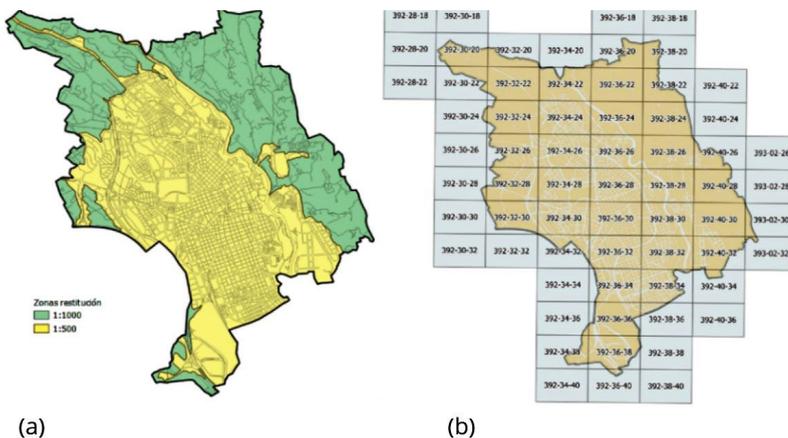


Figura 11. a) Cartografía municipal del ayuntamiento de Sabadell; b) Hojas de la serie cartográfica.

Fuente: Ayuntamiento de Sabadell.

La cartografía de Sabadell se presenta cortada por hojas según el formato 1:2 000 ajustado al término municipal, conformando un total de 65 hojas (Figura 11).

3.1. Ejemplo del procedimiento de detección de errores

Como fase inicial se partirá del proyecto de QGIS de inicio que consta de tres capas de soporte cargadas: el límite municipal, la estructura de manzanas y la cuadrícula de la serie cartográfica. Asimismo, el proyecto ya tiene cargados los scripts que necesitamos para pasar el proceso de detección de errores:

Script 1

Este proceso genera una estructura en el árbol de QGIS para ordenar los datos que se van a procesar. Por un lado, el proceso importa los ficheros TXT con la información exportada de las hojas cartográficas. Y, por otro lado, el script importa las tablas estructuradas del catálogo de representación elementos.

Después de incorporar los datos de partida al proyecto de QGIS, el script enlaza los datos del catálogo con cada uno de los ficheros TXT de las hojas cartográficas mediante una unión de tablas virtual (usando los campos de unión que anunciamos en la Figura 6).

Script 2

El segundo script ejecuta el proceso de detección de errores sobre los ficheros cargados al proyecto en base a los tipos de errores definidos. En este punto el técnico puede decidir si quiere buscar errores en todos los ficheros o si prefiere lanzar el proceso sobre uno o varios de los ficheros cargados. En la Figura 12 se ejemplifica el proceso sobre seis ficheros de la cartografía municipal de Sabadell.

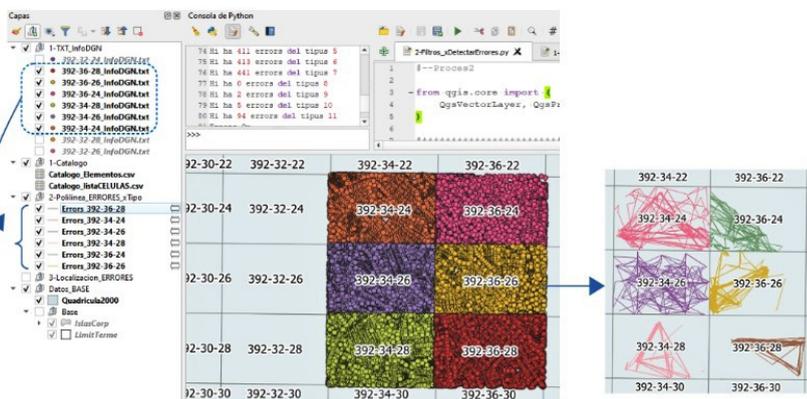
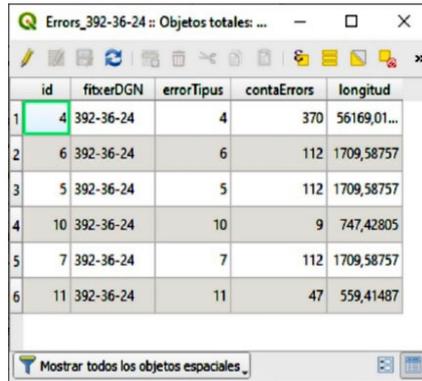


Figura 12. Resultado de la ejecución del segundo script de Python.

La tabla de atributos de una de estas capas resultantes contiene un registro de entrada por cada tipo de error detectado. Cada uno de estos registros corresponde a un elemento lineal creado con las coordenadas de todos los elementos que presentan error agrupadas por tipos de errores (Figura 13).



id	fiberDGN	errorTipus	contaErrors	longitud
1	4 392-36-24		4	370 56169,01...
2	6 392-36-24		6	112 1709,58757
3	5 392-36-24		5	112 1709,58757
4	10 392-36-24		10	9 747,42805
5	7 392-36-24		7	112 1709,58757
6	11 392-36-24		11	47 559,41487

Figura 13. Tabla de atributos de la capa Errors_392-36-24.

Este script también genera listados de los errores que se han localizado.

Script 3

Antes de comenzar la corrección de errores, se crearán los marcadores con la localización de los errores para exportarlos como un DXF con el objeto de facilitar la corrección de las hojas en el entorno CAD. El resultado de ejecutar este script es una distribución de marcas circulares con un identificador numérico del tipo de error. En la Figura 14 se recogen distintas formas de visualizar las marcas de los errores detectados.

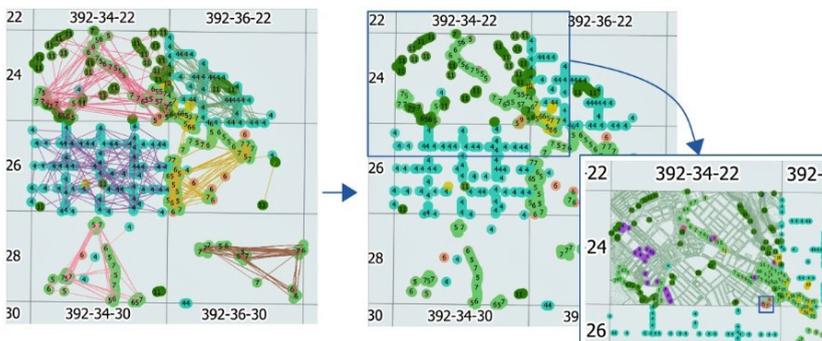


Figura 14. Visualización de las marcas de errores detectadas.

Exportación

Tras la ejecución de los scripts, el siguiente paso consiste en exportar las marcas como un fichero DXF. Este proceso no está automatizado porque se realiza a partir de una única petición y, de este modo, el técnico puede decidir si quiere exportar todas las marcas o seleccionar las que quiere tratar en ese momento, pudiendo repetir el proceso de exportación tantas veces quiera y modificando la selección de marcas según su propio criterio. También se pueden crear las marcas para una única hoja.

3.2. Ejemplo del procedimiento de corrección de errores

A modo de ejemplo se describe la realización de correcciones sobre las hojas tratadas en el apartado anterior. Las correcciones se realizan directamente sobre los ficheros DGN de MicroStation siguiendo los siguientes pasos:

1. Apertura del fichero con el resumen global de errores
Inspección del fichero resumen con el cómputo de errores, para identificar si hay errores que se puedan corregir de forma masiva.
2. Depuración de errores groseros en MicroStation
Por un lado, para el ejemplo planteado, es posible forzar la representación de los elementos para que sigan los atributos definidos por la capa que los contiene y corregir así los errores del tipo 5, 6 y 7 que en el presente ejemplo aparecen en cinco de las seis hojas procesadas. Con esta acción se eliminarán de forma masiva muchos de los errores detectados en las hojas. Por otro lado, podemos solventar el error tipo 4 (capas lineales con objetos de longitud cero) en las hojas en las que aparece. Se puede ejecutar una macro definida con VBA para eliminar este tipo de error y evitar localizar uno a uno dichos elementos residuales del dibujo.
3. Utilización de macros de limpieza de errores
En general, cuando el número de errores de un tipo sea alto, es muy recomendable disponer de herramientas que localicen los errores a partir de un listado y que se ejecute una acción para corregir el error de forma automática en el entorno CAD.
Para ello el técnico tendrá que preparar un listado con los identificadores de los elementos a tratar y ejecutar la macro correspondiente sobre las hojas que presenten ese error. El técnico podrá generar el listado desde el proyecto de QGIS filtrando los datos del error requerido en la capa de marcadores, y exportar un listado específico para cada hoja con la tipología de error y los identificadores pertinentes.
4. Creación de los nuevos ficheros DGN corregidos y re-ejecución del proceso de detección de errores en el QGIS
Después de las correcciones de errores realizadas en este ejemplo, se volverán a exportar los datos de estas hojas y a ejecutar nuevamente el proceso de detección de errores en QGIS. El hecho de trabajar con un fichero ya depurado permitirá al técnico municipal centrarse en los errores concretos que aparezcan en las hojas.

En la Figura 15 se ejemplifica el resultado de los errores detectados al ejecutar de nuevo el proceso de detección de errores.

5. Corrección de errores concretos en el entorno CAD (MicroStation)

En esta fase se corregirían los errores que no pueden ser automatizados mediante una macro. Para ellos se localizaría los errores del tipo 1 y 8, y se corregirán de forma manual y puntual (Figura 16).

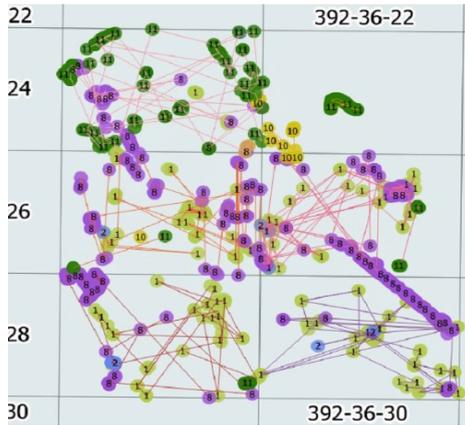


Figura 15. Resultado de la detección de errores, después de corregir los tipos 4 a 7.

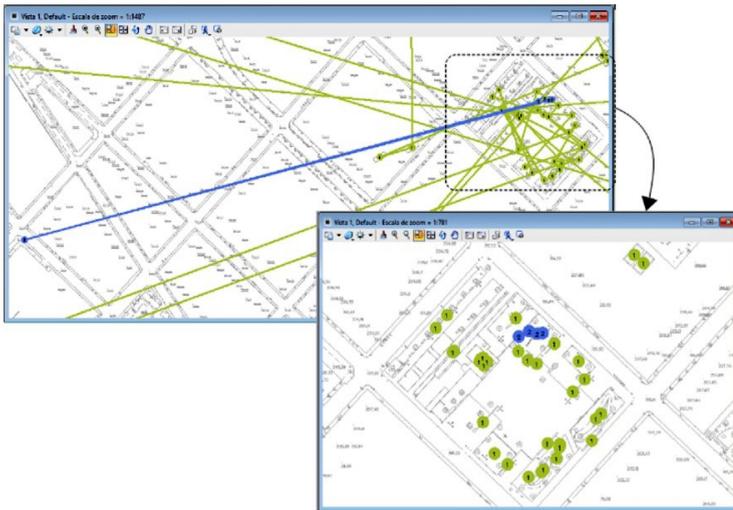


Figura 16. Localización de los errores del tipo 2 en la hoja 392-36-28.

6. Vuelta al paso 4 y repetición del proceso

En este punto, se volvería a realizar la exportación de datos de los DGN revisados para comprobar que el proceso de detección de errores ya no encuentra ningún tipo de error y, por lo tanto, las hojas han quedado revisadas y corregidas.

4. Conclusiones

El objetivo principal del artículo ha sido la automatización del proceso de control de calidad de una serie cartográfica al objeto de optimizar tiempos, recursos y evitar tareas repetitivas asociadas a la revisión manual. Para ello se ha establecido una metodología que permite definir las condiciones que deberían cumplir los elementos representados en la cartografía y localizar aquellos que no siguen la norma. El procedimiento de control de calidad definido se puede ejecutar de forma global sobre todas las hojas de la serie cartográfica o sobre aquellas hojas que se han modificado para ajustarlas a la realidad del territorio y detectar si se han producido errores durante el proceso de actualización.

Se ha tratado de que los técnicos intervengan lo mínimo en la detección de errores y se liberen de la preparación de los datos de control, que quedan establecidos en la fase inicial del proyecto. En este sentido, el técnico únicamente debe indicar las hojas sobre las que quiere ejecutar el proceso y realizar la corrección a partir de los ficheros resultantes del proceso de detección de errores. Una vez que los técnicos han corregido las hojas según las marcas de errores, se puede volver a pasar el proceso de control de calidad sobre las hojas revisadas para garantizar que se han corregido todos los errores detectados inicialmente. En todo caso, debería repetirse este proceso tantas veces como fuera necesario hasta que los ficheros resultantes del proceso indiquen que no se detecta ningún tipo de error y que las hojas han quedado completamente limpias.

Al aplicar este proceso de control, se reduce el tiempo de ejecución de la revisión de errores de la serie cartográfica ya que hay varios procesos que se pueden ejecutar por lotes. En términos generales, se calcula que los tiempos de detección de errores se han reducido considerablemente, estimándose empíricamente en un 80%, garantizando que no se producen descuidos y que se revisa por igual todos los tipos de error definidos en toda la serie o hojas procesadas. Los técnicos ahorran tiempo ya que con el nuevo proceso se agrupan fases de trabajo y se evitan secuencias de trabajo encanadas y repetitivas eliminándose descuidos y errores.

Además, el fichero resumen de errores permite decidir la técnica de corrección a aplicar. Estas técnicas de corrección pueden llevarse a cabo bien corrigiendo los errores detectados mediante procesos de limpieza predefinidos, o bien de forma concreta cuando hay pocas apariciones de un tipo de error y el técnico decide realizar la corrección de forma manual apoyándose en la geolocalización de estos errores.

En el presente acercamiento se han definido once tipologías de error, pero es susceptible de ser fácilmente escalado. No obstante, con estas once categorías

de error se ha demostrado la viabilidad de utilizar el entorno SIG para definir un proceso de control de calidad y de la metodología establecida.

A modo de perspectivas futuras, los ficheros de errores resultantes, se podrían utilizar para evaluar otras medidas de calidad. Por ejemplo, cruzando la información obtenida con los editores de cada hoja cartográfica, se podría detectar si se producen errores sistemáticos asociados a un editor concreto o si es un error generalizado y se repite por todos los editores de cartografía, cosa que podría alertar de algún problema con la plantilla de trabajo u otras casuísticas. Es decir, analizando los ficheros de errores se podrían identificar componentes que afectan a la calidad cartográfica y aplicar medidas de corrección o definir actuaciones o procedimientos de trabajo para reducir la generación de errores y mejorar la calidad del producto final.

También se podría utilizar el SIG para identificar otras medidas de calidad. Por ejemplo, se podría obtener un listado de los distintos textos que se encuentran en el fichero. No solo para garantizar que el formato de los textos es el esperado en el caso de elementos genéricos que se utilizan para etiquetar estaciones transformadoras, rampas, etc., sino para conocer las toponimias específicas que hay en el dibujo y validar si su localización es correcta, etc.

Por todo lo expuesto se concluye que la migración del control de calidad al SIG para agilizar el proceso de detección y corrección de errores en series cartográficas es muy conveniente. La versatilidad, flexibilidad y escalabilidad de la metodología planteada, así como los futuros desarrollos apuntados, que pueden complementar lo expuesto en este artículo, le atribuyen un alto potencial de mejora para la gestión cartográfica de las corporaciones municipales.

Agradecimientos

Al Ayuntamiento de Sabadell por facilitar el acceso a las series cartográficas y a sus especificaciones técnicas, en especial a la sección de Cartografía del Servicio de Información de Base.

Bibliografía

- Ariza, F. J., & Rodríguez, A. F. (2018). Calidad en datos geográficos, geoservicios y productores de datos: análisis crítico. *Revista Cartográfica*, 97, 105-143.
<https://doi.org/10.35424/rcarto.i97.178>
- Ariza-López, F. J. (Ed.) (2013). *Fundamentos de evaluación de la calidad de la información geográfica*. Jaén, España. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Jaén.
- Bentley Systems (2020). Microstation V8i.
 Recuperado de: <https://www.bentley.com/es/products/brands/microstation>
- Comissió de Coordinació Cartogràfica de Catalunya (2016). *Plec d'especificacions tècniques per a l'elaboració de cartografia topogràfica 2D i 3D a escala 1:500 (CT-5C) v2.0*.
 Recuperado de:
<https://www.icgc.cat/index.php/content/download/58677/408654/version/15/file/topografia-500-v2r0-esp-02ca-20161101.pdf>
- Diario Oficial de la Generalitat de Catalunya. (2010). Decreto 62/2010, de 18 de mayo, por el que se aprueba el Plan Cartográfico de Cataluña. Recuperado de:

https://dogc.gencat.cat/es/pdogc_canals_interns/pdogc_resultats_fitxa/?action=fitxa&documentId=542412&language=es_ES

Gallego-Priego, M. (2017). Aplicación de los fundamentos de las infraestructuras de datos espaciales en la construcción de sistemas de información geográfica corporativos. Tesis doctoral, Universidad de Salamanca, Ávila.

QGIS Development Team (2020). QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. Recuperado de <http://qgis.osgeo.org>

Análisis de la evaluación de daños en edificios basada en imágenes de satélite y aéreas en el ámbito de *Copernicus EMS Mapping*

Analysis of building damage assessment based on satellite and aerial imagery in the scope of *Copernicus EMS Mapping*

Raquel Ciriza Labiano,¹ Uxue Donezar-Hoyos,²
M^a Esperanza Amezketa Lizarraga,³ Fermín Ros Elso,⁴
Teresa de Blas Corral,⁵ Agustín Tames Noriega,⁶
Marco Broglia,⁷ Alan Steel,⁸
Iban Amezttoy,⁹ Paola Rufolo¹⁰

Recibido 30 de enero de 2021; aceptado 26 de abril de 2021

RESUMEN

El Servicio de Gestión de Emergencias de Copernicus (*Copernicus EMS* del inglés, *Copernicus Emergency Management Service*) es un programa financiado con fondos públicos de la Unión Europea y coordinado por la Comisión Europea que proporciona a todos los actores involucrados en la gestión de desastres naturales,

¹ Tracasa, España, correo electrónico: rciriza@tracasa.es. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2908-8216>

² Tracasa, España, correo electrónico: udonezar@tracasa.es. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5069-9698>

³ Tracasa, España, correo electrónico: eamezqueta@tracasa.es. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0512-4531>

⁴ Tracasa, España, correo electrónico: fros@tracasa.es. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6095-6472>

⁵ Tracasa, España, correo electrónico: tblas@tracasa.es. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3854-4068>

⁶ Tracasa, España, correo electrónico: agustintames@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9271-8284>

⁷ European Commission, Joint Research Centre (JRC), Italia, correo electrónico: Marco.BROGLIA@ec.europa.eu. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5306-6466>

⁸ Uni Systems, Italia, correo electrónico: Alan.STEEL@ext.ec.europa.eu. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0589-6937>

⁹ Seidor, Italia, correo electrónico: Iban.AMEZTOY@ext.ec.europa.eu. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3926-6450>

¹⁰ Fincons group, Italia, correo electrónico: Paola.RUFOLLO@ext.ec.europa.eu. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8901-5492>

situaciones de emergencia y crisis humanitarias información geoespacial, principalmente basada en imágenes de satélite. Incluye componentes de Alerta temprana y Monitoreo, y de Mapeo con un módulo de Validación encargado de la evaluación de la calidad de los productos y el fomento de su mejora, en el marco del cual se realizó este estudio. Dentro del portafolio de productos de mapeo, los productos de clasificación de daños tienen como objetivo evaluar la intensidad y distribución espacial del daño resultante de un evento en edificios, bloques de viviendas o usos del suelo. Las categorías de daños para edificios y bloques de viviendas se definieron inicialmente con base en la Escala Macrosísmica Europea-1998 (EMS-98, del inglés *European Macroseismic Scale*).

Este artículo muestra la función doble del módulo de validación. Por un lado, el artículo muestra los resultados de la validación de cuatro mapas de daños en edificios realizados por *Copernicus EMS* y por otro analiza la aptitud de la Escala Macrosísmica Europea (EMS-98), concebida para asignar daño *in situ*, para categorizar daño en edificios a partir de distintos tipos de imágenes (imágenes de satélite, imágenes oblicuas y ortofotos). La principal conclusión es que las categorías EMS-98 no se pueden traducir directamente para la evaluación de daños con base en imágenes de satélite y, en su lugar, se podría utilizar un enfoque operativo, en línea con estudios anteriores.

Palabras clave: Copernicus, emergencias, Rapid Mapping, EMS-98, daño en edificios, categorías de daño, gradiente de daño.

ABSTRACT

The Copernicus Emergency Management Service (EMS) is a publicly funded programme of the European Union, coordinated by the European Commission that provides all the actors involved in the management of natural disasters, man-made emergency situations, and humanitarian crises with geospatial information, mainly based on satellite imagery. It includes an Early Warning and Monitoring system and a Mapping component with a Validation module. The latter assesses the quality of EMS products and fosters the improvement of the EMS, in the scope of which this study was carried out. Within the Mapping portfolio, grading products aim to evaluate the intensity and spatial distribution of the damage resulting from an event, assessed for different features, such as settlements, building blocks, transport network or land-uses. Damage categories for settlements and building blocks were initially defined and based on the European Macroseismic Scale-1998 (EMS-98). This article shows the double function of the validation module. On the one hand, this article shows the results of the validation of four building damage maps carried out by Copernicus EMS, on the other, analyses the aptitude of the European Macroseismic Scale (EMS-98), defined to assign damage *in situ*, to categorize damage to buildings from different types of images (satellite images, oblique images and orthophotos). The main conclusion is that the EMS-98 categories cannot be directly interpreted for

damage assessment based on satellite imagery and an operational approach could be used instead, in line with previous studies.

Key words: Copernicus, *emergencies*, Rapid Mapping, *EMS-98*, *settlements*, *damage grading*, *damage categories*.

1. Introducción

Este apartado presenta, en dos sub-apartados respectivamente, (1) el Servicio de Gestión de Emergencias de Copernicus: qué es, qué componentes tiene y cómo funciona, y (2) los productos de clasificación de daños generados dentro de dicho servicio: cuáles son, cómo se generan y la leyenda que poseen. Adicionalmente, se presenta un breve resumen sobre el tema de este artículo.

1.1. El Servicio *Copernicus EMS*

El Servicio de Gestión de Emergencias de Copernicus, es un programa de la Unión Europea de financiación pública, coordinado por la Comisión Europea que “provee de información geoespacial precisa y oportuna a todos los actores involucrados en la gestión de emergencias, en desastres bien sean naturales o producidos por el hombre, o en crisis humanitarias” (Copernicus EMS, 2017a). El servicio consta de los componentes de Alerta temprana y Monitoreo y de Mapeo.

El componente de alerta temprana y monitoreo incluye tres sistemas: Sistema Europeo de Alerta ante Inundaciones (*European Flood Awareness System*, EFAS), Sistema Europeo de Información de Incendios Forestales (*European Forest Fire Information System*, EFFIS) y Observatorio Europeo de la Sequía (*European Drought Observatory*, EDO), que proporcionan información de predicción y monitorización de inundaciones, incendios forestales, sequías y sus impactos ecológicos respectivamente, en Europa, Oriente Medio y Norte de África. De los tres, EFAS es el único con acceso restringido, mientras que los demás disponen de visores desde los cuales es posible consultar y descargar información (Copernicus EMS, 2017b). Los tres se extienden a escala global: Sistema Global de Alerta ante Inundaciones (*Global Flood Awareness System*, GloFAS), Sistema Global de Información de Incendios Forestales (*Global Wildfire Information System*, GWIS), y Observatorio Global de la Sequía (*Global Drought Observatory*, GDO).

El componente de mapeo proporciona información geoespacial en dos modos temporales: de Mapeo Rápido (RM, del inglés *Rapid Mapping*) en el rango de las horas o días tras la activación en apoyo de las actividades de gestión de emergencias inmediatamente después de un desastre, y de Mapeo de Riesgos y Recuperación (RRM del inglés, *Risk and Recovery Mapping*) en apoyo de actividades de gestión de desastres no relacionadas con la respuesta inmediata. Cada petición formulada por los Usuarios Autorizados es estudiada por el Centro de Coordinación de Respuesta a Emergencias (ERCC, del inglés *Emergency Response Coordination Centre*) y si es aprobada resulta en una activación. En el marco de ésta, se adquieren principalmente imágenes de satélite y se crea para

las Áreas de Interés (AOI, del inglés *Area of Interest*) definidas por los usuarios la información de crisis, que puede ser de diferente naturaleza, tales como categorización de daños a edificios, delimitación de inundación, o delimitación de zona quemada, etc. El componente de mapeo incluye también un módulo de validación, *Copernicus EMS Validation Service* o *Copernicus EMSV* que, en el marco de la mejora continua del servicio, valida productos, investiga datos y métodos que se podrían usar en la creación de productos y recopila las opiniones de los usuarios para detectar puntos de mejora (Copernicus EMS, 2018).

El componente de mapeo de *Copernicus EMS* se activa bajo demanda de un Usuario Autorizado incluido en una de las siguientes categorías: (I) Puntos de Enlace Nacionales (del inglés *National Focal Points*), que son las autoridades de Protección Civil de los Estados Miembros; (II) Servicios de la Unión Europea como la Dirección General de Protección Civil y Ayuda Humanitaria (DG ECHO, del inglés *Directorate General for European Civil Protection and Humanitarian Aid Operations*) o la Dirección General de Industria de Defensa y Espacio (DEFIS, del inglés *Directorate General for Defence Industry and Space*); y (III) El Servicio Europeo para la Acción Externa (EEAS, del inglés *European External Action Service*). En la DG ECHO, el ERCC actúa como punto de enlace de otras entidades, por ejemplo, de agencias de las Naciones Unidas, ONGs internacionales, y el Banco Mundial, para solicitar activaciones de *Copernicus EMS* en su nombre.

Finalmente, merece la pena resaltar que existen sistemas alternativos a Copernicus EMS que generan mapas de crisis para la ayuda en la gestión de emergencias, como *International Charter Space and Major Disasters*, *United Nations Platform for Space-based Information for Disaster Management and Emergency Response*, *Sentinel Asia*, *SERVIR* (Boccardo, 2013), *German Center for satellite-based crisis Information*, etc. (Cotrufo et al., 2018).

1.2. Los productos de clasificación de daños dentro de Copernicus EMS

Dentro del portafolio de productos RM y RRM, los productos de clasificación de daños, conocidos como *Grading Maps*, tienen como objetivo evaluar la intensidad y distribución espacial del daño resultante de un evento en edificios, bloques de viviendas o usos del suelo. Pueden basarse, entre otros, en la fotointerpretación de imágenes o en la implementación de umbrales de índices de vegetación en el caso de las categorías de clasificación de incendios. El método más habitualmente usado para asignar categorías de daños a edificios o a manzanas de edificios se basa en la fotointerpretación de imágenes tanto aéreas como satelitales de muy alta resolución (VHR, del inglés *Very High Resolution*). Para el caso analizado en este artículo, las categorías de daños se han basado en la Escala Macrosísmica Europea-1998 (EMS-98) (Grünthal & Lorenzo Martín, 2009) que describe la escala de daños para edificios tras un terremoto. Esta escala se basa en el análisis general *in situ* de los edificios, teniendo en cuenta los daños a la estructura, tejado y fachada, y partiendo de una información sobre el estado del edificio previo al evento. Las Figuras 1a y 1b muestran las diferentes categorías de daños considerados por la EMS-98 junto con una descripción gráfica de los mismos.



Grado 1: Sin daños a daños leves (sin daño estructural, daño no estructural leve)

Grietas muy delgadas en muy pocos muros. Caída de pequeños pedazos de enlucido o enfoscado. Caída de rocas sueltas desde la parte alta de edificios en muy pocos casos.



Grado 2: Daños moderados (daño estructural leve, daño no estructural moderado)

Grietas en muchos muros. Caída de pedazos grandes de guarnecido. Colapso parcial de chimeneas.



Grado 3: Daños sustanciales a severos (daño estructural moderado, daño no estructural severo)

Grietas largas y extensas en casi todos los muros. Caída de tejas. Fractura de las chimeneas en la línea del techo; fallo de los elementos individuales no estructurales (particiones, frontones).



Grado 4: Daños muy severos , (daño estructural severo, daño no estructural muy severo)

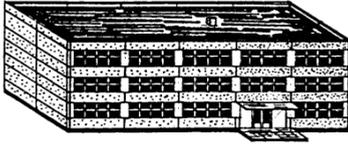
Fallo serio de los muros; fallo estructural parcial de techos y pisos.



Grado 5: Destrucción (daño estructural muy severo)

Colapso total o casi total.

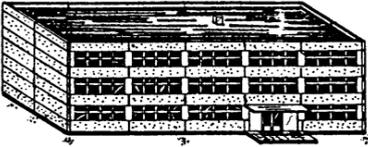
Figura 1a. Categorías y descripción de daños en edificios de mampostería según la EMS-98. Fuente: Grünthal & Lorenzo Martín, 2009.



Grado 1: Sin daños a daños leve (sin daño estructural, daño no estructural leve)

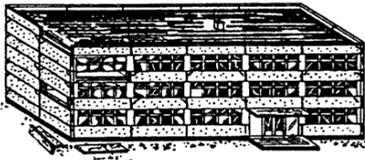
Grietas delgadas en el guarnecido sobre elementos de la estructura o en la base de los muros.

Grietas delgadas en particiones y tabiques.



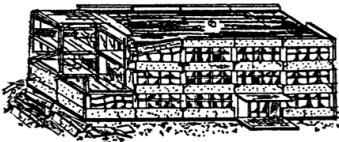
Grado 2: Daños moderados (daño estructural leve, daño no estructural moderado)

Grietas en columnas y vigas y en muros estructurales. Grietas en particiones y tabiques; caída de revestimiento frágil y guarnecido. Caída de mortero en las uniones de paneles de muros.



Grado 3: Daños sustanciales a severos (daño estructural moderado, daño no estructural severo)

Grietas en columnas y uniones entre columnas y vigas de la estructura en la base y en las uniones de muros acoplados. Desconchamiento del revestimiento de hormigón, torcedura de varillas de refuerzo. Grandes grietas en muros de particiones y en tabiques, fallo de tabiques individuales.



Grado 4: Daños muy severos (daño estructural severo, daño no estructural muy severo)

Grandes grietas en elementos estructurales con fallo por compresión de hormigón y fractura de barras corrugadas; Fallos en la junta de vigas reforzadas; inclinación de columnas. Colapso de algunas columnas o de un único piso superior.



Grado 5: Destrucción (daño estructural muy severo)

Colapso de la planta baja o de partes de edificios (por ejemplo alas).

Figura 1b. Categorías y descripción de daños en edificios de hormigón armado según la EMS-98.

Fuente: Grünthal & Lorenzo Martín, 2009.

A pesar de que los productos *Copernicus EMS* no tienen como objetivo dar una asignación de daños basada en trabajo de campo, las categorías descritas en la EMS-98 fueron adaptadas e incluidas en el Manual de Usuarios de Productos (PUM, del inglés *Product User Manual*) (Dorati *et al.*, 2018) como una primera aproximación para la asignación de daños, estableciendo las categorías incluidas en la Tabla 1.

El servicio *Copernicus EMS* introdujo una categoría no contemplada, *Posibles daños*, para incluir en ella aquellos casos en los que las limitaciones de la fotointerpretación de las imágenes de satélite (fuente habitual de los productos de clasificación de daño) no permitieran asignar una categoría de daño con un alto nivel de confianza.

A estas categorías, dicho servicio añade la categoría *No analizado* para aquellos edificios a los que no se les puede asignar daño porque las características de la imagen usada no lo permitan, bien sea debido a la cobertura nubosa, bien a ángulos de adquisición muy altos.

Tabla 1. Comparación de clases EMS-98 y *Copernicus EMS* para la asignación de daños aparentemente visibles

Clases Copernicus EMS	Clases EMS-98
No daño	Grado 0: No daño.
Posibles daños	Para aquellos casos en los que la confianza en la interpretación de los daños es baja (por ejemplo debido a la calidad de la imagen).
Daños insignificantes o leves*	Grado 1: Daños insignificantes o leves. No hay daño estructural, o hay ligeros daños no estructurales.
Daños moderados	Grado 2: Daño moderado. Daño estructural leve o daño no estructural moderado.
Daños graves	Grado 4: Daños muy graves. Daño estructural grave o daños no estructurales muy graves.
Destruído	Grado 5: Destrucción. Daños estructurales muy graves.

* Aunque el documento *Mapping Guidelines* aplicable en el momento de ejecución de la EMSR177 indicaba que esta categoría debía ser Posibles daños los productos analizados incluían la categoría *Daños insignificantes o leves*, Broglia *et al.*, 2013.

Corbane *et al.* (2011a y 2011b), Lemoine *et al.* (2013), y Cotrufo *et al.* (2018) son ejemplos de trabajos que analizan evaluaciones de daños a edificios basadas en análisis de imágenes post-evento utilizando datos de referencia de múltiples fuentes.

El trabajo que se presenta en este artículo muestra la función múltiple de *Copernicus EMSV*: validación y mejora continua de *Copernicus EMS*. El artículo muestra los resultados de la validación de cuatro mapas de daños en edificios

realizados por *RM Copernicus EMS* por un lado, y el análisis de la implementación de la EMS-98 en la creación de productos de clasificación de daños, así como la influencia de la fuente de datos en la asignación de daños a edificios por el otro. Para ello, se analizaron diferentes fuentes de datos disponibles para discriminar por fotointerpretación las diferentes categorías de daño con el objetivo de analizar las posibilidades que cada una de las fuentes de datos ofrece para crear clasificaciones de daños, tal y como estaban definidas en el portafolio de productos de *Copernicus EMS* (Tabla 1).

Por último, y con el objetivo de analizar la subjetividad en la fotointerpretación de las categorías intermedias de daño, las validaciones se llevaron a cabo considerando las cinco categorías de daño originales de los productos y usando solamente tres categorías de daño. Para ellos se agruparon las categorías originales, *Daños insignificantes o leves*, *Daños moderados* y *Daños muy graves*, en una única categoría, *Dañado*.

2. Material y método

Este apartado presenta tres sub-apartados en los que se muestra (1) el área de estudio, (2) el material utilizado (fuentes de datos), y (3) el método utilizado.

2.1. Área de estudio

El área analizada la conforman 157 edificios de dos núcleos urbanos, Accumoli y Arquata del Tronto, afectados por el terremoto de 2016 en el centro de Italia (INGV, 2016), que fueron analizados en el marco de una activación de *Copernicus EMS Rapid Mapping*, la EMSR177 (Copernicus EMS, 2016).

La Tabla 2 y la Figura 2 muestran el número de edificios considerados en el estudio para cada AOI y su distribución espacial.

Tabla 2. Área de estudio y productos analizados

AOI	Núm. de edificios	Núm. de productos EMS analizados	Fuente de datos para los productos*
01 Accumoli	78	2	Imagen de satélite Ortofoto
02 Arquata dl Tronto	79	2	Imagen de satélite Ortofoto
Total	157	4	—

* Véase Tabla 3 para más información sobre las fuentes de datos utilizadas.

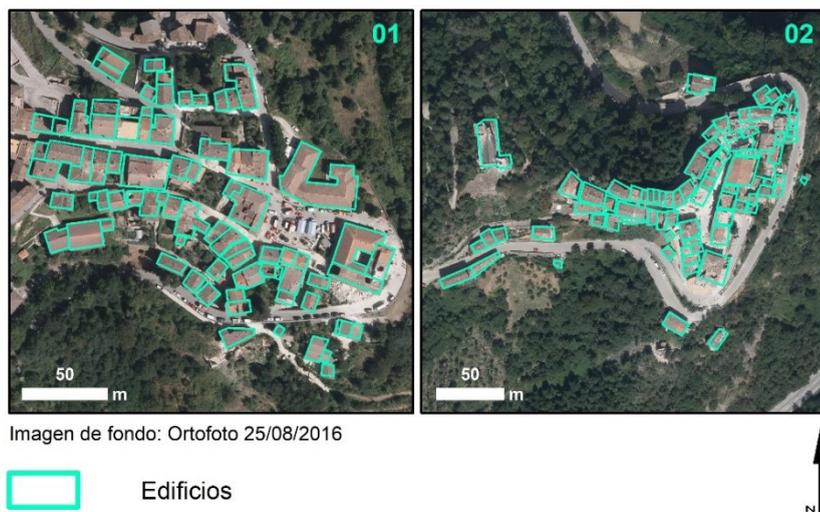


Figura 2. Edificios considerados en el estudio.

2.2. Material

Este sub-apartado presenta las fuentes de datos utilizadas en el trabajo, diferenciando entre información vectorial y raster.

Información vectorial

Se validan un total de cuatro productos (*Grading maps*, Tabla 2) realizados en dos AOIs en el marco de una activación de *Copernicus EMS Rapid Mapping*, la EMSR177 (*Copernicus EMS*, 2016), en respuesta a un terremoto de magnitud 6 en la escala Richter ocurrido el 24 de agosto de 2016 en Italia (INGV, 2016), que afectó a las regiones del Lazio, Abruzzo y Umbría. Dicha activación incluyó en origen el estudio de 33 AOIs y la creación de productos de asignación de daños basados en imágenes de diferentes características, entre ellas una imagen de satélite VHR, WorldView-2, y una imagen aérea, captadas el mismo día, el 25 de agosto de 2016. Tanto la imagen de satélite como la aérea cubren toda la zona y sus características están incluidas en la Tabla 3. En el presente estudio no se analizaron todos los edificios de cada uno de los núcleos, sino que el análisis se restringió a los edificios muestreados en el trabajo de campo, ver el punto 2.3 del documento.

La asignación de daños mostrada en los productos *Copernicus EMS* se realizó sobre la información relacionada con edificios disponible en *Open Street Map* (OSM) (OpenStreetMap contributors, 2015). Estos datos se usaron en este estudio sin editar los posibles errores en los edificios del OSM, ya que el objetivo no era estudiar la adecuación de los edificios incluidos en el OSM respecto a la realidad, sino los daños asignados a esos edificios.

Información raster

El estudio incluyó el uso de imágenes de satélite, aéreas, oblicuas y fotos e informes hechos en campo. La Tabla 3 incluye las características de los datos que se consideraron en el estudio, así como la fuente que los proporcionó.

Tabla 3. Fuentes de datos consideradas en el estudio

<i>Dato</i>	<i>Adquisición respecto al evento</i>	<i>Fecha de adquisición (hora en UTC)</i>	<i>Resolución espacial (m)</i>	<i>Fuente</i>
Ortofoto	Pre-evento	2013-2014	0.4	CONSORZIO TeA (formado por e-geos S.p.A. – CGR S.p.A. – Aerodata Italia sr)
Ortofoto		25/08/2016 (10:00)	0.1	Compagnia Generale Ripresearee, S.P.A. (CGR)
WorldView-2	Pre-evento	25/08/2016 (09:45)	0.5	© Digital Globe, Inc. 2016 proporcionado bajo COPERNICUS por la Unión Europea, ESA y <i>European Space Imaging</i>
Ortoimágenes e imágenes oblicuas		26/08/2016	No aplica	Blom

La ortofoto pre-evento se usó como base tanto para la creación de los productos *Copernicus EMS* como para la creación de las capas en el marco de este estudio.

La ortofoto y la imagen WorldView-2 post-evento adquiridas el 25 de agosto de 2016 cubren los dos AOIs y se usaron para la creación de los productos. La imagen presenta aproximadamente un 10% de cobertura nubosa, que afecta totalmente a uno de los dos AOIs, 02 Arquata del Tronto, impidiendo en él la asignación de daños basada en imagen de satélite. El ángulo de adquisición de la imagen WorldView-2 es de aproximadamente 26° para 01 Accumoli, lo que provoca distorsiones que dificultan la fotointerpretación y asignación de daños.

Las ortoimágenes e imágenes oblicuas fueron adquiridas el 26 de agosto de 2016 por una empresa privada que facilitó el acceso temporal a las mismas a través de un visor, acceso que actualmente no está disponible. Este visor permitía la navegación y visualización de imágenes oblicuas adquiridas desde diferentes puntos de vista, permitiendo ver los posibles daños a edificios desde perspectivas distintas, lo que aumentó el grado de fiabilidad a la hora de clasificar los daños. La Figura 3 muestra un ejemplo tomado del AOI 01, con

la imagen post-evento cenital en el centro y las imágenes oblicuas adquiridas desde los cuatro puntos cardinales en las otras cuatro ventanas. Nótese que el punto cardinal incluido en la figura indica aquel hacia el cual se tomó la foto, significando que la imagen marcada como norte, N, es una foto que muestra las fachadas de los edificios orientadas hacia el sur. El visor permitía hacer búsquedas y acercar o alejar la vista, aunque no permitía cargar la capa de edificios ni localizar la posición de las fotografías con respecto a los mismos. Por esa razón, la equivalencia entre lo visible en las fotos y los edificios incluidos en la muestra debió hacerse de forma manual. En ambos AOIs se contó con imágenes cenitales y orientadas a los cuatro puntos cardinales para todos los edificios analizados.

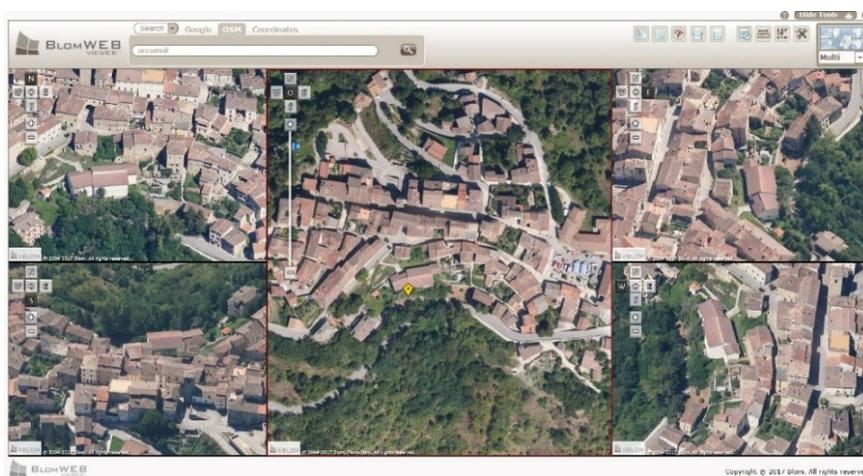


Figura 3. Diferentes perspectivas de los edificios disponibles en el visor.
Fuente: Blom Web Viewer, 2011.

2.3. Método

Este sub-apartado presenta, en primer lugar, como se crearon los datos y posteriormente como se compararon dichos datos y para qué. La Figura 4 resume los siete tipos de datos creados a partir de las fuentes mencionadas en el sub-apartado anterior, y muestra las comparaciones realizadas para (1) validar los productos *Copernicus EMS* (2) y analizar la influencia de la fuente de datos en la asignación de daños.

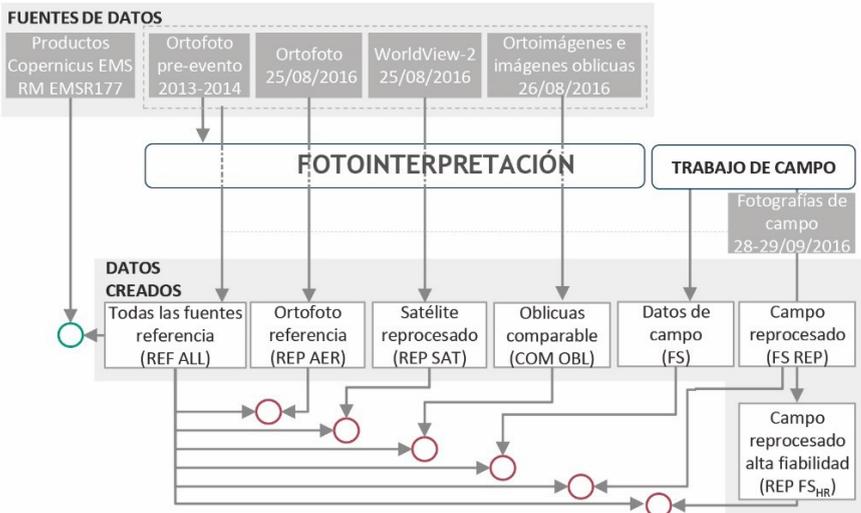


Figura 4. Fuentes de datos, datos creados y comparaciones realizadas para validar los productos *Copernicus EMS* (marcado con un círculo verde) y analizar la influencia de la fuente de datos en la asignación de daños siguiendo la escala EMS-98 (marcado con un círculo rojo).

Creación de datos

Se crearon un total de siete capas con base en diferentes tipos de información. La capa *Datos de campo* (FS) se generó acorde a las definiciones de la EMS-98 incluidas en la Tabla 1, y con base en los daños observados *in situ* durante el trabajo de campo realizado por el equipo de *Copernicus EMSV*, los días 28 y 29 de septiembre de 2016. La ortofoto post-evento fue ocasionalmente usada para poder comprobar los daños visibles sólo en la vista cenital. Para cada edificio muestreado, se tomaron tantas fotos como se consideró necesario para justificar la categoría de daño asignada, especialmente en casos en los que se asignaron categorías bajas de daño, pero en cualquier modo intentando tener fotos de cada una de las fachadas de los edificios.

Durante el trabajo en gabinete, se revisaron las asignaciones y se eliminaron de la muestra aquellos edificios cuya asignación de daño no concordaba con las fotos tomadas en campo o que presentaban diferencias notables entre lo visible en la ortofoto post-evento y lo visible en las fotos tomadas en campo, como por ejemplo aquellos casos en los que un determinado edificio se demolió en el intervalo entre el terremoto y el trabajo de campo por daños estructurales graves. La capa *Campo reprocesado* (FS REP) se realizó mediante el reanálisis de daños por parte de técnicos que no habían participado en el trabajo de campo con base en las fotos adquiridas en campo. Por último, *Campo reprocesado alta fiabilidad*, llamado REP FS_{HR}, se creó con el fin de investigar

las limitaciones del trabajo de campo en la asignación de daños en aquellos edificios que tienen difícil acceso. Esta última capa de información se basó en la capa *Campo reprocesado*, de la que se eliminaron los edificios que durante la visita a campo fueron marcados como “Baja fiabilidad” debido a las dificultades para la asignación del daño o para acceder a los mismos.

Por otro lado, se crearon tres capas de asignación de daños con base en las diferentes fuentes de datos mostrados en la Tabla 3, denominadas de *reprocesado* o *comparables*. Los datos reprocesados (*Satélite reprocesado*, REP SAT y *Ortofoto reprocesado*, REP AER), se refieren a aquellos datos creados usando la misma fuente de datos usada para realizar los productos *Copernicus EMS*. El dato tipo *comparable* (*Oblicuas comparable*, COM OBL), se refiere a una asignación de daños creada sobre una fuente de datos de características y calidad similares a la de los datos usados para crear los productos bajo validación. Estas tres capas se crearon por fotointerpretación de la información disponible, trabajando técnicos con amplia experiencia simultáneamente de forma independiente. Previo a la fotointerpretación, se establecieron criterios para asignar daños según el tipo de dato, es decir, que con base en cada uno de los datos se buscaron ejemplos de cada una de las categorías de daño. De esta forma, se evitó, en la medida de lo posible, que la asignación de daños de cada técnico se viera influida por la asignación de los demás, o que la experiencia adquirida en la creación de una capa influyera en otra.

Por último, se realizó la capa *Todas las fuentes referencia*, designada REF ALL, usando todos los datos disponibles en la asignación de daños de cada uno de los edificios considerados. Esta capa puede considerarse de *referencia* en la validación de los productos *Copernicus EMS* analizados en este artículo por estar creada con base en datos de calidad superior a los usados por el servicio de mapeo. A la hora de asignar los daños a los edificios en esta capa, se incluyó información respecto a la fuente de datos que había sido necesaria consultar para poder hacer esa asignación. El objetivo era poder luego analizar qué fuente de datos aportaba más o menos información en la asignación de cada una de las categorías de daño.

Comparación de datos

Los productos *Copernicus EMS* bajo validación y las capas creadas se compararon contra la capa de referencia REF ALL por medio de matrices de confusión. En cada cruce, se calcularon los porcentajes de omisión y comisión por categoría, la exactitud global y el coeficiente kappa (Chuvienco, 2002). La validación se realizó de acuerdo al protocolo vigente en momento de ejecución del presente análisis (Broglia *et al.*, 2010). En la Figura 4 se muestran los cruces realizados. Con un círculo verde se identifica la comparación que permite la validación de los productos *Copernicus EMS*, mientras que con un círculo rojo se marcan las comparaciones realizadas para analizar la influencia de la fuente de datos en la asignación de daños siguiendo la escala EMS-98.

De forma complementaria, se analizó la subjetividad en la fotointerpretación de las categorías intermedias de daño. La falta de una guía de fotointerpretación

en el marco del componente de mapeo que definiera las categorías descritas en la Tabla 1 con base en imágenes de satélite, hacía presuponer un cierto grado de subjetividad en la asignación de daño, lo que podía resultar en discrepancias debidas a diferencias de criterio de los foto-intérpretes. Para ello se estudió el efecto que producía en los resultados de las validaciones considerar las cinco categorías de daño originales de los productos o agrupándolas en tres. Este estudio se hizo sin volver a clasificar los edificios, para ellos se agruparon las categorías originales, *Daños insignificantes o leves*, *Daños moderados* y *Daños muy graves*, en una única categoría, *Dañado* (Tabla 4).

Tabla 4. Reclasificación de las cinco categorías originales en tres categorías de daño

<i>Clasificación cinco categorías de daño</i>	<i>Clasificación tres categorías de daño</i>
<i>No daño (ND)</i>	<i>No daño (ND)</i>
<i>Daños insignificantes o leves (DIL)</i>	
<i>Daños moderados (DM)</i>	<i>Dañado (D)</i>
<i>Daños muy graves (DG)</i>	
<i>Destruído (DS)</i>	<i>Destruído (DS)</i>

Para aquellos casos en los que la asignación de daños no era posible debido a la cobertura nubosa de la imagen de satélite, se usó la categoría *No analizado* (Na).

3. Resultados

Este apartado muestra, en los dos siguiente sub-apartados, los principales resultados obtenidos en: (1) la validación de los productos Copernicus EMS (comparación de EMS SAT y EMS AER vs. REF ALL) y (2) el análisis de la influencia de la fuente de datos en la asignación de daños siguiendo la escala EMS-98, concretamente en la validación de (i) las capas de reprocesado REP SAT y REP AER, (ii) la capa comparable COM OBL, (iii) las capas creadas con base en el trabajo de campo (FS, REP FS, y REP FS_{HR}) en todos los casos respecto a REF ALL.

3.1. Resultados de la validación de los productos Copernicus EMS

La Tabla 5 y la Tabla 6 muestran los resultados de las matrices de confusión de los productos Copernicus EMS contra la capa de referencia basada en todas las fuentes de datos, considerando cinco o tres categorías de daño.

Tabla 5. Resultados de la validación de los productos *Copernicus EMS* creados con base en imagen de satélite (EMS SAT) y ortofoto post-evento (EMS AER) contra la referencia REF ALL considerando cinco categorías de daño

REF ALL	EMS SAT				EMS AER				
	C%	O%	OA%	k	C%	O%	OA%	k	
01 Accumoli	DS	-	-	15	0.01	100	-	28	0.11
	DG	0	97			0	70		
	DM	-	100			100	100		
	DIL	-	100			95	94		
	ND	86	0			79	0		
02 Arquata del Tronto	DS	-	100	6	0.01	0	17	18	0.09
	DG	0	98			25	94		
	DM	-	100			100	100		
	DIL	-	100			85	83		
	ND	95	0			93	0		
	Na	100	-			No aplica			

C=error de comisión; O= error de omisión; OA= exactitud global; κ= coeficiente kappa.

Tabla 6. Resultados de la validación de los productos *Copernicus EMS* creados con base en imagen de satélite (EMS SAT) y ortofoto post-evento (EMS AER) contra la referencia REF ALL considerando tres categorías de daño

REF ALL	EMS SAT				EMS AER				
	C%	O%	OA%	k	C%	O%	OA%	k	
01 Accumoli	DS	-	-	15	0.00	100	-	45	0.14
	D	0	99			0	64		
	ND	86	0			79	0		
02 Arquata del Tronto	DS	-	100	6	0.00	0	17	34	0.12
	D	0	99			5	74		
	ND	95	0			93	0		
	Na	100	-			No aplica			

C=error de comisión; O= error de omisión; OA= exactitud global; κ= coeficiente kappa.

3.2. Resultados del análisis de la influencia de la fuente de datos en la asignación de daños siguiendo la escala EMS-98

3.2.1. Resultados de la validación de las capas de reprocesado REP SAT y REP AER

La Tabla 7 y la Tabla 8 muestran los resultados de las matrices de confusión de las capas creadas usando los datos con base en los cuales se crearon los productos *Copernicus EMS*, la *WorldView-2* y ortofoto adquiridas el 25 de agosto de 2016, contra la capa de referencia basada en todas las fuentes de datos, considerando cinco o tres categorías de daño. Nótese que para el AOI 02 no se pudo hacer una asignación de daños con base en imagen de satélite debido a la cobertura nubosa.

Tabla 7. Resultados de la validación de las capas reprocesadas creadas con base en imagen de satélite (REP SAT) y con base en ortofoto post-evento (REP AER) contra la referencia REF ALL considerando cinco categorías de daño

REF ALL	REP SAT				REP AER				
	C%	O%	OA%	k	C%	O%	OA%	k	
01 Accumoli	DS	-	-	24	0.09	100	-	35	0.19
	DG	0	79			0	58		
	DM	50	94			75	88		
	DIL	-	100			-	100		
	ND	84	0			80	0		
02 Arquata del Tronto	DS	-	100	0	0.00	14	0	46	0.23
	DG	-	100			21	46		
	DM	-	100			100	100		
	DIL	-	100			-	100		
	ND	-	100			88	0		
Na	100	-	No aplica						

C=error de comisión; O= error de omisión; OA= exactitud global; κ = coeficiente kappa.

Tabla 8. Resultados de la validación de las capas reprocesadas creadas con base en imagen de satélite (REP SAT) y ortofoto post-evento (REP AER) contra la referencia REF ALL considerando tres categorías de daño

REF ALL	EMS SAT				EMS AER				
	C%	O%	OA%	k	C%	O%	OA%	k	
01 Accumoli	DS	-	-	26	0.04	100	-	42	0.12
	D	0	87			0	67		
	ND	84	0			80	0		
02 Arquata del Tronto	DS	-	100	0	0.00	14	0	62	0.30
	D	-	100			0	43		
	ND	-	100			88	0		
	Na	100	-			No aplica			

C=error de comisión; O= error de omisión; OA= exactitud global; κ= coeficiente kappa.

3.2.2. Resultados de la validación de la capa comparable COM OBL

La Tabla 9 y la Tabla 10 muestran el resultado de la comparación de la capa creada con las imágenes aéreas visualizadas a través del visor y la capa de referencia basada en todas las fuentes de datos, considerando cinco o tres categorías de daño.

Tabla 9. Resultado de la validación de la capa comparable creada con base en imágenes oblicuas (COM OBL) contra la REF ALL para cinco categorías de daño

REF ALL	COM OBL				
	C%	O%	OA%	k	
01 Accumoli	DS	100	-	42	0.26
	DG	10	45		
	DM	75	81		
	DIL	50	94		
	ND	74	0		
02 Arquata del Tronto	DS	14	0	47	0.27
	DG	17	50		
	DM	89	89		
	DIL	71	83		
	ND	85	0		

C=error de comisión; O= error de omisión; OA= exactitud global; κ= coeficiente kappa.

Tabla 10. Resultado de la validación de la capa comparable creada con base en imágenes oblicuas (COM OBL) contra REF ALL para tres categorías de daño

	REF ALL	COM OBL				k
		C%	O%	OA%		
01 Accumoli	DS	100	-			
	D	0	49	58	0.23	
	ND	74	0			
02 Arquata del Tronto	DS	14	0			
	D	0	35	70	0.37	
	ND	85	0			

C=error de comisión; O= error de omisión; OA= exactitud global; κ = coeficiente kappa.

3.2.3. Resultados de la validación de las capas creadas con base en el trabajo de campo

La Tabla 11 y la Tabla 12 muestran los resultados de las matrices de confusión de las capas creadas usando los datos del trabajo de campo realizado los días 28 y 29 de septiembre de 2016 contra la capa de referencia basada en todas las fuentes de datos, considerando cinco o tres categorías de daño.

Tabla 11. Resultados de la validación de las capas creadas usando los datos del trabajo de campo (FS, REP FS y REP FS_{HR}) contra la referencia REF ALL, considerando cinco categorías de daño

REF ALL	FS				REP FS				REP FS _{HR}				
	C%	O%	OA%	κ	C%	O%	OA%	κ	C%	O%	OA%	κ	
01	DS	-	-		100	-			100	-			
	DG	3	6		0	24			0	25			
	DM	25	6	91	0.87	36	0	85	0.79	41	0	84	0.78
	DIL	7	22			7	22			7	24		
	ND	0	0			8	0			8	0		
02	DS	0	0		0	0			0	0			
	DG	6	2		0	15			0	11			
	DM	0	22	95	0.91	50	33	85	0.76	45	33	87	0.79
	DIL	8	8			29	17			23	17		
	ND	0	0			33	0			33	0		

C=error de comisión; O= error de omisión; OA= exactitud global; κ = coeficiente kappa.

Tabla 12. Resultados de la validación de las capas creadas usando los datos del trabajo de campo (FS, REP FS y REP FS_{HR}) contra la referencia REF ALL, considerando tres categorías de daño

REF ALL	FS				REP FS				REP FS _{HR}			
	C%	O%	OA%	κ	C%	O%	OA%	κ	C%	O%	OA%	κ
DS	-	-			100	-			100	-		
01 D	3	6	100	1.00	0	3	97	0.9	0	3	97	0.9
ND	0	0			8	0			8	0		
DS	0	0			0	0			0	0		
02 D	6	2	100	1.00	0	3	97	0.90	0	3	97	0.90
ND	0	0			33	0			33	0		

C=error de comisión; O= error de omisión; OA= exactitud global; κ = coeficiente kappa.

4. Discusión de resultados

4.1. Análisis de resultados de las matrices de confusión

Añadir la fuente de datos necesaria para la asignación de daño a cada uno de los edificios incluidos en la capa *Todas las fuentes referencia* permitió analizar las posibilidades de asignación de cada categoría de daño según la fuente. De este análisis de la fuente de datos necesaria para la asignación de cada categoría, se deduce que la categoría *Destruído* es la más estable, ya que es la que obtiene mejores resultados en todos los casos de las matrices de confusión. A pesar de que los resultados están influenciados por el hecho de que para uno de los AOs no se pudo hacer asignación de daños, debido a la cobertura nubosa.

Por el contrario, es llamativo que en todos los casos, menos en las validaciones de los datos de campo la categoría *No daño*, presente errores de comisión altos, indicando una sobreestimación de dicha categoría cuando la fuente de datos usada para crear la información muestra sólo la vista cenital o el estado de los edificios en la distancia. Este resultado indica que el daño sólo se debería poder descartar cuando exista una fuente de datos que realmente permita descartar completamente los daños al ofrecer diferentes perspectivas de cada edificio, así como fotografías tomadas de cerca que permiten ver cualquier daño por mínimo que sea.

Habría que tener en cuenta, sin embargo, que el trabajo de campo no incluyó la visita al interior de las casas, ya que se consideró que en el marco del servicio de mapeo de *Copernicus EMS* no tiene cabida una asignación de daños a esa escala. Otras categorías de daño intermedio, y especialmente las categorías de *Daños insignificantes o leves* y *Daños moderados*, presentan también altas discrepancias, bien sea por sobreestimación, bien por subestimación.

Estos resultados indican que su asignación con base en imágenes de satélite u ortofotos implica cierta subjetividad, incluso después de haber creado guías de fotointerpretación. Además, en el caso de la categoría de *Daños insignificantes o leves* estos resultados probablemente se deban a que los criterios seguidos para evaluarlo no son visibles desde un punto de vista cenital (Tabla 1). Lo mismo ocurre con la categoría de *Daños moderados*, aunque en ese caso algunos de los criterios que lo definen sean visibles en fotografías aéreas.

Por último, cabe señalar el mayor peso de los datos de campo en la creación de la capa *Todas las fuentes referencia*. A pesar de que se dieron casos en los que la asignación del daño de un edificio no se pudo basar en los datos de campo, por inaccesibilidad durante la visita a campo, o porque los daños sólo fueran visibles desde un punto de vista cenital, en general la asignación de las categorías de daño fue influida por los datos de campo.

El aumento del grado acuerdo de *Reprocesado satélite* con respecto al obtenido de la validación de los productos *Copernicus EMS*, un 15% tanto si se consideran cinco como si se consideran tres categorías, es debido a las diferencias en las condiciones de producción. La mayor disponibilidad de tiempo por parte del servicio de validación para la elaboración de los datos y crear guías de fotointerpretación de daños adaptadas al caso concreto de análisis se traduce generalmente en una mayor calidad de los mismo.

La validación de los datos *Ortofoto reprocesado* arroja un amplio rango de valores de exactitud global. Los coeficientes kappa varían desde pobre en 01 Accumoli a débil en 02 Arquata del Tronto. Esto es debido a la dificultad de asignación de las categorías más bajas de daño y de identificar correctamente los edificios no dañados, lo cual no permite reducir la omisión de los primeros y la comisión de éstos últimos.

Las imágenes oblicuas utilizadas para la creación de la capa *Oblicua comparable* fueron útiles para detectar los edificios clasificados en las categorías *Destruído* y *Daños graves*. Sin embargo, su utilidad para asignar las categorías *Daños moderados* y *Daños insignificantes o leves* fue residual. Se detectaron diferencias en los edificios clasificados dentro de la categoría *Daños graves* debido a la naturaleza de la información provista por las imágenes oblicuas y la ortofoto, lateral o cenital.

A pesar de que se creó una guía de fotointerpretación para asegurar la comparabilidad de los datos y la coherencia de los datos creados en el estudio, la fotointerpretación *per se* implica un cierto grado de subjetividad. Esto provoca que la evaluación de daños en los datos *Ortofoto reprocesado* y *Oblicua comparable* no coincidan completamente con la asignación en el dato *Todas las fuentes referencia*.

Los datos de campo fueron fundamentales a la hora de asignar con certeza la categoría *No daño*, ya que no es factible descartar totalmente la existencia de daños hasta que el edificio es analizado con información detallada a nivel del suelo. Esos datos fueron también básicos para asignar la categoría de *Daños insignificantes o leves*, ya que los daños relacionados con esa categoría incluyen "grietas finas o caída de pequeños pedazos", que necesita de un detalle en los

datos de entrada que sólo pueden adquirirse a nivel del suelo. El valor agregado de los datos de campo disminuye en la evaluación de las categorías más altas de daño, ya que estos niveles de daño también son detectados por el resto de los datos de entrada.

Las discrepancias reflejadas en las validaciones en las que analizaron cualquiera de las tres capas creadas a partir de los datos de campo se deben principalmente a la migración entre las tres categorías de daño que se agrupan al pasar de cinco a tres categorías.

4.2. Análisis de la evolución de la exactitud global y el coeficiente kappa según la fuente de datos

La exactitud global y los coeficientes kappa aumentaron al considerar fuentes de datos que ofrecen información más detallada, tanto en las validaciones de cinco categorías como en las de tres. El nivel de acuerdo de las diferentes validaciones que se realizaron varía desde un coeficiente kappa muy pobre de 0.00 (Altman, 2020) para validaciones de capas creadas sobre la imagen satelital post-evento, hasta un nivel total de concordancia con kappa de 1.00 de los datos de campo considerando tres categorías de daño. Los desacuerdos se deben principalmente a la migración entre categorías que reflejan el daño en la clasificación de cinco categorías, y desaparecen al considerar solamente tres.

Sólo los resultados de la validación de datos creados a partir de imagen de satélite no mejoran al pasar de cinco a tres categorías, ya que las migraciones de estos datos ocurren en edificios clasificados como *No daño*. La comparación entre los resultados para los productos *Copernicus EMS* y los datos reprocesados parece indicar diferentes criterios de asignación de daños.

La Figura 5 muestra la tendencia de la exactitud global y los valores del coeficiente kappa según los datos de entrada utilizados y el número de categorías consideradas para ambos AOIs, 01 Accumoli (Ac) y 02 Arquata del Tronto (Ar). Las capas basadas en imagen de satélite mostraron un nivel deficiente de acuerdo; las capas con base en ortofoto o con base en imágenes aéreas (tanto oblicuas como cenitales) variaron de un nivel de acuerdo deficiente a uno regular para las clasificaciones considerando cinco o tres categorías. Sólo los datos creados sobre los datos del estudio de campo lograron niveles de acuerdo buenos o muy buenos.

Tal y como muestran las tablas con los resultados de la validación y la Figura 5, las clasificaciones más precisas son las que se basan en los datos del estudio de campo, alcanzando una exactitud global superior al 85% y 97% para las validaciones realizadas considerando cinco y tres categorías respectivamente. Los coeficientes kappa para la validación de estos datos varían de 0,76 a 1,00, lo que indica desde un buen acuerdo hasta un muy buen nivel de acuerdo. Hay que tener en cuenta a la hora de analizar estos resultados, que, tal y como se ha dicho, en la creación de la capa *Todas las fuentes referencia* tuvieron más peso los datos de campo.

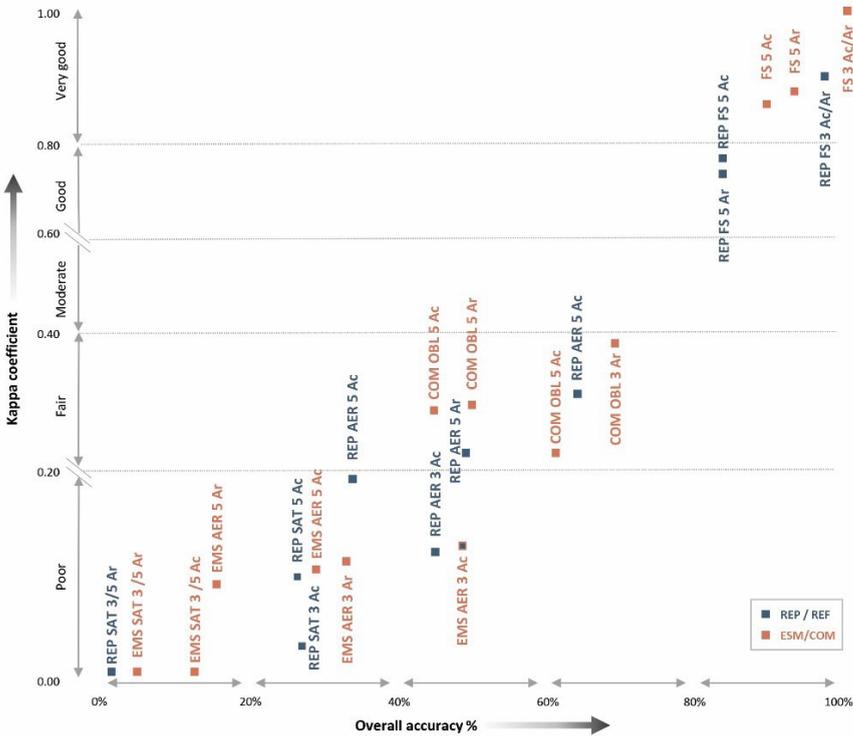


Figura 5. Análisis de la exactitud global y el coeficiente kappa según la fuente de datos y el número de categorías consideradas.

Los datos comparables basados en datos oblicuos son los segundos más precisos, aunque solo alcanzan un nivel razonable de acuerdo. Los coeficientes kappa varían de 0,23 para la clasificación de tres categorías en Accumoli a 0,37 en Arquata del Tronto. Los valores de exactitud global más altos, 70%, se encuentran en la clasificación de Arquata del Tronto; y el más bajo, 42%, se encuentra para la clasificación en cinco categorías en Accumoli.

La ortofoto post-evento es la siguiente fuente de datos más precisa, aunque se encuentran diferencias relevantes en los resultados de exactitud global, desde el 18% en Accumoli para el producto *Copernicus EMS* creado sobre ortofoto, hasta el 62% en Arquata del Tronto para el dato *Reprocesado ortofoto* (REP AER), ambos para la clasificación de tres categorías. Los coeficientes kappa muestran pobres niveles de concordancia, de 0.09 a 0.19, excepto en los datos *Reprocesado ortofoto* en Arquata del Tronto, 0.23 y 0.30 para las clasificaciones con tres y cinco categorías, respectivamente.

Los resultados de las validaciones de los datos reprocesados en comparación con los resultados obtenidos con los productos *Copernicus EMS*, muestran un

mejor nivel de concordancia para los reprocesados. Debe considerarse que la evaluación de daños no fue posible para los datos satelitales reprocesados en Arquata del Tronto debido a la cobertura de nubes. No se ha obtenido ninguna información sobre el criterio seguido por el creador de los mapas de *Copernicus EMS*, que es un Proveedor de Servicios externo al JRC, para llevar a cabo la clasificación. En la comparación hecha de los datos creados sobre la ortofoto post-evento, los resultados son claramente mejores para la capa reprocesada con la excepción de la clasificación agrupada en tres categorías en Accumoli, donde la concordancia general es ligeramente menor, 42% contra 45%, debido a la migración de dos edificios desde la categoría *Dañado* a *No daño*.

Al comparar la exactitud global y los valores del coeficiente kappa de la validación de *Campo reprocesado* y los *Datos de campo* con las fuentes de referencia, los resultados son mejores para éste último. Las diferencias en los resultados entre ambas capas se deben a que la metodología para crear ambas fue diferente, ya que la capa de datos reprocesados se hizo en gabinete, en condiciones diferentes y sólo con base en las fotos.

4.3. Análisis de los valores de omisión y comisión según la fuente de datos

Se analizó también la evolución de los valores de omisión y comisión por categoría para cada AOI y cada fuente de datos. El análisis individual por categoría de las cinco categorías de daño según la fuente de datos usada para hacer las capas apunta a dos razones principales para la mejora de los resultados de concordancia general. Una es la inclusión de edificios previamente clasificados como *No daño* en las categorías correspondientes que reflejan daño, lo que implicó la disminución del error de comisión para la categoría *No daño*. La otra es la correcta asignación a las categorías que reflejan daño, es decir, a cualquier excepto a *No daño*, lo que implicó la disminución de la omisión de estas tres categorías. Ambas razones se deben al uso de datos de entrada de mejor calidad que ofrecen un mayor nivel de detalle que permite el aumento del nivel de acuerdo, especialmente en las categorías de clasificación de daños más bajas. El salto relevante en la disminución de la comisión del *No daño* y en la omisión de las categorías que reflejan el daño no se alcanza hasta que no se consideran los datos de campo. La detección de edificios clasificados como *Destruído*, que solo existían en Arquata del Tronto, fue estable a excepción de las capas basadas en satélites. Se observó el mismo patrón en la clasificación en tres categorías de daño.

La Figura 6 muestra la relación entre la disminución de la comisión en la categoría *No daño* con la disminución de la omisión en la categoría *Dañado* para la clasificación de tres categorías y ambos AOIs, 01 Accumoli (Ac) y 02 Arquata del Tronto (Ar).

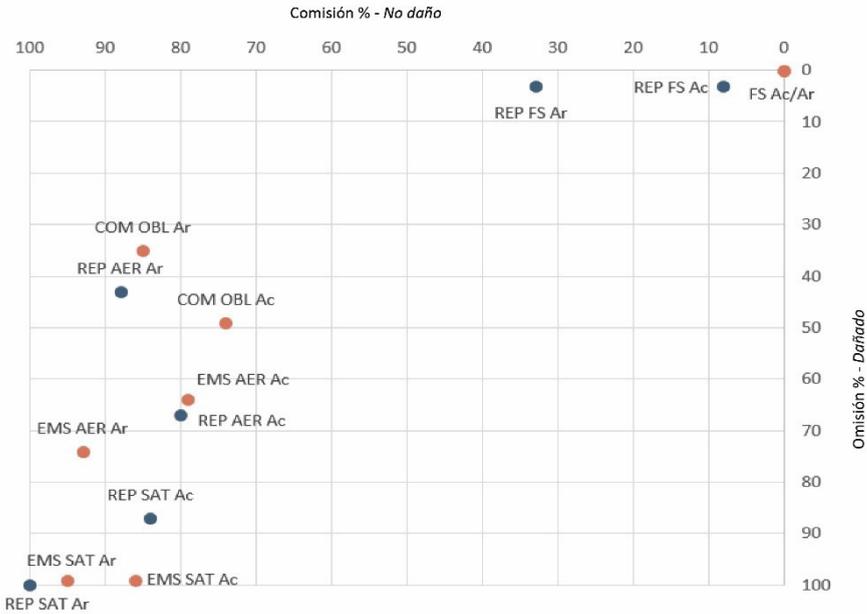


Figura 6. Relación entre la comisión para la categoría *No daño* y la omisión de la categoría *Dañado*.

5. Conclusiones

La EMS-98 ha demostrado ser un buen punto de partida para el componente de mapeo de *Copernicus EMS* en la creación de categorías de daños a edificios. En un primer momento, permitió al servicio tener unas categorías de daño como base sobre las que seguir trabajando. A pesar de las limitaciones descritas en el presente documento y en otras referencias bibliográficas (Cotrufo *et al.*, 2018), su uso ha permitido tener unas categorías definidas y comparables para los productos de asignación de daños, aportando coherencia al servicio *Copernicus EMS* en sus inicios.

A pesar de ello, uno de los problemas recurrentes es la comparabilidad de las categorías de daños entre productos que pueden estar situados en zonas muy diferentes del mundo y por ello tener características muy diversas. El hecho de que el servicio creó productos para zonas con características constructivas muy diferentes complica la creación de guías universales de fotointerpretación, lo cual implica que exista un margen de subjetividad a la hora de asignar daños. Varios resultados de este trabajo apuntan a que algunas de las discrepancias se debieron a diferencias en los criterios de asignación de daños, sobre todo al comparar las capas de *Copernicus EMS* con la de referencia y las capas reprocesadas con la de referencia. Con el objetivo de evitar en la medida de lo

posible que surgieran diferencias de criterio en las capas creadas en el marco de este análisis, se creó previamente una guía de fotointerpretación interna según la fuente de datos disponible acordada entre los técnicos que ejecutaron el trabajo.

Uno de los problemas más habituales es la falta de una imagen reciente anterior al evento que dé una idea del aspecto y características de los edificios antes del evento. Este problema se ve acentuado en aquellos países que no disponen de servicios de adquisición de ortofotografías aéreas, ya que en la mayoría de esos casos las imágenes recientes se reducen a la existencia de imágenes de satélite de menor resolución espacial, tales como Sentinel-2 o SPOT en el mejor de los casos, o dependen de la existencia de imágenes de muy alta resolución disponibles en programas como ArcGIS; como ESRI World Imagery, que en muchas zonas del mundo no son recientes.

En resumen, tanto el tipo de datos disponibles como el método, particularmente el criterio de asignación de daños, pueden variar dependiendo de la zona de estudio a nivel mundial. Ello puede requerir, como en este trabajo, que, previo al proceso de fotointerpretación, se establezcan criterios para asignar daños según el tipo de edificios y el tipo de dato disponible (que se cree una guía de fotointerpretación), e incluso establecer/adaptar las categorías de daños. Ogawa y Yamazaki (2000) presentan, por ejemplo, criterios para la identificación de daños en edificios de madera en Japón, producidos tras el terremoto en Kobe en 1995.

La comparación de los resultados considerando cinco o tres categorías muestra que las categorías de daño intermedio usadas en los productos, *Daños insignificantes o leves*, *Daños moderados* y *Daños muy graves*, son las responsables en gran parte de las diferencias encontradas. Utilizando tres categorías, la exactitud global y kappa suben notablemente. Esto implica que esas tres categorías son difícilmente distinguibles con base en datos como imágenes de satélite u ortofotos, que sólo dan idea de la parte de arriba de los edificios. Estudios como el presentado han permitido al servicio *Copernicus EMS* evolucionar y redefinir las categorías de daños con el fin de mejorar la comprensibilidad de los productos entre los usuarios y aumentar la coherencia entre productos. Los cambios introducidos en la última versión del Manual de Productos para Usuarios (Joubert-Boitat *et al.*, 2020) han incorporado cambios respecto a la primera versión basados en parte en las sugerencias dadas por el servicio de validación, demostrando su utilidad y la agilidad y adaptabilidad del componente de mapeo de *Copernicus EMS*. El presente estudio formó parte de un análisis más amplio sobre las categorías de daño cuyo objetivo era mejorar los productos tipo *Grading map* del servicio de mapeo de *Copernicus EMS*. Las recomendaciones hechas en el marco de dicho análisis se han traducido en una redefinición de las categorías de daño tal y como se muestra en la Tabla 13. Nótese que la categoría *No daño* desaparece y se ha sustituido por *Posiblemente dañado*. Este impacto del trabajo del servicio de validación en el servicio de

mapeo muestra la importancia de tener un servicio de validación que ayude a la mejora continua.

La capa creada con base en todas las fuentes de datos se vio influida por los datos de mayor calidad, que en la mayoría de los casos se correspondió al trabajo de campo. Esto se vio reflejado en el hecho de que no se encontraron diferencias significativas entre la capa creada con esos datos y la capa creada solamente con base en el trabajo de campo.

Tabla 13. Categorías de daños a edificios utilizadas actualmente en Copernicus EMS y comparación con la EMS-98

<i>Clases Copernicus EMS</i>	<i>Clases EMS-98</i>
<i>Posiblemente dañado</i>	No tiene equivalencia en EMS-98. Se refiere a casos en los que el nivel de confianza de la interpretación es ligeramente inferior (debido por ejemplo a una mala calidad de imagen)
<i>Dañado</i>	<i>Grado 1: Daños insignificantes o leves.</i> No hay daño estructural, o hay ligeros daños no estructurales. <i>Grado 2: Daño moderado.</i> Daño estructural leve o daño no estructural moderado. <i>Grado 3: Daños sustanciales a graves.</i> Daño estructural moderado o daños no estructurales graves.
<i>Destruído</i>	<i>Grado 4: Daños muy graves.</i> Daño estructural grave o daños no estructurales muy graves. <i>Grado 5: Destrucción.</i> Daños estructurales muy graves.

Fuente: Online Manual for Rapid Mapping Products, Copernicus EMS, 2020.

El análisis realizado respecto a la fuente de datos necesaria para la asignación de cada una de las categorías de datos se ve respaldado con los resultados numéricos de las validaciones. A saber, que la categoría más directa de asignar es *Destruído*, siempre y cuando se disponga de dato (por ejemplo, que no haya cobertura nubosa), y a pesar de que el criterio para asignar un edificio a esta categoría tiene un cierto margen de subjetividad. También muestra que para poder asegurar la ausencia de daño es necesario disponer de datos de campo.

Es importante resaltar que en el marco de este estudio para asignar la categoría No daño fue necesario el dato del trabajo de campo, ya que ninguna de las otras fuentes permite descartar con seguridad la presencia de daño. Esta conclusión dio pie a una recomendación para el servicio de *Copernicus EMS* para

cambiar la categoría de *No daño* a *No daño visible*, recomendación que está implementada en la actualidad.

Agradecimientos

Los autores agradecen la contribución de Massimiliano Rossi en la elaboración de los materiales analizados en este trabajo.

Bibliografía

- Altman, D. (2020). *Practical statistics for medical research*. New York: Chapman and Hall.
- Blom Web Viewer (2011). Obtenido de Copyright 2011 Blom. All rights reserved. Map data Copyright OpenStreetMap & contributors, CC-BY-SA. Recuperado de: <http://www.blomurbex.com/uk/>
- Boccardo, P. (2013). New perspectives in emergency mapping. *European Journal of Remote Sensing*, 46 (1), 571-582. <https://doi.org/10.5721/EuJRS20134633>
- Brogliá, M., Corbane, C., Carrion, D., Lemoine, G., & Pasaresi, M. (2010). *Validation Protocol for Emergency Response Geo-information Products*. JRC59838. Luxembourg: Publications Office of the European Union. Recuperado de <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC59838/lbna24496enn.pdf>
- Brogliá, M., Louvrier, C., & Lemoine, G. (2013). *Copernicus-EMS Mapping Guidelines and best practice*. Luxembourg: Publications Office of the European Union. Recuperado de <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC83027/lb-na-26072-en-n.pdf>
- Chuvieco, E. (2002). *Teledetección ambiental: La observación de la Tierra desde el espacio*. Barcelona, España: Ciencia Editores.
- Copernicus EMS (2016). *Copernicus Emergency Management Service. EMSR177: Earthquake in Central Italy*. Recuperado de <https://emergency.copernicus.eu/mapping/list-of-components/EMSR177>
- Copernicus EMS (2017a). *Copernicus Emergency Management Service. Service overview*. Recuperado de http://emergency.copernicus.eu/mapping/sites/default/files/files/CopernicusEMS-Service_Overview_Brochure.pdf
- Copernicus EMS (2017b). *Copernicus Emergency Management Service-Mapping. Linking with Early Warning Systems*. Recuperado de <https://emergency.copernicus.eu/mapping/ems/early-warning-systems-efas-and-effis>
- Copernicus EMS (2018). *Copernicus Emergency Management Service-Mapping, Manual of Operational Procedures*. Recuperado de https://emergency.copernicus.eu/mapping/sites/default/files/files/EMS_Mapping_Manual_of_Procedures_v1_3_final.pdf
- Copernicus EMS. (2020). *Copernicus Management Service - Mapping. Online Manual for Rapid Mapping Products. Damage assessment*. Recuperado de <https://emergency.copernicus.eu/mapping/ems/online-manual-rapid-mapping-products>
- Corbane, C., Carrion, D., Lemoine, G., & Brogliá, M. (2011a). Comparison of damage assessment maps derived from very high spatial resolution satellite and aerial imagery produced for the Haiti 2010 Earthquake. *Earthquake Spectra*, 27(S1), S199-S218. Recuperado de

- https://www.researchgate.net/publication/258433908_Comparison_of_Damage_Assessment_Maps_Derived_from_Very_High_Spatial_Resolion_Satellite_and_Aerial_Imagery_Produced_for_the_Haiti_2010_Earthquake
- Corbane, C., Saito, K., Dell'Oro, L., Gill, S., Piard, B., Huyck, C., Kemper, T., Lemoine, G., Spence, R., Krishnan, R., Bjorgo, E., Senegas, O., Ghesquiere, F., Lallemand, D., Evans, G., Gartley, R., Toro, J., Ghosh, S., Svekla, W., Adams, B., & Eguchi, R. (2011b). A comprehensive analysis of building damage in the January 12, 2010 Mw7 Haiti earthquake using high resolution satellite and aerial imagery. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing (PE&RS)*, 77(10). Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/266908454_A_Comprehensive_Analysis_of_Building_Damage_in_the_12_January_2010_Mw7_Haiti_Earthquake_Using_High-Resolution_Satelliteand_Aerial_Imagery
- Cotrufo, S., Sandu, C., Tonolo, F., & Boccardo, P. (2018). Building damage assessment scale tailored to remote sensing vertical imagery. *European Journal of Remote Sensing*, 51(1), 991-1005. <https://doi.org/10.1080/22797254.2018.1527662>
- Dorati, C., Kucera, J., Marí i Rivera, I., & Wania, A. (2018). *Product User Manual for Copernicus EMS Rapid Mapping*. Recuperado de <https://emergency.copernicus.eu/mapping/ems/product-user-manual-cems-rapid-mapping>
- Grünthal, G., & Lorenzo Martín, F. (Eds.) (2009). *Escala Macrosísmica Europea 1998= European Macroseismic Scale 1998: EMS-98, (Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie; 27)*. Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie. <https://doi.org/10.2312/EMS-98.full.es>
- INGV (2016). *Secondo rapporto di sintesi sul terremoto di Amatrice ML 6.0 del 24 agosto 2016 (Italia Centrale)*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. Recuperado de https://ingvterremoti.files.wordpress.com/2016/09/20160920_secondo_rapporto_finale.pdf
- Joubert-Boitat, I., Wania, A., & Dalmasso S. (2020). *Manual for CEMS-Rapid Mapping Products, EUR 30370 EN, JRC121741*. Luxembourg: Publications Office of the European Union. Recuperado de https://emergency.copernicus.eu/mapping/sites/default/files/files/JRCTechnicalReport_2020_Manual%20for%20Rapid%20Mapping%20Products_final.pdf
- Lemoine, G., Corbane, C., Louvrier, C., & Kauffmann, M. (2013). Intercomparison and validation of building damage assessments based on post-Haiti 2010 earthquake imagery using multi-source reference data. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci. Discuss.*, 1, 1445-1486. <https://doi.org/10.5194/nhessd-1-1445-2013>
- Ogawa, N., & Yamazaki, F. (2000). Photo-interpretation of building damage due to earthquakes using aerial photographs. *12th World Conference on Earthquake Engineering, vol. 2. Earthquake engineering in practice. Social and economic issues, 1906*. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/228905757_Photo-interpretation_of_building_damage_due_to_earthquakes_using_aerial_photographs
- OpenStreetMap contributors (2015). Planet dump [Data file from 2016]. Recuperado de <https://planet.openstreetmap.org>

Normalización de datos geospaciales de fuentes y manantiales inventariados en el Nomenclátor Geográfico de Andalucía (España)

Standardization of geospatial data of water sources and springs collected in the Andalusian Gazetteer (Spain)

María Teresa Garrido Borrego¹

Cristina Torrecillas Lozano²

Irene García Benabad³

Lucia Romero Cardenas⁴

Cora Torrecillas Nicolás⁵

Recibido 30 de enero de 2021; aceptado 06 de abril de 2021

RESUMEN

Los nomenclátors requieren de topónimos oficiales o normalizados por un organismo competente según los estándares, las recomendaciones y las normativas aplicables. El Nomenclátor Geográfico de Andalucía (NGA) es un registro georreferenciado, en continua actualización, conforme a la directiva INSPIRE. Tiene como objetivo ser la base de datos toponímica de referencia de Andalucía, una de las comunidades autónomas de España. El control de calidad de la toponimia es una tarea compleja en la que intervienen problemáticas como la ausencia de los límites físicos de una entidad geográfica (p.e. un paraje natural), la inexistencia de topónimos oficiales o normalizados de la

¹ Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía, España, correo electrónico: mariat.garrido@juntadeandalucia.es. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0617-3773>

² Departamento de Ingeniería Gráfica, Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Universidad de Sevilla, correo electrónico: torrecillas@us.es. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3650-3174>

³ Fundación de Investigación de la Universidad de Sevilla, España, correo electrónico: irenegarciabenabad@hotmail.com

⁴ Fundación de Investigación de la Universidad de Sevilla, España, correo electrónico: luciaromercardenas@hotmail.com

⁵ Fundación de Investigación de la Universidad de Sevilla, España, correo electrónico: cora.t.n@gmail.com

misma, la necesidad de realizar un estudio onomástico individualizado o la desaparición de aquellas personas que conocen el lugar y su historia. Todo ello dificulta la verificación y normalización toponímica. Cada vez es más común que los nomenclátors, como el NGA, se vinculen con otros conjuntos de datos geoespaciales, reutilizando sus nombres geográficos para su enriquecimiento y actualización. A la espera de la aplicación de identificadores únicos, permanentes y universales para las entidades geoespaciales, el nombre y su localización, más su tipología, son los elementos esenciales en la vinculación entre estos conjuntos de datos. Se presentan en este artículo los problemas, soluciones y las propuestas de normalización, siguiendo la norma técnica NTCA 02-021, adoptadas en la vinculación anual del NGA con la base de geodatos "Conoce tus Fuentes", un catálogo online colaborativo de manantiales y fuentes de Andalucía. Este proceso está permitiendo transmitir la importancia de la normalización, ejemplificada en esta tipología de nombres, y como la existencia de identificadores únicos y persistentes contribuye positivamente en las vinculaciones anuales entre dicho proyecto y el nomenclátor andaluz.

Palabras clave: *toponimia, normas técnicas, estandarización.*

ABSTRACT

Gazetteers require official or standardized toponyms by a competent organization according to standards, recommendations and applicable regulations. The Geographic Gazetteer of Andalusia (NGA) is a georeferenced registry, in continuous updating and in accordance with INSPIRE Directive. It aims to be the reference toponymic database of Andalusia, a Spanish autonomous community. The toponymic quality control of is a complex task involving problems such as the absence of physical limits of a geographical entity (e.g. a natural site), the non existence of official or standardized toponyms, the need to carry out an onomastic study or the disappearance of people who know the places and its history. All of this make toponymic verification and its standardization even more difficult. It is increasingly common for gazetteers, such as the NGA, to be linked to other geospatial datasets, reusing their geographic names for enrichment and updating. Without the application of universal identifiers, unique and permanent, for entities, its name and its location, plus its typology, are essential elements in the linkage between these datasets. This article presents some problems, solutions and standardization proposals, following the NTCA 02-021 technical standard, adopted in the annual linking of NGA with the geodatabase "Conoce tus Fuentes", a collaborative online catalogue of water sources and springs of Andalusia. This process is allowing transmitting: the importance of standardization, exemplified in this typology of names; and how the existence of unique and persistent identifiers has helped in the linkages between this project and NGA.

Key words: *toponymy, technical norms, standardization.*

1. Introducción

La toponimia, o conjunto de nombres propios de lugar de un espacio geográfico determinado, es estudiada por la toponomástica y constituye “un fiel reflejo de las realidades del territorio a las que identifica, de las interrelaciones entre los aspectos físicos y humanos del mismo y de sus transformaciones sucesivas” (Tort, 2000). Los topónimos, independientemente de su significación y uso tradicional, son empleados en la elaboración de mapas, censos de población, estudios geográficos, léxico-semánticos, dialectológicos o históricos. Hoy en día, debido a la aplicación de las nuevas tecnologías y, sobre todo, a los mapas en la web, sirven como identificadores geográficos. Así, son usados en la realización de búsquedas de información por geolocalización en Sistemas de Información Geográfica, Sistemas de Información Documentales o en Infraestructuras de Datos Espaciales (López-Pellicer *et al.*, 2006), siendo imprescindibles en el día a día de una gran mayoría de ciudadanos (Arroyo, 2010). Esta búsqueda puede sufrir muchos fracasos si el nombre a buscar no se corresponde con el almacenado en el servicio propio o distribuido de búsqueda (Laborda *et al.*, 2009), se emplee un nombre conocido vulgarmente pero que no es el oficial, la base no es todo lo detallada que se espera o el motor de búsqueda no es lo suficientemente flexible con la coincidencia de caracteres.

Los nomenclátors son grandes bases de datos de topónimos que necesitan cumplir los estándares, las recomendaciones y la normativa autonómica, nacional o europea, en especial la relacionada con INSPIRE (European Union, 2007). Aunque se han planteado procesos para su generación automatizada desde incluso fuentes web no cartográficas (Popescu *et al.*, 2008), la realidad es que requieren de una oficialidad y de la existencia de un organismo que responda por ese nombre.

A nivel nacional, el Instituto Geográfico Nacional está llevando a cabo actuaciones de cara a revisar y armonizar el Nomenclátor Geográfico Básico de España (NGBE) con ayuda de las comunidades autónomas para conformar el Nomenclátor Geográfico Nacional, de carácter oficial y regulado por el Real Decreto 1545/2007 (Vázquez *et al.*, 2015). Asimismo, sin ánimo de exhaustividad, varias comunidades autónomas disponen de publicaciones oficiales, completas o parciales, de nomenclátor, como son Cataluña (Comisión de Toponimia de Catalunya, 2006; Rabella, 2004), Navarra (Múgica & Mendoza, 1993), Aragón, País Vasco, Galicia o Asturias. Valencia (Embuena, 2019) o Andalucía incluyen toponimia oficial y/o normalizada en sus nomenclátors mientras que otras, como Baleares (Fons & Gomila, 2019; Llauger *et al.*, 2007), están también trabajando en la creación de un nomenclátor geográfico normalizado, armonizado y georreferenciado.

El Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía (IECA) es uno de los principales productores públicos de datos de la Comunidad Autónoma de Andalucía, ubicada en el sur de España. Entre sus productos está el Nomenclátor Geográfico de Andalucía (NGA) que tiene el objetivo de inventariar, normalizar y oficializar progresivamente la toponimia andaluza, así como su difusión. El mismo contiene más de 210.000 entidades con más de 285.000 localizaciones

de topónimos andaluces clasificados temáticamente. En los últimos 10 años, se ha iniciado el inventario de nombres de entidades albergadas en otras bases de geodatos destinadas a recopilar las denominaciones de una tipología específica (p.e. el patrimonio cultural, el patrimonio natural, los parajes o la hidrografía). Esto permite enriquecer el contenido del NGA, pero ha puesto de manifiesto la existencia de un gran abanico de variantes léxicas de la propia denominación. Aunque en el Sistema Estadístico y Cartográfico de Andalucía (SECA) se dispone de una norma sobre normalización toponímica general, la NTCA 02021, su uso y conocimiento necesita potenciarse y extenderse con más intensidad.

Se presenta en este artículo los problemas, las soluciones y las propuestas de normalización realizadas en el ámbito del NGA en su vinculación periódica con el conjunto de geodatos externo procedente del proyecto "Conoce tus Fuentes" (Castillo & Sánchez, 2008; Sánchez-Díaz *et al.*, 2012). Este proyecto alberga más de 12.000 denominaciones de entidades geográficas relacionadas con fuentes y manantiales andaluces, junto con más de 1.000 registros referidos a otros puntos relacionados de interés. Para ello, se introduce, en primer lugar, el marco general de las normas técnicas autonómicas de aplicación para, posteriormente, exponer los trabajos de inventario y normalización llevados a cabo en el NGA y, finalmente, ejemplificar la reutilización, vinculación y propuestas de normalización aplicadas en el mencionado conjunto.

2. Normas Técnicas Cartográficas de Andalucía (NTCA) sobre toponimia

La labor de normalización es absolutamente necesaria para resolver los problemas de la diversidad o confusión en la denominación de muchos microtopónimos e imprescindible para el buen uso de los nomenclátors. El Decreto 141/2006 de la Junta de Andalucía (Junta de Andalucía, 2007) tenía por objeto la ordenación de la actividad cartográfica de las Administraciones Públicas de Andalucía usando como instrumento fundamental el Plan Cartográfico de Andalucía (PCA). Entre las determinaciones del PCA se encontraban, por una parte, la necesidad de normalización técnica de los procesos de producción y gestión de la Información Geográfica (disposición 23) y, por otra, la calidad como un requisito fundamental para asegurar los mayores niveles posibles de precisión, interoperabilidad y cualidades para ser usada (disposición 24). En 2011 se consolida la integración de los Sistemas Estadístico y Cartográfico de Andalucía en el SECA y se sustituye el PCA por el Plan Estadístico y Cartográfico de Andalucía, aprobándose en agosto de 2013 con una posterior renovación en 2020. Este plan de 2013 incluyó la dotación de un sistema de Normas Técnicas Cartográficas de Andalucía (NTCA) como instrumento para asegurar el rigor técnico, la implantación de procesos de calidad, la transparencia y la simplificación de procesos y productos en las actividades estadísticas y cartográficas, siguiendo las normas y estándares que sean de aplicación en su artículo 23 (IECA, 2011).

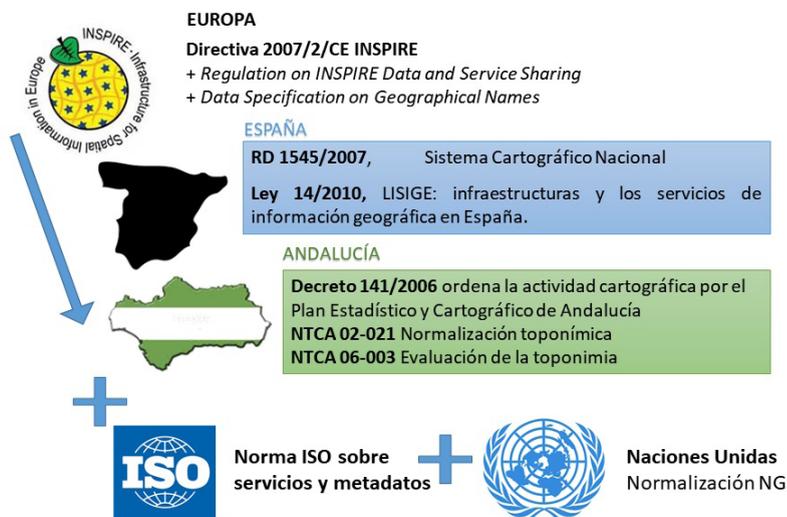


Figura 1. Normativas y recomendaciones toponímicas de aplicación en el NGA.

Fuente: elaboración propia.

La normativa y recomendaciones de aplicación en el NGA desde un ámbito global, pasando por el nacional, hasta llegar al autonómico, se muestran en la Figura 1. Hay que destacar las dos normas técnicas autonómicas, aún en fase de borrador, que afectan directamente a la toponimia: la norma NTCA 02-021 sobre la normalización toponímica (Garrido Borrego & Torrecillas Lozano, 2013b) y la norma NTCA 06-003 sobre la evaluación de la toponimia (Toscano Domínguez, 2013).

2.1. NTCA 02-021: Normalización toponímica

La norma NTCA 02-021 sobre normalización toponímica tiene como finalidad establecer las especificaciones técnicas que han de regir en la normalización de la toponimia de Andalucía para proporcionar homogeneidad al tratamiento y uso de los nombres geográficos en la cartografía, infraestructuras de datos espaciales, nomencladores, productos y servicios geográficos que se realizan dentro del SECA (Garrido & Torrecillas, 2013a). Sigue las recomendaciones de las Conferencias de las Naciones Unidas para la Normalización de los Nombres Geográficos (Naciones Unidas, 2007), con los siguientes principios de normalización:

- Principio de univocidad:** establecimiento de una forma escrita única de uso preferente para cada nombre geográfico, sin menoscabo de recoger el resto de nombres variantes.
- Principio de claridad y precisión:** referencia inequívoca en las denominaciones de las entidades geográficas para evitar dudas y confusión.
- Principio de organización rectora y coordinación administrativa:** el IECA es el responsable del inventario, normalización y difusión de la toponimia

de la Comunidad Autónoma en colaboración con el resto de organismos estatales, autonómicos y locales competentes en razón de la materia.

- d. **Principio de oficialidad:** respeto a los nombres oficiales o normalizados por las autoridades competentes, debiéndose consultar los registros y nomenclátors toponímicos de referencia.
- e. **Principio de procedimiento administrativo:** establecimiento de un procedimiento normalizado para la propuesta de nuevos nombres, la modificación y la cancelación de nombres existentes.
- f. **Principio de prioridad:** preferencia de los nombres locales tradicionales y uso público consolidado.

La NTCA 02-021 sigue, además, las siguientes directrices generales:

- a. La normalización se refiere a las **formas escritas** de los nombres, no a la forma oral; para conseguirlo se deben observar unas reglas mínimas convencionales, a fin de dar congruencia y uniformidad a la escritura, así como al uso de los nombres geográficos andaluces, que además deben tratarse de acuerdo a las reglas gramaticales del idioma español.
- b. La forma ortográfica de los topónimos se establece a partir de la **pronunciación genuina actual** y de acuerdo con la documentación más antigua cuando haya vacilaciones, variantes gráficas o dificultad para determinar la forma correcta. En caso de conflicto entre la forma antigua y la actual se ha de respetar la forma evolucionada y actual, conocida y usada por los habitantes del lugar.
- c. El tratamiento sistemático de los nombres no debe ser motivo para la **supresión** de elementos significativos que afecten al **término específico** del topónimo.

Respecto a las directrices específicas, hay que señalar, en primer lugar, que los topónimos o nombres geográficos están compuestos por un término genérico y un término específico. El término genérico es la parte de un topónimo que identifica de manera general la naturaleza de la entidad denominada, p.e. **Fuente de la Reina, Río Guadalquivir, Sierra Nevada, Embalse de Bornos**. El término específico es la parte de un topónimo que identifica de manera particular la entidad geográfica denominada, p.e. **Sierra Mágina, Río Blanco, El Álamo, Los Altos**. Las directrices concretas que afectan a ambos términos son consultables en el texto de la propia norma y hacen referencia al uso de abreviaturas, siglas, acrónimos y símbolos convencionales, acento, aglutinación, artículo, conjunción, exónimo, genérico aislado y término descriptivo, guion, mayúscula y minúscula, nombres de empresas privadas y marcas registradas, números y fechas, paréntesis, preposición "de", puntuación, término genérico y variantes gráficas.

2.2. NTCA 06-003: Evaluación de la Toponimia

La norma NTCA 06-003 sobre la Evaluación de la Toponimia tiene como propósito establecer la metodología detallada para realizar la evaluación de la calidad de la toponimia de los diferentes trabajos sobre información geográfica que se realizan dentro del SECA. La presente norma tiene por objeto específico:

- a. Definir el procedimiento de la evaluación de la toponimia.
- b. Detallar los pasos del proceso para realizar la evaluación de la calidad de la toponimia.
- c. Desarrollar las medidas de la calidad e indicadores para la evaluación de la calidad de la toponimia.
- d. Definir una plantilla para documentar los resultados del proceso de evaluación de la calidad de la toponimia.
- e. Desarrollar las medidas para la evaluación de los informantes.

La norma contiene un conjunto de pruebas de conformidad basadas en las normas ISO: UNE-EN ISO 19113 Información geográfica. Principios de calidad; UNE-EN ISO 19114 Información geográfica. Procedimientos de evaluación de la calidad; UNE-EN ISO 19138 Información geográfica. Medidas de calidad de los datos. La NTCA 06-003 es difícil de aplicar al 100%, como podría ocurrir con otros datos geoespaciales, debido a casuísticas como, por ejemplo:

- a. El desconocimiento o la falta de límites tangibles en algunos elementos naturales como los parajes o aquellos ríos que cambian su denominación a lo largo de su recorrido, sin tener claro ese límite.
- b. La presencia u omisión de artículos, así como el uso de mayúsculas sin tildes que entorpecen la validación del propio nombre por la duda en la existencia o no de la misma.
- c. El uso de diferentes genéricos para un mismo elemento (parroquia por iglesia, cortijo por hacienda).

La aplicación correcta de esta norma requiere disponer de recursos suficientes, no siempre disponibles, para los trabajos de campo correspondientes además de un conjunto de reglas de normalización específicas para validar cada tipo de topónimo.

3. El Nomenclátor Geográfico de Andalucía

El proyecto del Nomenclátor Geográfico de Andalucía se inició en 2008 con el objetivo de diseñar y crear un esquema de base de datos de referencia única de los nombres geográficos andaluces, que fuera mantenida, consultada y difundida (Garrido & Torrecillas, 2011). Es un nomenclátor dinámico, tanto en el inventario de datos de diferentes fuentes como en su progresiva normalización por tipología. Consta de una base de datos que sigue el Modelo de Nomenclátor de España (Rodríguez *et al.*, 2006) y las especificaciones de Inspire (INSPIRE Thematic Working Group Geographical Names, 2009). Contiene, entre otros atributos, la denominación de entidades geográficas, sus diversas localizaciones, su clasificación temática y el estado de normalización toponímica en el que se encuentra la entidad (Oficial, Normalizado, No Normalizado o No Disponible). La aplicación que gestiona el NGA permite administrar, de una forma integral y ágil, el inventario y la normalización de la toponimia andaluza, así como su difusión a través de sus servicios web: el Buscador de Nombres Geográficos (BNG) y los servicios WFS (Garrido & Torrecillas, 2009, 2014) y WMS (véase apartado "Disponibilidad de datos"). Además, es reutilizado por otras aplicaciones como la Infraestructura de Datos Espaciales de Andalucía,

más conocida como IDEAndalucía (Sánchez & Torrecillas, 2003), siendo posible solicitar correcciones por parte de la propia ciudadanía, una parte importante en cualquier nomenclátor (Portolés *et al.*, 2013).

3.1. Inventario, normalización y coordinación toponímica en el NGA

El NGA fue generado inicialmente a partir del vaciado toponímico de la cartografía oficial autonómica a escala 1:10.000 recogida en la Base de Datos de Toponimia 10.000 (BTA10 2004-2006). Este *corpus* principal se ha ido completando con los topónimos de otras bases de datos, cartográficas o georreferenciadas, producidas por diferentes organismos estatales, autonómicos y locales. La reutilización de dichas fuentes está permitiendo actualizar y completar datos de poblaciones, edificaciones rurales, patrimonio histórico, parajes catastrales, hidrografía, patrimonio natural o infraestructuras. Con estos trabajos, intensificados en los últimos tres años, se dispone del inventario de más de 210.000 entidades con más de 285.000 localizaciones con sus nombres preferentes respectivos, además de algunos nombres variantes de los mismos.

Entre los últimos trabajos de inventario llevados a cabo en el NGA hay que destacar, por su volumen, la incorporación reciente de los parajes de las bases de datos catastrales. Esta incorporación se ha llevado a cabo tras realizarse un estudio que determinó una complementariedad alta entre ambas bases de datos, lo que indicaba que el nivel de coincidencia entre ambas era bajo (21,7%) (García *et al.*, 2010). Este proceso de inventario finalizó en 2020 tras analizar 3,5 millones de textos en Andalucía que han producido casi 35.000 altas en el NGA.

Estos topónimos son **normalizados** de acuerdo con la NTCA 02021 y coordinados, en la medida de lo posible, a través de informes al productor, con los organismos respectivos con objeto de avanzar en la normalización y armonización consensuada de la toponimia andaluza. Así mismo, en función del avance de los trabajos de compleción del inventario, su normalización y los recursos disponibles, se realizará una nueva evaluación de la calidad toponímica del NGA de acuerdo con la NTCA 06-003.

Respecto a los trabajos de **coordinación toponímica** en materia de normalización, el primer proceso de conjunto llevado a cabo comenzó en 2006, colaborando con la Comisión Especializada de Nombres Geográficos del Consejo Superior Geográfico en la normalización consensuada con las distintas Comunidades Autónomas del Nomenclátor Geográfico Conciso de España (NGCE), que fue actualizado posteriormente en 2011-2012 (Figura 2). A este proceso, le siguió otro gran proceso en curso, iniciado en 2013, de normalización de la toponimia referida a los asentamientos poblacionales (o de otro tipo como la actividad industrial o de determinados servicios o equipamientos) en colaboración con las diputaciones y ayuntamientos andaluces que verifican los topónimos propuestos o proponen otros nuevos. Este trabajo recibe el nombre, a partir de 2016, de Inventario Toponímico de Asentamientos de la Comunidad de Andalucía o Proyecto ITACA (Garrido *et al.*, 2018) y está dando grandes resultados, tanto desde el punto de vista del inventario toponímico como de su verificación y normalización. Se espera obtener una base de referencia ampliamente demandada por parte de la propia administración, para sus tareas

de planificación y ordenación territorial, como por parte de multitud de usuarios (Gullón *et al.*, 2016).

Desde 2018, se está realizando en colaboración con el Instituto Geográfico Nacional, la armonización del Nomenclátor Geográfico Básico de España (NGBE) con el NGA (Vázquez *et al.*, 2015). Es un trabajo lento dado el detalle de las fuentes de referencia, la cartografía 1:25.000 y 1:10.000, que requiere de recursos suficientes para abordar una gran cantidad de topónimos, algunas veces desactualizados y sustituidos por otros nuevos, capturados erróneamente desde el trabajo de campo (debido, a veces, a errores de transcripción causados por el habla de la zona) o en la digitalización (dónde una “o” en ocasiones es cruzada por una curva de nivel y parece una “a” o una “e”, o p.e. una “r” puede parecer una “n”) o simplemente han sido omitidos.

Paralelamente, otras fuentes de datos a nivel autonómico que se están reutilizando en el inventario y normalización toponímica en el NGA son “Conocetus Fuentes” (Sánchez-Díaz *et al.*, 2012), la base de datos de bienes inmuebles (Muñoz, 2001; Olvera & Gutiérrez, 2014) o las vías pecuarias delimitadas y publicadas en BOJA por la Consejería competente en Medio Ambiente. Al ser todas estas bases geospaciales productos vivos, a la resolución de las incidencias entre los conjuntos de datos, se le une un protocolo de actualización, generalmente con un ciclo anual.

No deben olvidarse los trabajos realizados a diario sobre incidencias encontradas entre otros productos cartográficos del IECA, como son la Base Cartográfica de Andalucía (BCA),¹ los Datos Espaciales de Referencia de Andalucía (DERA)² o el Callejero Digital de Andalucía Unificado (CDAU)³ (Figura 2).



Figura 2. Trabajos de normalización y coordinación toponímica en el periodo 2006-2021. Fuente: elaboración propia.

¹ Página web BCA: <https://www.juntadeandalucia.es/institutodeestadisticaycartografia/prodCartografia/bc/bca.html>

² Página web DERA: <https://www.juntadeandalucia.es/institutodeestadisticaycartografia/DERA/>

³ Página web CDAU: <https://www.callejerodeandalucia.es/portal/>

3.2. Problemática en la reutilización de bases de datos georreferenciadas

El continuo aumento en la creación de bases de datos de elementos geoespaciales por parte de las entidades responsables de los mismos hace que la localización y actualización, espacial o denominativa, de una entidad, por ejemplo de servicios como un museo, un colegio o las dependencias de una institución pública, pase a ser responsabilidad del organismo propietario o gestor de dicha entidad (Caturla, *et al.*, 2014). Esto hace que cada vez sea más común tener que recurrir a diferentes bases de datos para realizar un estudio o trabajo, siendo inevitable la vinculación entre diversos conjuntos de datos referidos a una misma tipología de entidad. Lo que aparentemente podría parecer una tarea sencilla, mediante la unión de campos comunes o mediante una operación espacial de intersección entre las capas geoespaciales, se complica debido fundamentalmente a aspectos como estos:

- a. **Localización:** existe distinta precisión en la localización de los elementos de las distintas bases de datos; generalmente debido a la escala del mapa usada en la localización o a la precisión del instrumental topográfico empleado para dotarlos de coordenadas (GNSS de poca precisión) (Figura 3a).

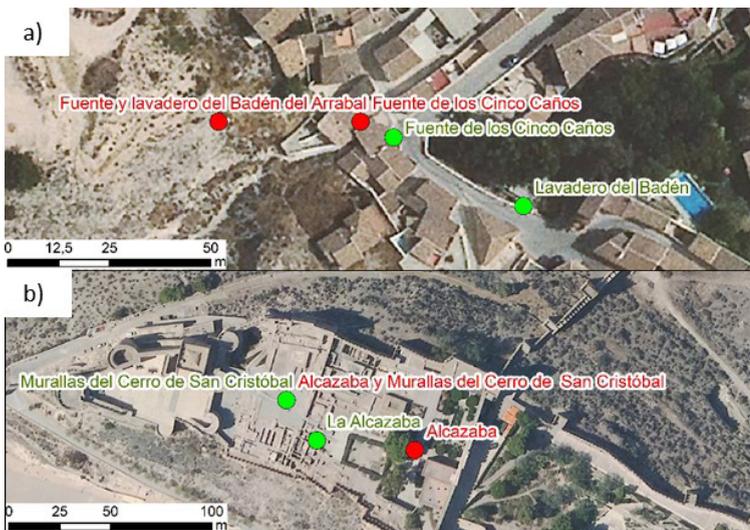


Figura 3. Ejemplos de problemas en el contraste entre bases de geodatos relativas a distinta precisión en la localización y agrupación de más de una entidad geográfica en el nombre. En verde, los datos del NGA y en rojo, otras bases de datos (CTF e IAPH): a) Se muestra una falta de precisión en la localización del *Lavadero del Badén* y la agrupación de dos entidades (*Fuente y lavadero...*); b) Se muestra, por un lado, la agrupación de dos entidades (*Alcazaba y Muralla...*), y por otro, la repetición del elemento *Alcazaba*.

Fuente: elaboración propia.

- b. **Nombre:** se emplean diferentes nombres para el mismo elemento, debido a omisiones o diferencias en el término genérico del topónimo (p.e. arroyo por barranco); diferencias en el término específico (más o menos completo, con dos nombres unidos, uso de abreviaturas, totalmente diferentes...); o diferencias en ambos términos, genérico y específico, que lo forman. En la Tabla 1 pueden verse diferentes ejemplos de esta casuística.

Tabla 1. Ejemplo de distintos nombres para una misma entidad hidrográfica entre el Ministerio de Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO), en mayúscula y con geometría lineal, y NGA, en minúscula y con geometría puntual

<i>Nombre en MITECO</i>	<i>Nombre en NGA</i>
BARRANCO DEL BARQUERO	Arroyo del Barquero
ARROYO DEL SIBUSCO	Regato del Sibusco
ARROYO O GARGANTA DE JUAN DE SEVILLA	Arroyo de Juan de Sevilla
ARROYO DE MINGO YUSTRE	Arroyo de Mingo
BARRANCO DE LAS HILAS O DE TORRE SERENA	Barranco de las Hilas
ARROYO DEL MORO GENIL	Barranco del Moco

Fuente: elaboración propia.

- c. **Clasificación y tipo de dato:** la clasificación y tipo de dato, mediante un código o un texto, de los elementos es heterogénea y responde a los intereses de cada organismo productor. En ocasiones, hay que igualar elementos de diferentes niveles de clasificación o cambiar, por ejemplo, la tipología del dato de numérico a alfanumérico (algo muy común en los códigos municipales pues suelen ser tratados, unas veces, como cadena de caracteres y, otras, como número).
- d. **Nivel de detalle de la entidad:** se usan diversos niveles de detalle en diferentes bases. Por ejemplo, un castillo puede suponer más de una entidad si se baja al nivel de sus elementos constructivos como podría ser su puerta, una torre o la muralla. Otro ejemplo, podría ser la agrupación de diversos elementos en una sola entidad, p.e. *Iglesia y Hospital de La Caridad* en una de las bases y en otras, considerada como dos elementos separados: por una parte la iglesia y por el otro el hospital (Figura 3b).
- e. **Datos cuestionables:** hay datos que son válidos en una base de datos pero que no tienen utilidad en otra. Podría ser el nombre de una torre de la que ya no queda ni siquiera ruinas y está totalmente desaparecida. En una cartografía actual no tendría cabida esta entidad, aunque sí en una cartografía histórica o en un nomenclátor como el propio NGA en el que se catalogaría como edificación desaparecida o en ruinas. Otro posible caso sería el de edificaciones de interés arquitectónico que no poseen nombre propio y que se identifican p.e. como *Casa Palacio en Calle Ministro Benavides*,

nº45. Esta denominación es un descriptivo que no tendría interés para una base de datos de toponimia, pero sí en una que recoja este tipo de edificaciones.

Aparte de los problemas aludidos, la reutilización de datos geoespaciales producidos por distintos organismos es muy beneficiosa como se puede comprobar en dos claros ejemplos: DERA y el NGA, aportando un valor añadido de síntesis o normalización de dichos datos, respectivamente. El DERA es un producto del IECA de referencia, muy empleado y descargado por la recopilación temática que contiene, pero como le ocurre a todos los productos o publicaciones cartográficas, poco referenciado en los estudios o trabajos que hacen uso del mismo (IECA, 2015; López & Mulero, 2015). Este producto, en general, ofrece una valiosa síntesis de información de distinta procedencia, estructurado en diversas capas de información. El NGA, por su parte, es reutilizado por la IDEAndalucía aportando los nombres geográficos preferentes que deben ser usados en la Comunidad Autónoma.

3.3. Metodología

En el caso del NGA, el proceso de incorporación o inventario de toponimia se basa en la reutilización de las bases de datos cartográficas o georreferenciadas producidas por distintas entidades autonómicas, locales o estatales y sigue, simplificada, la dinámica mostrada en la Figura 4. Tras la recopilación del nombre (inventario), este es normalizado, coordinado con otros productos geoespaciales, a través de los informes al productor y, finalmente, publicado para facilitar su acceso público por parte de la ciudadanía. Si la base de datos es mantenida y actualizada por la entidad, es necesario, tras ese contraste inicial de incorporación, la definición de un protocolo de actualización que normalmente es de índole anual.

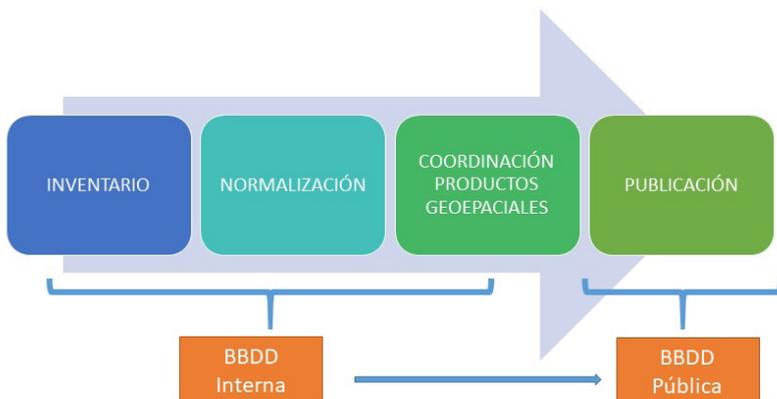


Figura 4. Procedimiento simplificado de la incorporación de topónimos al NGA.
Fuente: elaboración propia.

Es importante para la actualización anual de bases de datos reutilizadas el establecimiento de protocolos de vinculación entre ellas que, generalmente, requieren de varias fases (Figura 5):

- a. Tratamiento previo: consistente en el análisis y preparación inicial de la información para poder ser contrastada correctamente.
- b. Contraste con NGA: consistente en la comparación de las bases de datos a través de los atributos de nombre+localización+tipo o identificador único permanente, previamente relacionado en el caso de las actualizaciones.
- c. Obtención de las coincidencias: consistente en la disposición de nuevas altas y resolución de posibles incidencias de nombre y localización, así como registro del identificador externo, único y permanente, de las entidades procedentes de la base de datos reutilizada, si es que dispone del mismo.
- d. Introducción en NGA e informe al productor: consistente en la adaptación al modelo de datos de NGA de las altas y las incidencias resueltas, previamente informadas al productor y contestadas por el mismo.
- e. Publicación en los servicios webs del NGA: BNG, WFS y WMS.

El procedimiento automatizado de reutilización y vinculación, por primera vez, entre bases de datos geospaciales se realiza normalmente usando la suma de tres atributos: nombre+localización+tipología con objeto de acotar los resultados y los posibles errores debidos a nombres repetidos o no normalizados. Una vez obtenida la vinculación inicial, se realiza una revisión manual consistente en resolver las incidencias de nombre, localización o asignación de tipología.



Figura 5. Procedimiento general de incorporación de conjuntos de datos toponímicos. Fuente: elaboración propia.

A veces, dichas incidencias son motivadas por la falta de persistencia del identificador supuestamente único de la base de datos reutilizada. Establecer una relación estable en el tiempo entre los identificadores únicos del NGA con los identificadores únicos de la base de datos a considerar es un requisito que garantizará una mayor eficacia en las actualizaciones posteriores.

El contraste de nombre se realiza empleando nombres en mayúsculas sin tildes, sin genéricos y con funciones comparativas de texto, como la Levenshtein,⁴ hasta ciertas diferencias de letras u otras métricas (Amón & Jiménez, 2010), pero siempre se requiere de una revisión manual que resuelva las incidencias detectadas. Asimismo, es necesario vincularlo con una tipología dentro de las más de 400 existentes en NGA (cortijo, iglesia, arroyo...) y aunque la inclusión de genéricos puede ayudar, no siempre es así. Por ejemplo, existen edificios que han cambiado de función pero que siguen manteniendo su nombre anterior por ser el más difundido: tal es el caso del Hospital de los Venerables en Sevilla, que actualmente funciona como centro cultural. Es de destacar que actualmente existen estudios que intentan mejorar estas vinculaciones incluso con Machine Learning, pero sin resultados satisfactorios (Santos *et al.*, 2017).

4. Experiencia en la reutilización y normalización de datos de fuentes y manantiales

El proyecto "Conoce tus Fuentes" (CTF) es el primer catálogo de manantiales y fuentes de Andalucía participativo y on line. Comenzó en 2007 de mano de la Agencia Andaluza del Agua de la Consejería de Medio Ambiente y la Universidad de Granada con el objetivo de catalogar y poner en valor las fuentes y manantiales de Andalucía. Estas manifestaciones de agua constituyen un valioso patrimonio ambiental, socio-económico y cultural, que urge conocer y proteger mejor ante nuevas amenazas como el cambio climático y el aumento de explotación de nuestros recursos hídricos (Castillo & Sánchez, 2008). En agosto de 2012 ya había recibido más de 287.000 visitas y catalogado 6.050 fuentes y manantiales en la comunidad (Sánchez-Díaz *et al.*, 2012). Estas cifras se han incrementado en enero de 2021 a 1.090.141 visitas y recopilado 12.504 fuentes y manantiales junto con 1.062 registros referidos a otros puntos de interés (OPI).

Este tipo de entidad no suele estar incluido al completo en la cartografía topográfica por su gran detalle pero, indudablemente, es un elemento muy interesante para muchos fines, incluido su valor histórico y patrimonial que ha motivado su incorporación al NGA, aportando casi 13.000 altas de nuevos elementos hídricos omitidos en el MTA10.

4.1. Cronología y proceso de contraste toponímico

En 2016 se estudia y plantea la incorporación de los nombres de esta base al NGA, pero es en 2018 cuando comienza una colaboración constante mediante

⁴ La distancia de Levenshtein contabiliza el número de transformaciones que hay que aplicar a una cadena de caracteres para convertirla en otra. Pe.: "pazo" y "pago" la distancia Levenshtein sería igual a uno.

peticiones anuales al Instituto del Agua de la Universidad de Granada, que facilita la base de datos con indicaciones de los cambios producidos respecto de la anterior. Por su parte, el IECA comunica, a través del Informe al productor, las dudas y errores detectados, así como información de los criterios de normalización toponímica aplicados, extraídos de la NTCA 02021, para su uso y difusión. En dicho año, la información facilitada se componía de 11.263 registros y 767 lugares de interés. Se detectaron 1.022 incidencias con 686 cambios de nombre, 5 bajas, 34 cambios de localizaciones y 3 registros duplicados en la base de datos de CTF, respecto al análisis anterior. De la actualización de 2018, se envió un informe al productor con dudas sobre 37 fuentes y 5 OPIS (Otros Puntos de Interés) así como se informó de los errores de registros duplicados o existencia de dobles espacios. En 2019, la base facilitada se incrementó en 367 registros y 61 puntos de interés. Lejos de paralizarse la incorporación de elementos a dicho catálogo, este sigue creciendo hasta cifras, en febrero de 2020, de 12.152 fuentes y manantiales y 937 registros de puntos de interés, solicitando aclaración de dudas al productor sobre 24 fuentes y 10 lugares de interés.

El protocolo empleado en la vinculación se describe en la Figura 6 y pasa por preparar los datos de ambas bases de datos para realizar la detección de cambios, es decir, las nuevas altas y las incidencias por modificaciones de nombre o de localización (en ocasiones se mejora la precisión en la localización de una entidad). También es necesario estudiar las bajas o duplicaciones de identificadores de entidades que junto con las modificaciones de nombre/localización conforman las incidencias que deben ser estudiadas y resueltas con la colaboración del organismo productor.

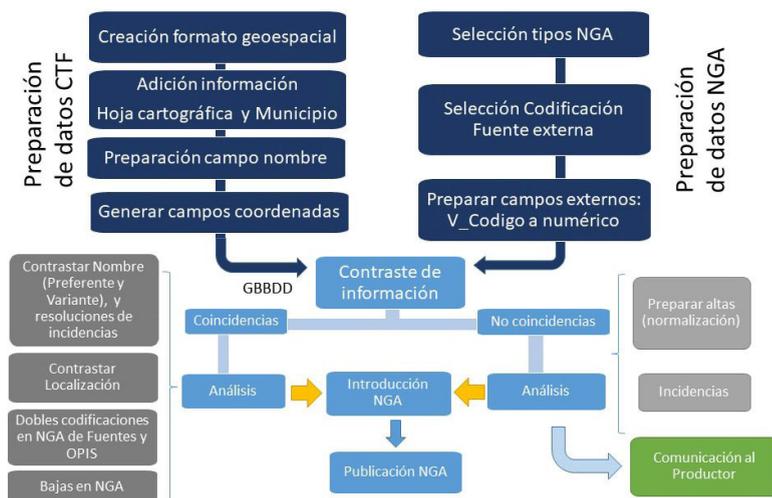


Figura 6. Procedimiento de la incorporación del conjunto de datos “Conoce tus Fuentes” al NGA.

Fuente: elaboración propia.

En todo el proceso hay que destacar la vinculación de ambas bases de datos, CTF y NGA, a través de sus respectivos identificadores únicos asignados a cada entidad y que facilita enormemente las futuras actualizaciones al reducir la vinculación a través del nombre+localización+tipo mucho más costosa en tiempo y pobre en los resultados. Junto al identificador de CTF, inventariado en NGA en la tabla de codificaciones externas, se añade también, en la tabla de atributos del nombre, el enlace a la web donde puede verse la entidad descrita y fotografiada en el proyecto CTF.

Los principales problemas que se han tenido a lo largo de cuatro contrastes de datos, han sido:

- a. Diversidad en la precisión de la localización de sus elementos, teniendo que revisar de forma individualizada y manual la localización de las altas a efectuar.
- b. Clasificaciones que deben ser analizadas individualmente para la correcta asignación de tipo de entidad en NGA p.e. "Pozo" unas veces se refiere a un Hidrónimo Puntual, pero otras, sobre todo en la provincia de Jaén, a Patrimonio Minero.
- c. Identificadores únicos de CTF duplicados en NGA debido a diferencias de criterio sobre la entidad física. La existencia de un solo registro en CTF se corresponde con varios en NGA, p.e. *FUENTE-POZO DE LAS AGUAS* en CTF, es entendido como fuente y pozo en NGA, lo que implica duplicidad en los identificadores únicos que debe ser registrada para las sucesivas actualizaciones.
- d. Problemas asociados al empleo de mayúsculas en CTF y a la duda de la existencia o no de tildes.

4.2. Normalización aplicada

Un resumen de los criterios de normalización toponímica, extraídos de la NTCA 02-021 y del análisis de la base de datos de CTF, forma parte del "Informe al Productor". Este documento es enviado al organismo responsable de la fuente para que lo use de referencia en el alta de nuevos registros o modificación de los preexistentes. La normalización aplicada entre el NGA y CTF sigue las propuestas mostradas en la Tabla 2.

Tabla 2. Propuestas de normalización toponímica para fuentes y manantiales

<i>Propuestas</i>	<i>Ejemplos</i>
Respetar las reglas ortográficas y gramaticales del español: tildes (incluidas las mayúsculas), concordancia de género y número o terminación correcta de las palabras.	<i>Laguna de Ruíz Sánchez > Laguna de Ruíz Sánchez;</i> <i>Fuente el Collao > Fuente el Collado;</i> <i>Fuente del Vinculo > Fuente del Vínculo;</i> <i>Fuente del Dornao > Fuente del Dornajo.</i>

<i>Propuestas</i>	<i>Ejemplos</i>
Utilizar el artículo inicial únicamente en los topónimos simples, es decir, los formados por un único nombre común y no en los topónimos compuestos, que ya están suficientemente determinados por el término específico. Del mismo modo, se debe suprimir el artículo inicial en el caso de que el nombre geográfico conste de término genérico y este corresponda a la naturaleza de la entidad geográfica designada. Todo ello si no contradice el uso tradicional.	<i>Nacimiento > El Nacimiento;</i> <i>El Nacimiento de Laroles > Nacimiento de Laroles;</i> <i>Pilar > El Pilar;</i> <i>El Pilar de Santa Ana > Pilar de Santa Ana;</i> <i>Pilas > Las Pilas;</i> <i>Las Pilas de la Fuente del Espino > Pilas de la Fuente del Espino;</i> <i>Fuente > La Fuente;</i> <i>La Fuente Grande > Fuente Grande;</i>
Realizar la contracción propia de preposición seguida de artículo.	<i>Laguna de el Chaparral > Laguna del Chaparral;</i> <i>Lavadero de el Chucho > Lavadero del Chucho.</i>
Evitar el uso de topónimos compuestos por más de un nombre unidos por la conjunción disyuntiva “o” o copulativa “y”.	<i>Pozo y Molino de los Chorros de Alberto > Pozo de los Chorros de Alberto / Molino de los Chorros de Alberto (dos entidades distintas);</i> <i>Presa y Molino de Sofío > Presa de Sofío / Molino de Sofío (dos entidades distintas)</i>
Evitar los nombres con guion, limitándose a casos muy justificados.	<i>Pozo-Abrevadero de la Medina > Pozo de la Medina / Abrevadero de la Medina (dos entidades distintas);</i> <i>Fuente de las Cochineras de la Portuguesa-Zanona > Fuente de las Cochineras de la Portuguesa Zanona.</i>
Evitar los nombres genéricos sin nombre específico, ya que el topónimo debería constar siempre de un término genérico y uno específico, excepto cuando el genérico se convierte en nombre propio.	<i>El Pilar;</i> <i>La Fuente;</i> <i>Las Pilas;</i> <i>El Nacimiento;</i> <i>La Noria.</i>
Evitar los nombres descriptivos de su ubicación.	<i>Manantial en Barranco del Lobo > Manantial del Barranco del Lobo;</i> <i>Manantial en el Arroyo Zapatero > Manantial del Arroyo Zapatero;</i> <i>Tornajos del Picón (Sur) > Tornajos del Picón;</i> <i>Laguna del Camino Palma-Fuentepalmera > Laguna de Almerique</i>
Evitar los nombres descriptivos de su actividad.	<i>Pozo Manante del Cortijo Cañada Mahón > Pozo del Cortijo Cañada Mahón.</i>

<i>Propuestas</i>	<i>Ejemplos</i>
Utilizar la numeración I, II, III... en los casos en los que existe una Fuente/OPI con el mismo nombre para evitar confusión y ser coherente con la numeración.	<i>Fuente de los Aserradores / Fuente de los Aserradores II > Fuente de los Aserradores I / Fuente de los Aserradores II.</i>
Evitar repetir el mismo topónimo en el mismo término municipal pues genera confusión, atendiendo al principio de claridad y precisión descrito en la NTCA 02-021.	
Evitar el uso de abreviaturas y respetar el nombre de la entidad si es oficial o está normalizado.	<i>Resume de Coto Ríos> Resume de Coto-Ríos (El nombre normalizado del núcleo urbano es Coto-Ríos),</i>
Evitar el uso de doble espacio entre las palabras.	<i>Molino de la Cimbarra > Molino de la Cimbarra.</i>

Fuente: elaboración propia.

5. Conclusiones

La existencia de nomencladores ricos en contenido normalizado y/o oficializado propicia que sean usados y consultados como elementos de referencia e incluso que formen parte de búsquedas distribuidas en la web. En el caso del NGA, partiendo de la toponimia incluida en la cartografía oficial 1:10.000, se ha ido enriqueciendo con topónimos procedentes de otras fuentes cartográficas o georreferenciadas que han contribuido también a la normalización de los nombres y a la corrección de errores de denominación o de ubicación, revertiendo en la mejora de la calidad de la propia cartografía autonómica.

La reutilización de bases de datos diferentes requiere establecer vínculos que no son sencillos cuando dependen solo del nombre y la localización, por el uso de nombres no normalizados y localizaciones de más o menos precisión dependiendo de la resolución o escala. La vinculación mejora si se dispone de una clasificación de las entidades por tipologías y, sobre todo, de cara a futuras vinculaciones, de la existencia de identificadores únicos y persistentes, asignados a cada entidad registrada. El cuidado en mantener dicho identificador en el tiempo y su control ante bajas y actualizaciones sería el siguiente requisito, pero es algo que aún no está muy extendido entre las instituciones gestoras de los mismos o no se cumple al 100%.

El valor natural, histórico y patrimonial del proyecto "Conoce tus Fuentes" ha motivado la incorporación al NGA de casi 13.000 altas de nuevos elementos hídricos omitidos en el MTA10 pues dado su nivel de detalle no se incluye al completo en una cartografía topográfica. Al ser un proyecto online colaborativo presenta algunas fluctuaciones de nombre o localización que se van resolviendo con la consulta de otros organismos y con la aplicación de criterios de

normalización toponímica de la NTCA 02-021, comunicados a CTF en el informe al productor. No obstante, la normalización previa llevada a cabo para su introducción en NGA, no implica su consideración como toponimia con estatus normalizado hasta que no sea validada por un organismo competente, como se está realizando con los asentamientos en el proyecto ITACA, cuyos nombres son validados técnicamente y después institucionalmente, en pleno, por los respectivos ayuntamientos.

Por otra parte, la retroalimentación que supone el “Informe al productor”, permite avanzar en la armonización y uso coordinado de nombres preferentes de cada entidad geográfica, independientemente de sus posibles nombres variantes, con el objeto de generar seguridad, evitar la ambigüedad y la confusión en el uso de la toponimia andaluza cada vez más empleada como identificador de búsqueda en los sistemas de información geográficas, infraestructuras de datos espaciales o navegadores.

Finalmente, de acuerdo con las Naciones Unidas, las acciones de normalización permiten reducir el costo global y obtener resultados más coherentes y de mayor utilidad para un gran número de organizaciones gubernamentales y no gubernamentales, así como para el público en general. La difusión de esa normalización, en el caso de la toponimia, no es fácil. Las vinculaciones con otras bases ayudan en esta divulgación de la norma, pero hay que seguir trabajando, no sólo en el inventario y normalización, sino también en la difusión de la propia toponimia normalizada contenida en el NGA, fomentando su reutilización y la colaboración con otros productores de toponimia general o temática del Sistema Estadístico y Cartográfico de Andalucía o del Sistema Cartográfico Nacional, con objeto de lograr una gestión pública más eficaz y coordinada de la toponimia de Andalucía.

Agradecimientos

Este trabajo no hubiera sido posible sin la existencia de proyectos tan interesantes como “Conoce tus Fuentes”. Queremos agradecer a los responsables de este proyecto su buen hacer y disposición con el proyecto del NGA. Así mismo, estos resultados han sido factibles gracias al proyecto PRJ201803302 de la Fundación de Investigación de la Universidad de Sevilla financiado por el Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía. Finalmente, agradecer los comentarios de los revisores anónimos que han contribuido a aclarar y mejorar algunos aspectos de este texto.

Disponibilidad de datos

Los datos empleados en este trabajo son de libre acceso desde:

<i>Denominación</i>	<i>Dirección Web</i>	<i>Tipo de servicio</i>
NGA-Buscador de Nombres Geográficos	http://www.ideandalucia.es/nomenclator/	Consulta y descarga parcial
NGA- servicio WFS	http://www.ideandalucia.es/wfs-nga/services?	Consulta y descarga parcial
NGA- servicio WFS-INSPIRE	http://www.ideandalucia.es/wfs-nga-inspire/services?	Consulta y descarga parcial
NGA- WMS-INSPIRE	http://www.ideandalucia.es/wms-nga-inspire/services?	Consulta
Conoce tus Fuentes	http://www.conocetusfuentes.com/home.ph	Consulta

Bibliografía

- Amón, I., & Jiménez, C. (2010). Funciones de similitud sobre cadenas de texto: una comparación basada en la naturaleza de los datos. *International Conference on Information Resources Management*.
- Arroyo Ilera, F. (2010). Creciente interés geográfico por la toponimia. *Estudios Geográficos*, 71(268), 299-309. <https://doi.org/10.3989/estgeogr.0600>
- Castillo Martín, A., & Sánchez Díaz, L. (2008). El proyecto Conoce tus Fuentes. *Acción*, 23. Recuperado de <http://proyectoaguas.es/download/Divulgacion/2008.d4.pdf>
- Caturla, C., Toscano, M. T., & Torrecillas, C. (2014). Estado de implementación de la subtemática "Utility and Governmental services" INSPIRE en Andalucía (sur de España). *V Jornadas Ibéricas de Infraestructuras de Datos Espaciales*. Recuperado de <https://idus.us.es/handle/11441/65476>
- Comission de Toponímia de Catalonha (2006). *Critèris entara toponímia d'encastre municipau*. Recuperado de https://territori.gencat.cat/ca/01_departament/documentacio/territori-i-urbanisme/cartografia/criteris_per_a_la_toponimia_dambit_municipal_criteris/
- Embuena Puerta, C. (2019). Nomenclátor toponímico valenciano. *Mapping*, 194, 6-11. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6925185>
- European Union (2007). Directiva 2007/2/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 14 de marzo de 2007 por la que se establece una infraestructura de información espacial en la Comunidad Europea (Inspire). *Diario Oficial de la Unión Europea*, (L. 108), 1-14. Recuperado de <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32013D1082&from=EN>
- Fons, M. E., & Gomila, X. (2019). Sobre la situación de la toponimia oficial en las Illes Balears: el Nomenclátor de Toponimia de Menorca y el futuro Nomenclátor Geográfico de las Illes Balears. *Mapping*, 28, 48-56. Recuperado de <http://ojs.revistamapping.com/index.php?journal=MAPPING&page=article&op=view&path%5B%5D=184&path%5B%5D=54>
- García Balboa, J. L., Ureña Cámara, M. A., Ariza López, J. F., Garrido Borrego, M. T., & Torrecillas Lozano, C. (2010). Análisis comparativo entre la base de datos de toponimia 1:10.000 (BTA10) y la toponimia contenida en la base de datos catastral. *1er Congreso Internacional de Catastro Unificado y Multipropósito*.

- Jaén*. Recuperado de http://coello.ujaen.es/congresos/cicum/ponencias/Cicum2010.2.14_GarciaBalboa_Analisis_comparativo.pdf
- Garrido Borrego, M. T., Nieto Calmaestra, J. A., & Torrecillas Lozano, C. (2018). Normalización de la toponimia de los asentamientos de población y actividad en Andalucía: El proyecto ITACA. *Boletín de la Real Sociedad Geográfica*, CLII, 127-144. Recuperado de <https://boletinrsg.com/index.php/boletinrsg/article/view/33>
- Garrido Borrego, M. T., & Torrecillas Lozano, C. (2009). Interoperabilidad del servicio de nomenclator y catálogo online del Instituto de Cartografía de Andalucía. *III Jornadas de SIG libre*. Universitat de Girona. Servei de Sistemes d'Informació Geogràfica i Teledetecció (SIGTE). Recuperado de <https://idus.us.es/handle/11441/65474>
- Garrido Borrego, M. T., & Torrecillas Lozano, C. (2011). Nomenclátor Geográfico de Andalucía. *Revista PH*, 19(77), 92. <https://doi.org/10.33349/2011.77.3109>
- Garrido Borrego, M. T., & Torrecillas Lozano, C. (2013a). Normalización de Toponimia en Andalucía: la Norma Técnica Cartográfica de Andalucía NTCA 02-021. *Mapping*, (162), 24-35. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4558632>
- Garrido Borrego, M. T., & Torrecillas Lozano, C. (2013b). *NTCA_02021 Normalización toponímica*. Recuperado de https://www.juntadeandalucia.es/institutodeestadisticaycartografia/ieagen/sea/ntca/02_procesos/NTCA_02021_Procesos_Normalizacion_Toponimica_BORRADOR.pdf
- Garrido Borrego, M. T., & Torrecillas Lozano, C. (2014). Servicios web de toponimia del Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía. *Els noms en la vida quotidiana. Actes del XXIV Congrés Internacional d'ICOS sobre Ciències Onomàstiques*. <https://doi.org/10.2436/15.8040.01.234>
- Gullón Muñoz-Repiso, T., Merino Martín, J., & Camón Soteres, L. (2016). Generación de Información Geográfica de Referencia (IGR) de Poblaciones: automatización de procesos. *Mapping*, (176), 46-57. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5444591>
- IECA, Junta de Andalucía (2011). Estado de desarrollo del programa de normas técnicas cartográficas de Andalucía. Recuperado 6 de enero de 2021, de <https://www.juntadeandalucia.es/institutodeestadisticaycartografia/ieagen/sea/ntca/estado.htm>
- IECA, Junta de Andalucía (2015). Datos Espaciales de Referencia de Andalucía. Recuperado 19 de mayo de 2018, de <https://www.juntadeandalucia.es/institutodeestadisticaycartografia/DERA/>
- INSPIRE Thematic Working Group Geographical Names (2009). D2.8.I.3 INSPIRE Data Specification on Geographical names. Recuperado 31 de octubre de 2019, de <https://inspire.ec.europa.eu/id/document/tg/gn>
- Junta de Andalucía (2007). Decreto 141/2006, de 18 de julio, por el que se ordena la actividad cartográfica en la Comunidad Autónoma de Andalucía. BOJA num. 154, de 9 de agosto de 2006. En Boletín Oficial de la Junta de Andalucía (pp. 8-14). Sevilla. Recuperado de <https://www.juntadeandalucia.es/boja/2006/154/1>
- Laborda, C., Recio, R., Agudo, J. M., & Rodríguez, A. F. (2009). Una aproximación a la búsqueda distribuida de topónimos. *VI Jornadas de la Infraestructura de Datos Espaciales de España (JIDE)*, Murcia.

- Llauger Rosselló, J. A., Ordinas Garau, A., & Planisi Gili, H. (2007). *Nomenclàtor de la toponímia major de les Illes Balears*. COFUC (Consorti per al Foment de la Llengua Catalana i la projecció exterior de la cultura de les Illes Balears). Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=766639>
- López-Pellicer, F. J., Béjar, R., Zarazaga-Soria, F. J., & Muro-Medrano, P. R. (2006). Aspectos de modelos e infraestructura de servicios para el soporte de un servicio nacional estándar de nomenclátor en web. *III Jornadas de Infraestructuras de Datos Espaciales (JIDEE)*. Castellón de la Plana. Recuperado de <http://docplayer.es/96168511-Aspectos-de-modelos-e-infraestructura-de-servicios-para-el-soporte-de-un-servicio-nacional-estandar-de-nomenclator-en-web.html>
- López, D., & Mulero, A. (2015). La contribución de los Datos Espaciales de Referencia de Andalucía (DERA) a la investigación geográfica: el caso de las parcelaciones ilegales del municipio de Córdoba. *XXIV Congreso de la AGE: Análisis espacial y representación geográfica: innovación y aplicación* (195-204). Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7386267>
- Múgica, M., & Mendoza, J. L. (1993). De toponimia navarra. Sobre el "Nomenclátor euskérico de Navarra" Aspectos filológicos y sociológicos. *Asju*, 27(2), 551-574. Recuperado de <http://www.ehu.es/ojs/index.php/ASJU/article/view/8363>
- Muñoz Cruz, V. (2001). Hacia un Sistema Integrado de Patrimonio Histórico de Andalucía: la base de datos del Patrimonio Inmueble. *Revista PH*, 37(37), 223. <https://doi.org/10.33349/2001.37.1294>
- Naciones Unidas. (2007). *Novena Conferencia de las Naciones Unidas sobre la Normalización de los Nombres Geográficos Nueva York*, 21 a 30 de agosto de 2007.
- Olvera Lobo, M. D., & Gutiérrez Artacho, J. (2014). Visibilidad y presencia de los bienes inmuebles de Andalucía en la Web 2.0, 1-11. Recuperado de <http://digibug.ugr.es/handle/10481/35872>
- Popescu, A., Grefenstette, G., & Moëllic, P. A. (2008). Gazetiki: Automatic creation of a geographical gazetteer. *Proceedings of the ACM International Conference on Digital Libraries* (pp. 85-93).
- Portolés Rodríguez, D., Martínez Cebolla, R., López Martín, F. G., & Monteagudo Latorre, S. (2013). Incorporación de la participación ciudadana en el aseguramiento de la calidad de un nomenclátor de topónimos. *Scire*, 19(2), 83-90. Recuperado de <https://ibersid.eu/ojs/index.php/scire/article/view/4089/3732>
- Rabella i Ribas, J. A. (2004). El nomenclàtor a Catalunya. *Llengua nacional: publicació de l'Associació Llengua Nacional*, 46, 20. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3382379>
- Rodríguez Pascual, A., López Rodríguez, E., Abad Power, P., & Sánchez Maganto, A. (2006). *Modelo de Nomenclátor de España v1.2*. Madrid.
- Sánchez-Díaz, L., Robles-Arenas, V. M., Castillo, A., & Fernández-Palacios, J. M. (2012). El proyecto Conoce tus Fuentes: cuatro años dando a conocer los manantiales y fuentes de Andalucía. *SIAGA* (839-848). Cádiz. Recuperado de <http://proyectoaguas.es/download/Articulos/2012.a8.pdf>
- Sánchez Díaz, F. J., & Torrecillas Lozano, C. (2003). Las infraestructuras de datos espaciales. *Mapping*, (86), 41-43. Recuperado de <http://dialnet.unirioja.es/servlet/extart?codigo=499659>
- Santos, R., Murrieta-Flores, P., & Martins, B. (2017). Learning to combine multiple string similarity metrics for effective toponym matching. *International Journal of Digital Earth*, 0(0), 1-26. <https://doi.org/10.1080/17538947.2017.1371253>

- Tort i Donada, J. (2000). Toponimia y territorio: Los nombres de los núcleos de población de la comarca del Baix Camp, Tarragona, desde una perspectiva onomasiológica. *Scripta Nova. Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*, 4(4), 67.
<https://revistes.ub.edu/index.php/ScriptaNova/article/view/196>
- Toscano Domínguez, M. T. (2013). NTCA_06003 *Evaluación de la Toponimia*. Recuperado de https://www.juntadeandalucia.es/institutodeestadisticaycartografia/ieagen/sea/ntca/06_calidad/NTCA_06-003_Evaluaci%C3%B3n%20de%20la%20Toponimia_BORRADOR.pdf
- Vázquez Hoehne, A., Rodríguez de Castro, A., Pavo López, M., Montilla Lillo, M., & Castaño Suárez, A. (2015). Valoración del cotejo del Nomenclátor Geográfico Básico de España con los nomenclátors de las distintas comunidades autónomas. En *La Toponimia en el mundo actual. Entre el patrimonio cultural y el dato georreferenciado*. IV Jornada de la Comisión Especializada de Nombres Geográficos (CENG). Valladolid: E.T.S.I. en Topografía, Geodesia y Cartografía (UPM). Recuperado de https://www.mitma.gob.es/recursos_mfom/pdf/D6051C50-B465-4141-B6BB-2846918FCE51/131710/10_Valoracion.pdf

Caracterización del error en MDE por mixtura de distribuciones

Characterization DEM Error by Distribution mixtures

José Rodríguez Avi¹

Recibido 29 de enero de 2021; aceptado 25 de marzo de 2021

RESUMEN

La exactitud posicional de los modelos digitales de elevaciones (MDE) suele evaluarse por medio del análisis del error vertical que se observa en muestras de puntos. Las técnicas estadísticas tradicionales suponen que los errores altimétricos siguen distribuciones normales, pero se sabe que esto no es cierto en numerosas ocasiones. En este trabajo se propone, de manera pionera en el campo de los MDE, la utilización de técnicas basadas en la determinación de mixturas (o mezclas) de distribuciones normales para aproximar mejor la distribución de error observada. Se propone un método para aplicar el proceso y se aplica al caso de errores en unos datos reales procedentes de MDE de 2x2 m de paso de malla (referencia) y de 5x5 m (producto).

Palabras clave: MDE, exactitud posicional, Modelos de mixturas finitas, distribución normal.

ABSTRACT

The positional accuracy of Digital Elevation Models (DEM) is usually assessed by analyzing the vertical error observed in point samples. The traditional statistical techniques suppose that altimetry errors verify normal distributions, but, in practice, this is not true in many cases. In this work, the use of techniques based on the determinacy of Gaussian finite mixture models is presented in a novel way in the field of DEM, to better approximate the observed error distribution. A methodology to apply the process is proposed and it is applied to real data from DEM of 2x2 m spatial resolution (reference) and 5x5 m (product).

Key words: DEM, spatial accuracy, Finite mixture models, normal distribution.

1 Universidad de Jaén, España, correo electrónico: jravi@ujaen.es.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1673-9876>

1. Introducción

Los modelos digitales de elevaciones del terreno (MDE) son datos topográficos que siguiendo un modelo (p.ej. curvas de nivel, nubes de puntos, mallas, redes de triángulos, etc.) representan digitalmente las elevaciones (cotas o altimetría) del terreno desnudo. Los MDE son datos de gran relevancia y se han incluido como un tema de INSPIRE y de NNUU. Los MDE tienen aplicación en numerosas ramas de la ciencia y de la ingeniería y se utilizan principalmente para el cálculo de la altura, la pendiente, orientación y delimitación de cuencas (Ariza-López y col., 2018).

La calidad de los MDE suele entenderse en el ámbito geomático como la exactitud posicional altimétrica de los datos. Son muy numerosas las aproximaciones y métodos desarrollados para evaluar esta exactitud posicional (Mesa-Mingorance & Ariza-López, 2020). La mejor forma de evaluar o controlar la exactitud posicional es aplicando métodos estandarizados. Una guía actual de los más destacados se presenta en Ariza-López y col. (2018). Entre otros muchos, algunos de estos métodos son el NMAS (USBB, 1947), el NSSDA (FGDC, 1998), el EMAS (ASCE, 1983), las propuestas de la ASPRS (ASPRS, 1990, 2015) y la propuesta de EuroSDR basada en medidas con un enfoque paramétrico (Höhle & Potuckova, 2011). Ariza-López y Atkinson-Gordo (2008) indican que muchos de los métodos existentes para la evaluación de la exactitud posicional se basan en el supuesto de normalidad de los errores. Sin embargo, muchos trabajos (Zandbergen, 2008, 2011; Maune, 2007) indican que los errores de posición no se distribuyen normalmente.

La distribución normal es una distribución adecuada para representar variables aleatorias de valor real. Por lo tanto, plenamente adecuada para describir el error altimétrico. Sin embargo, la abundancia de referencias que indican la no normalidad de los datos de error posicional altimétrico conduce a tres preguntas importantes: (1) ¿por qué estos errores pueden no estar distribuidos normalmente?, (2) ¿cómo afecta la falta de normalidad a los métodos basados en el supuesto de datos distribuidos normalmente? y finalmente, (3) ¿cómo podemos trabajar con estos datos?

Para la primera pregunta, y desde un punto de vista general, se pueden considerar seis causas principales de la no normalidad en un conjunto de errores posicionales: (i) la presencia de demasiados valores extremos (es decir, valores atípicos), (ii) la superposición de dos o más procesos (p.ej. de captura, de evaluación, etc.), (iii) insuficiente discriminación de datos (por ejemplo, errores de redondeo, mala resolución), (iv) la eliminación de datos de la muestra, (v) la distribución de valores cercanos a cero o a su límite natural, y (vi) datos que siguen una distribución diferente (por ejemplo, Weibull, Gamma, etc.). Además, para mayor complejidad, algunas de estas causas pueden aparecer juntas.

Con respecto a la segunda pregunta, y trabajando con métodos basados en el supuesto de normalidad de los datos, la no normalidad de éstos puede tener varias consecuencias dependiendo del grado de no normalidad y la robustez del

método aplicado. En este caso, la no normalidad viola un supuesto básico del método, y esta violación es importante desde una perspectiva estricta.

Finalmente, para responder a la tercera pregunta, hasta la fecha se han considerado dos alternativas: (a) los datos no se distribuyen normalmente, pero siguen alguna otra función de distribución paramétrica (por ejemplo, Weibull, Gamma, etc.), (b) los datos no siguen una distribución paramétrica. En este trabajo se explora una tercera vía que consiste en suponer que los datos de error altimétrico realmente no proceden de una única distribución y que, por el contrario, son el resultado de la mezcla o mixtura de varias distribuciones. Esta tercera vía es muy potente, e interesante, pues consiste en descomponer la función de densidad observada en una composición de un cierto número de funciones normales tal que la aproximen adecuadamente, es decir, se trabaja con una herramienta equivalente a lo que en análisis de señales consiste en descomponer una señal por medio de series de funciones seno/coseno (transformada de Fourier).

La idea subyacente es que la variable observada realmente procede de una mezcla de datos de distribuciones que siguen un mismo modelo (el normal), pero con diferentes parámetros. De esta manera, la probabilidad de un valor observado procede de la mezcla de las probabilidades de que proceda de cada una de las distribuciones que componen la mixtura. Los primeros trabajos se remontan a 1894, cuando Pearson trabajó con la mezcla de dos distribuciones normales con la misma varianza y ha sido desarrollada por múltiples investigadores (una revisión detallada puede verse en McLachlan-Peel, 2000; McLachlan *et al.*, 2019, o Huang *et al.*, 2017 y algunos ejemplos de aplicaciones recientes de mixturas en diferentes campos pueden verse en Pan *et al.*, 2020; Sallay *et al.*, 2020; Zhao *et al.*, 2021 o Li *et al.*, 2021).

El objetivo de este artículo es proponer un método estadístico nuevo y general para la evaluación de la exactitud posicional altimétrica que se pueda aplicar a cualquier tipo de datos de error procedentes de MDE.

Este documento se organiza de la siguiente manera. La sección 2, presenta una aproximación conceptual básica a la mixtura de distribuciones normales. En la sección 3, se propone un método de aplicación y en la sección 4 se aplica paso a paso, el método propuesto al caso de datos procedentes de dos productos MDE con pasos de malla de 2x2 y 5x5. La sección 5, presenta la discusión y finalmente, se incluyen unas conclusiones generales.

2. Mixtura de distribuciones normales

WUna causa frecuente de no normalidad es la existencia de subgrupos dentro de la población que no son previamente conocidos, de modo que, aunque cada uno de esos subgrupos sigan una distribución normal diferente, la combinación de todos ellos producen un resultado que no se distribuye normalmente. Una manera de detectar estos subgrupos es tratar de determinar, por medio de sus parámetros (media y desviación), cuáles son las distribuciones normales que se mezclan en la composición de la distribución original.

Una técnica para detectar y obtener estas componentes consiste en el estudio de las mezclas finitas de distribuciones normales. Desde un punto de vista teórico, supongamos que el vector X_1, \dots, X_n es una muestra aleatoria simple procedente de una mezcla de $k > 1$ distribuciones arbitrarias de probabilidad, cada una de ellas con una función de densidad ϕ_j . Entonces, la función de densidad de cada X_i viene expresada por:

$$g_\theta(x_i) = \sum_{j=1}^k \pi_j \phi_j(x_i), \quad x_i \in \mathbb{R}^r \quad (1)$$

en dónde $\theta \in \Theta = (\pi, \phi) = (\pi_1, \dots, \pi_k, \phi_1, \dots, \phi_k)$ es el vector de parámetros de modo que π_j es la probabilidad en la que la densidad j aparece en la mezcla, en donde $\pi_1 + \dots + \pi_k = 1$ y todos mayores de 0. Además, suponemos que cada ϕ_j procede de alguna familia de distribuciones de probabilidad absolutamente continuas, F . Vamos a considerar el caso en que F es la familia de distribuciones normales univariantes, es decir, $F = \{\phi(\cdot | \mu, \sigma)\}$ es el conjunto de funciones de densidad $N(\mu, \sigma)$, $(\mu, \sigma) \in \mathbb{R} \times \mathbb{R}^+$, por lo que el vector de parámetros que hay que estimar, θ , se reduce a $\theta = (\pi_1, \dots, \pi_k, (\mu_1, \sigma_1), \dots, (\mu_k, \sigma_k))$.

Por tanto, para determinar las distribuciones que componen la mezcla se requiere estimar los $3k$ parámetros del vector θ . Para ello se puede utilizar el algoritmo EM (algoritmo de maximización de expectativas) desarrollado por Dempster *et al.* (1977), que ofrece una solución iterativa del cálculo de estimaciones de máxima verosimilitud (ML) en problemas con valores faltantes. Su uso se ha extendido no solo para datos evidentemente incompletos (datos faltantes, distribuciones truncadas, observaciones censuradas o agrupadas), sino también modelos estadísticos donde la falta de los datos no es tan evidente (McLachlan-Krishnan, 2008), como ocurre con distribuciones que surgen como mezclas (Karlis, 2005), dado que pueden verse como un caso particular de estimación ML en donde las observaciones pueden considerarse como datos incompletos. En este caso vamos a utilizar el algoritmo EM implementado en el paquete mixtools de R (Benaglia *et al.*, 2009; R Core Team, 2020), que produce una estimación del vector de parámetros θ en función del número de distribuciones mixtantes consideradas.

Una vez estimados los parámetros θ , y aplicando el teorema de Bayes, se puede proceder a realizar un agrupamiento probabilístico que asigna cada punto del conjunto original mezclado a aquella distribución normal a la que es más probable que pertenezca, según las probabilidades a posteriori. Así:

$$\hat{\pi}_{ij} = \frac{\hat{\pi}_j f_j(x_i | (\hat{\mu}_j, \hat{\sigma}_j))}{\sum_{k=1}^g \hat{\pi}_k f_k(x_i | (\hat{\mu}_k, \hat{\sigma}_k))}, \quad x_i \in \mathbb{R}^r \quad (2)$$

en donde g es el número de distribuciones que componen la mezcla y $\hat{\pi}_{ij}$ es la probabilidad a posteriori de que el punto x_i pertenezca a la población con función de densidad f_i . De esta manera, dada una observación x_i , ésta se asigna a aquella distribución normal para la que la citada probabilidad sea máxima.

3. Método de aplicación

Tomando como herramienta central el análisis estadístico de mixturas finita de distribuciones, en este apartado se propone un método para aplicarlo al caso de las discrepancias altimétricas entre MDE. El método es el siguiente:

- Decisión sobre población o muestra. En primer lugar, se debe decidir si trabajar con el total de la población de discrepancias o con una muestra. Esto vendrá determinado por las condiciones y necesidades específicas de cada caso, y no condiciona los pasos subsiguientes.
- Aproximación a los datos. Consiste en un análisis estadístico-descriptivo para conocer mejor los datos con los que se trabaja. Se debe incluir un análisis de la normalidad puesto que, si los datos fueran normales, no tendría sentido proceder a la descomposición como mixtura. Siendo los datos no normales, se requiere especialmente un estudio detallado del histograma en la línea de buscar sus componentes de una manera visual (véase 4.3).
- Selección del modelo. Consiste en determinar el número de distribuciones normales que se considera se mezclan dando el modelo general. Esta decisión se basa en el estudio del histograma indicado en el punto anterior.
- Obtención de los parámetros por el algoritmo EM y análisis de los resultados. Se procederá a ejecutar el proceso de estimación EM y, como resultado, se obtendrán los parámetros de la cada una de las normales mixtantes y su peso en la mezcla.
- Expansión del ajuste a la población. Si se ha trabajado con la población este punto no tiene necesidad. En el caso de trabajar con muestras, se deberá aplicar el modelo a todas y cada una de las discrepancias que conforman la población.
- Análisis de los resultados. Los resultados se analizarán en un marco estadístico y espacial, en el contexto de la zona de trabajo y los medios que originaron los datos con los que se ha trabajado.

4. Aplicación a un caso real

Una vez presentados los principios estadísticos del análisis de mixturas y el método propuesto, en este apartado nos focalizaremos en aplicar ambos sobre un caso real. Primeramente, se presentan los datos y posteriormente cada una de las fases del método expuesto en la sección 3.

4.1 El conjunto de datos y su descripción numérica

Se va a trabajar con las discrepancias altimétricas entre dos conjuntos de datos MDE que se considerarán como errores altimétricos. Los MDE corresponden a la zona de Allo (Navarra, España, hoja 0172 del Mapa topográfico nacional), y son:

- MDE02. Modelo digital de elevaciones a resolución de 2x2 m, generado en 2017 y procedente del levantamiento LiDAR del proyecto PNOA (<https://pnoa.ign.es/>)

(<https://pnoa.ign.es/estado-del-proyecto-lidar/segunda-cobertura>). Este conjunto de datos será considerado como referencia en este trabajo.

- MDE05. Modelo digital de elevaciones a resolución de 5x5 m, generado en 2012 y procedente del levantamiento LiDAR del proyecto PNOA (<https://pnoa.ign.es/estado-del-proyecto-lidar/primera-cobertura>). Este conjunto de datos será considerado como producto a evaluar.

Ambos conjuntos de datos proceden del Instituto Geográfico Nacional de España (<https://www.ign.es>) y están a libre disposición en el centro de descargas. La Figura 1 presenta una visión general de la zona de trabajo. La zona de trabajo posee una topografía variada (valles, torrenteras, zonas onduladas, etc.), que ofrece diversidad de situaciones.

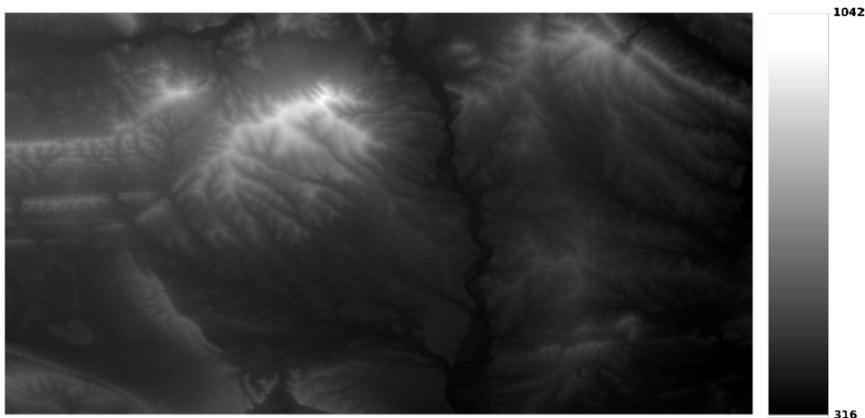


Figura 1. Zona de trabajo (Allo, Navarra, España, hoja 0172 del Mapa Topográfico Nacional).

4.2. Decisión sobre población o muestra

En este caso se ha decidido trabajar con una muestra para la determinación del número de normales y la estimación de los parámetros. La selección de una u otra perspectiva se relaciona con diferentes factores, entre ellos, capacidad de cálculo, aplicabilidad de los resultados, etc. En este caso la muestra se compone de 338 635 puntos agrupados en 59 polígonos de los que se han extraído las altitudes en MDE05 y MDE02.

4.3. Aproximación a los datos

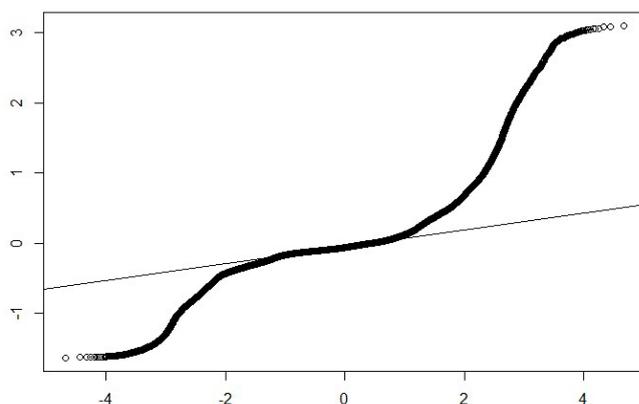
Los datos a analizar se corresponden con las discrepancias entre MDE05 y MDE02, tomando como referencia MDE02 dado que procede de una fuente de más exactitud. Un análisis descriptivo de las discrepancias altimétricas que conforman la muestra aparece en la Tabla 1.

Tabla 1. Análisis descriptivo de los datos de la muestra

<i>Media</i>	<i>Mediana</i>	<i>Desv. típica</i>	<i>Mín.</i>	<i>Q1</i>	<i>Q3</i>	<i>Máx.</i>
-0.0175	-0.0605	0.2800	-1.6284	-0.1257	0.0356	3.0940

De aquí se desprende que los datos aparecen muy levemente sesgados a la izquierda en media y con una desviación típica relativamente elevada. Además, dado que la mediana es menor que la media, los datos presentan cierta asimetría a la derecha, lo que se corrobora al ver los valores mínimo y máximo.

Para analizar la normalidad, la Figura 2 muestra el gráfico en “papel probabilístico normal”, de las discrepancias o errores posicionales verticales. En él se puede observar cómo la curva presenta una forma sinuosa y se separa mucho de la línea recta dibujada y que se corresponde con una normal de media y desviación correspondientes a los valores presentados en la Tabla 1. En este tipo de gráfico, cuanto más se separa la curva de la recta, tanta mayor es la falta de normalidad de los datos. Esta figura evidencia que no se podría aplicar un método de evaluación de la exactitud posicional basado en la normalidad, si bien podrían aplicarse métodos basados en proporciones como el propuesto por Ariza-López y Rodríguez-Avi (2019).

**Figura 2.** Gráfico de los errores en papel probabilístico normal.

Una parte importante del método gráfico para determinar el número de distribuciones es el análisis del histograma. Para ello, la Figura 3 muestra el histograma general y completo, y en la Figura 4, dos niveles de zoom de mayor detalle. En la Figura 3 se observan varios picos, modas locales y colas a izquierda y derecha. En la Figura 4, enfocada en los valores centrales, se obtiene más detalle de lo que ocurre en la parte donde se acumulan más casos y donde

se evidencian, aún más, la superposición de distribuciones. Si comparamos la forma de ésta con el histograma de una distribución normal, podemos observar la presencia de diferentes modas locales y engrosamientos de los laterales. Esto, junto a la sinuosidad presente en la Figura 2, invita a considerar que los datos pueden ser explicados como mixtura de diferentes distribuciones normales.

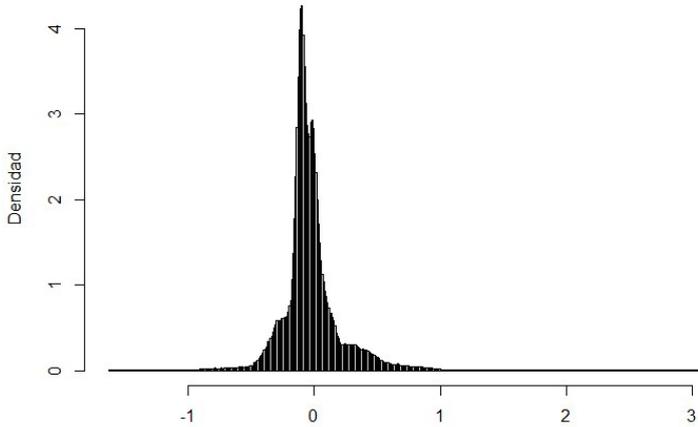


Figura 3. Histograma de los errores altimétricos (eje X en metros).

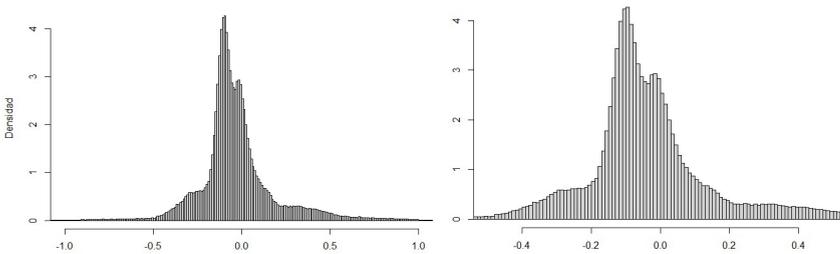


Figura 4. Histograma de los errores con límites de -1 m a 1 m (izquierda) y de -0.5 m a 0.5 m (derecha).

4.4. Selección del modelo

Este paso consiste en determinar el número de distribuciones normales que componen la mezcla que mejor se ajusta a los datos (histograma general). Para ello proponemos optar por un acercamiento gráfico a partir de lo mostrado en las figuras anteriores. De esta forma, la presencia de modas y sus posibles colas, nos sugieren una posible mezcla de 6 distribuciones normales

diferentes. Indudablemente, este proceso puede ser iterativo (prueba y error) y abarcar los pasos subsiguientes que sea menester. En esta decisión jugará un papel importante la experiencia que se vaya adquiriendo en este tipo de análisis.

4.5. Ajuste por medio de EM y análisis de los resultados

Una vez seleccionado el número de normales, se debe proceder al ajuste del modelo y al análisis de los resultados. El proceso de ajuste se realiza con la función `normalmixEM` del paquete `mixtools` de R, como se ha comentado anteriormente. Tras alimentar la función con los datos y tomar la decisión de no introducir probabilidades *a priori* para las categorías consideradas, la herramienta ofrece como resultado un total de 18 parámetros, consistentes en los 6 pares de media y desviación típica de cada distribución normal, y el vector de proporciones de datos en cada distribución normal. Los resultados se muestran en la Tabla 2, en donde la media y la desviación típica vienen medidos en metros.

Tabla 2. Vector de parámetros estimados

Parámetro	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Grupo 5	Grupo 6
μ	0.326	-0.102	-0.255	-0.011	-0.061	-0.084
σ	0.885	0.036	0.084	0.033	0.060	0.309
π	4.70%	34.18%	9.05%	17.13%	9.27%	25.76%

De la Tabla 2 se deduce que las 6 distribuciones estimadas son $N1(0.326;0.885)$, que representa al 4.60% de los datos; $N2(-0.102;0.036)$, que representa al 34.18% de los datos; $N3(-0.255;0.084)$, que representa al 9.05% de los datos; $N4(-0.011;0.033)$, que representa al 17.13% de los datos; $N5(-0.061;0.060)$, que representa al 9.27% de los datos y $N6(-0.084;0.309)$, que representa al 25.76% restante de los datos. Es decir, hay un conjunto pequeño de datos que se encuentran sesgados a la derecha y muy dispersos, y tan sólo un 17% de datos corresponden a errores con media prácticamente 0. Es de destacar también altos valores de las desviaciones típicas y que los grupos con mayores probabilidades de pertenencia están sesgados a la izquierda y a la derecha, éste último con una desviación típica elevada. La Figura 5 representa gráficamente el ajuste de las 6 distribuciones normales y el ajuste a la verdadera densidad observada, que es la línea punteada.

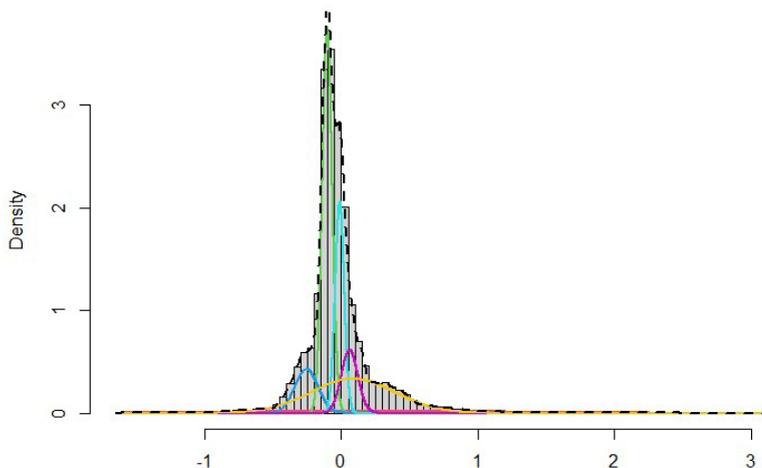


Figura 5. Histograma y curvas de densidad de la mezcla de 6 normales.

4.6. Expansión del ajuste a la población

Una vez obtenidas las distribuciones normales el paso siguiente consiste en asignar cada valor de la población a la distribución normal a la que es más probable que pertenezca. Para ello se parte de la matriz que contiene las probabilidades *a posteriori* de pertenencia a grupos, obtenida a partir de (2) y se considera que un elemento pertenece a la distribución normal en la que esa probabilidad de pertenencia sea máxima. Un ejemplo de este procedimiento se muestra en la Tabla 3 donde se presentan tres puntos del MDE identificados, por lo que se conoce su posición, y el valor de discrepancia entre MDE05 y MDE02 y las probabilidades de pertenencia a cada una de las normales. De modo que el primer punto se asigna a la distribución 6, el segundo a la distribución 3, el tercero a la distribución 1 y así se haría sucesivamente con todos los puntos de la población.

Tabla 3. Matriz de probabilidades *a posteriori* (ejemplo)

ID-Punto	Discrepancia	N1	N2	N3	N4	N5	N6
141943	-0.507	0.186	0.000	0.068	0.000	0.000	0.746
123661	-0.220	0.027	0.030	0.620	0.000	0.000	0.323
95477	1.244	0.977	0.000	0.000	0.000	0.000	0.023
75233	0.672	0.262	0.000	0.000	0.000	0.000	0.738

De la forma indicada en el párrafo anterior, se ha calculado la probabilidad de pertenencia de cada una de las posiciones del MDE para cada una de las normales consideradas. Esto es lo que se presenta en la Figura 6. En cada sub-figura se presenta el valor de la probabilidad asignada en una escala que va del blanco (cero), hasta el rojo (1), pasando por una gama de colores amarillos y naranjas. Mientras que la Figura 7 presenta la probabilidad máxima de pertenencia. Como se puede observar en la Figura 6, para el caso de N1 abundan mucho el blanco, lo que quiere decir que hay mucho espacio con probabilidad de pertenencia baja a esta normal, la cual es muy selectiva, pues como vemos los valores rojos se concentran en algunas zonas aisladas. No ocurre lo mismo con N2, en este caso hay zonas de valor nulo, pero existe un marcado tono rojizo generalizado que indica alta probabilidad de pertenencia. Los casos de N3, N4 y N5 son casos en los que hay ciertas zonas en blanco, pero el resto del espacio tiene una probabilidad de pertenencia media. En el caso de N6 se observa que se cubre casi todo el espacio con probabilidades medias y altas. En La Figura 7 se muestra la probabilidad que finalmente se asigna a cada posición, que se corresponde con el $\max(P(N1), P(N2), P(N3), P(N4), P(N5), P(N6))$, por lo que los tonos rojizos están mucho más subidos.

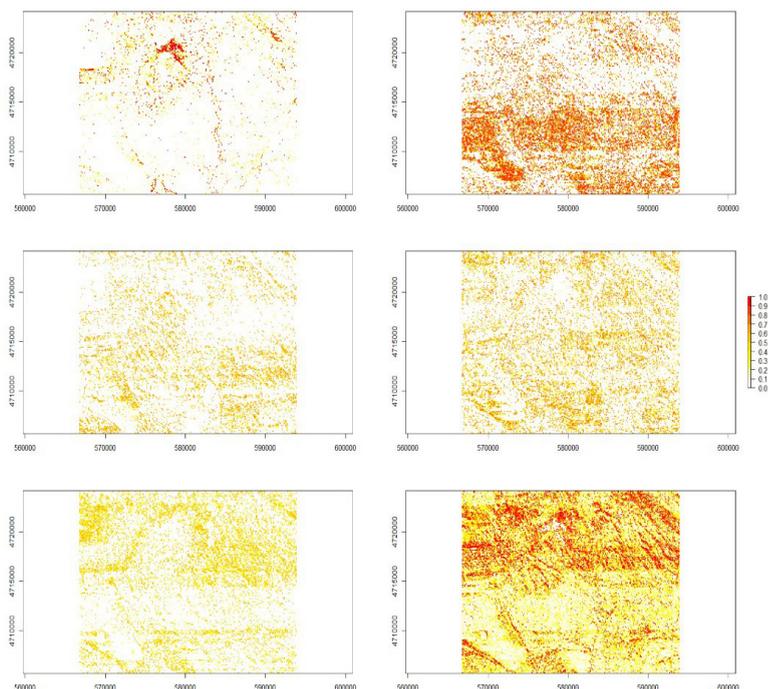


Figura 6. Mapas de probabilidad de pertenencia a cada una de las 6 normales consideradas (N1, N2... N6) ordenadas de izquierda a derecha y de arriba a abajo.

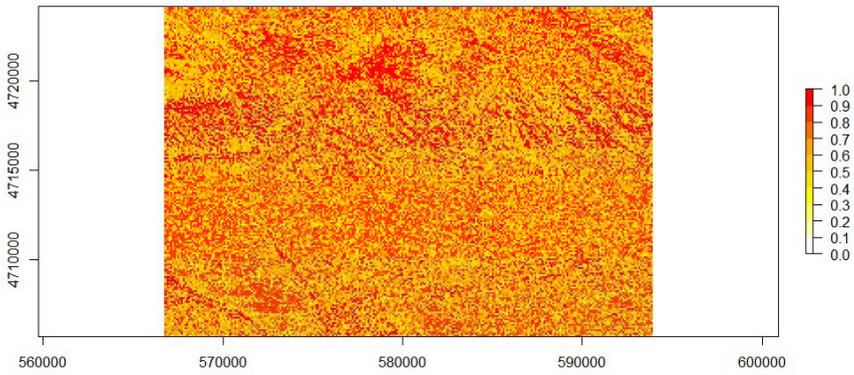


Figura 7. Probabilidad máxima asignada a cada posición.

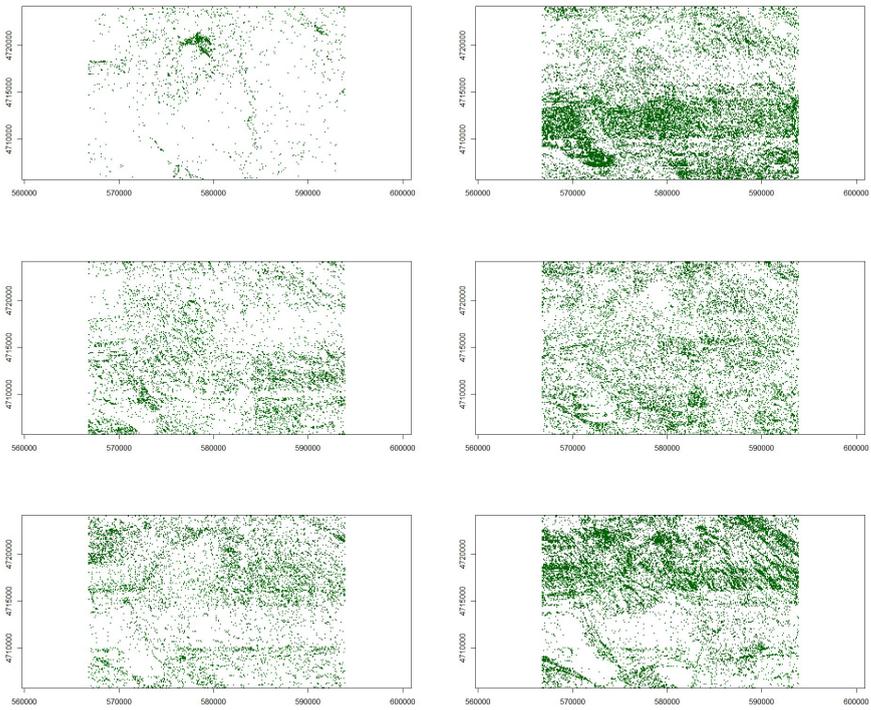


Figura 8. Asignación espacial en cada una de las categorías consideradas.

En cuanto a la asignación a cada una de las categorías definidas por cada una de las normales, la Figura 8 presenta la asignación de la clase que ofrece el valor a la función $\text{MAX}(P(N1), P(N2), P(N3), P(N4), P(N5), P(N6))$. En cada sub-figura se presenta la asignación espacial a esa categoría (verde= asignado, blanco= no asignado). Si bien, salvo la asignación a la N1, que muestra una distribución espacial muy restringida, el resto de asignaciones presenta una amplia cobertura de la zona de trabajo, en estas figuras se pueden observar patrones de asignación que poseen cierta relación con las características orográficas del terreno (p.ej. N2 en la zona sur y N6 en la zona norte). Finalmente, la Figura 9 presenta la visión conjunta de todas las asignaciones.

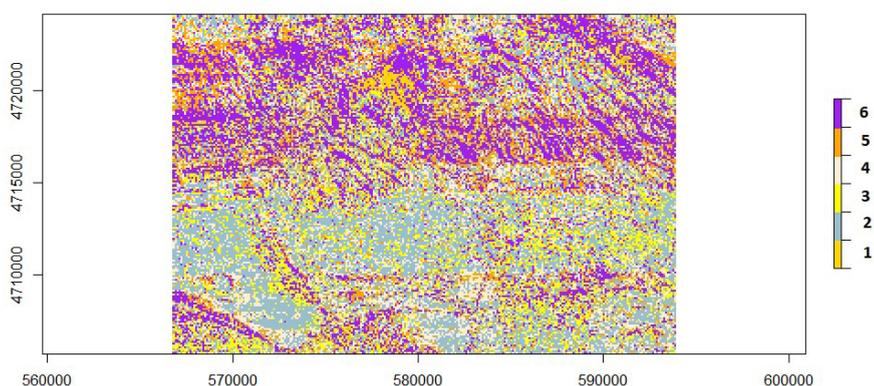


Figura 9. Asignación espacial por categorías.

4.7. Análisis de los resultados

En este trabajo se propone la posibilidad de utilizar el método de mixturas finitas de distribuciones para modelizar valores procedentes del estudio de errores en altimetría, para lo cual se ha optado por un método gráfico para determinar el tamaño de la mezcla. En este sentido, en el ejemplo presentado, para mayor simpleza, se ha considerado sólo el caso de 6 normales provenientes de un análisis visual del histograma. Desde un punto de vista estadístico el ajuste a un modelo de 6 normales podría ser discutido en cuanto a su bondad: por qué no 5 normales, o por qué no 7 u 8 normales. Este proceso puede ser más robusto desde el punto de vista estadístico si se ensayara un conjunto de opciones (p.ej. de 2 a 10 mixturas) y se analizara la bondad de cada uno de los resultados por medio de índices como criterio de Información de Akaike (AIC) o el criterio de información bayesiano (BIC) entre otros, y que son utilizados en el ajuste de modelos (Cameron-Trivedi, 2013). Este análisis no es costoso más allá del tiempo de cálculo que requiere el EM para una gran cantidad de datos.

En relación a los resultados obtenidos, se puede analizar la tipología de éstos y, para el caso bajo estudio, la adecuación a la realidad del terreno. Desde el

primer punto de vista, consideramos que los resultados son muy valiosos pues ofrecen la oportunidad de seguir trabajando con el paramétrico de la normal, pero de una manera mucho más cercana a la realidad. Para ello vamos a calcular la probabilidad teórica de diversos valores de la variable y comprobar cuál es su correspondiente contrapartida en los datos observados.

Para calcular una probabilidad teórica a partir del modelo de mixturas, se puede utilizar el Teorema de la Probabilidad Total, de manera que la probabilidad de un punto es:

$$P[E = x] = \sum_{i=1}^6 \pi_i P[E = x | E \hookrightarrow Ni] \quad (3)$$

es decir, la probabilidad que se obtiene en cada una de las 6 normales multiplicada por la probabilidad a priori de pertenencia, π_i .

La Tabla 4 muestra la comparación entre la media y los cuartiles obtenida desde del modelo poblacional y la estimada a partir de la muestra. Para comparar los resultados, la última fila muestra los valores que se obtendrían si la población siguiese una única distribución normal $N(-0.0175, 0.2800)$, con los parámetros estimados a partir de la muestra.

Tabla 4. Comparación entre el modelo y la muestra (I)

<i>Parámetro</i>	<i>Media</i>	<i>Mediana</i>	<i>Q1</i>	<i>Q3</i>
Valor en la Muestra	-0.0175	-0.0605	-0.1257	0.0356
Valor en el Modelo Mixtante	-0.0174	-0.0603	-0.1261	0.0353
Valor en la $N(-0.0175, 0.2800)$	-0.0175	-0.0175	0.0474	0.1713

Del mismo modo, la Tabla 5 muestra la probabilidad de los valores indicados a partir del modelo obtenido por la mixtura y por la distribución $N(-0.0175, 0.2800)$, con los parámetros estimados a partir de la muestra (dos últimas filas).

Tabla 5. Comparación entre el modelo y la muestra (II)

<i>Valor</i>	$\leq 0m$	$< -1m$	$> 0.50 m$	$\geq 1m$
Proporción en la muestra	0.6716	0.0027	0.0393	0.0099
Probabilidad en el Modelo mixtante	0.6706	0.0031	0.0423	0.0106
Probabilidad en la $N(-0.0175, 0.2800)$	0.5249	0.0002	0.0323	0.0001

En ambas tablas se observa como el modelo teórico obtenido a partir de la mixtura de las 6 normales proporciona una buena aproximación a los datos muestrales. Una comprobación gráfica del ajuste se muestra en la Figura 10, en donde la línea representa la densidad teórica superpuesta al histograma de la Figura 1, y los valores de la variable están medidos en metros.

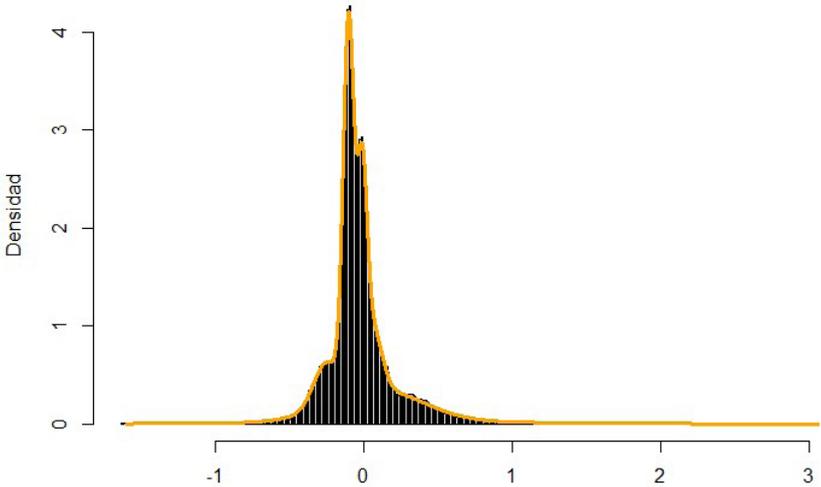


Figura 10. Histograma (barras) y función de densidad teórica (línea) del Error.

La Figura 11 muestra una ampliación detallada para los valores centrales, entre -1 y 1 (izquierda) y entre -0.5 y 0.5 (derecha) para apreciar con detalle cómo el modelo teórico se ajusta a los datos muestrales, incluso en las modas locales.

Del mismo modo, la Figura 12 muestra el gráfico de cuantiles (QQ-plot), en donde se observa que la representación gráfica es prácticamente una línea recta diagonal, lo que demuestra que el ajuste es muy bueno.

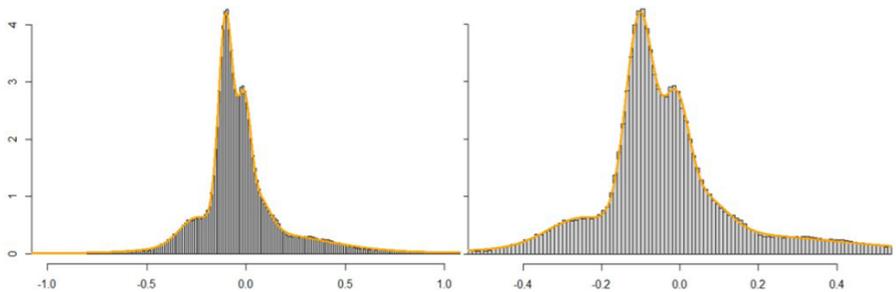


Figura 11. Histograma y densidad teórica ampliadas.

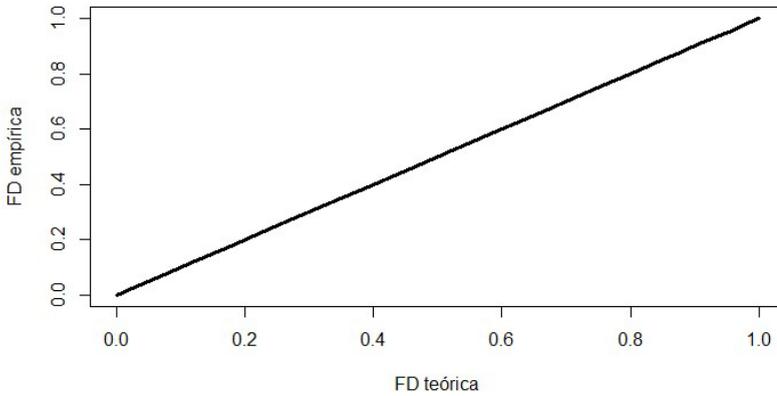


Figura 12. QQ-plot entre el modelo teórico (FD teórica) y los datos observados (FD empírica).

Esto se reafirma al calcular la distancia de Kolmogorov-Smirnov entre ambas funciones de distribución, en dónde el resultado es 0.00030.

Adicionalmente la Figura 13 muestra la comparación entre las funciones de distribución del modelo y empírica en el rango de error entre -0.5 m y 0.5 m, en la que se observa como ambas líneas se superponen prácticamente.

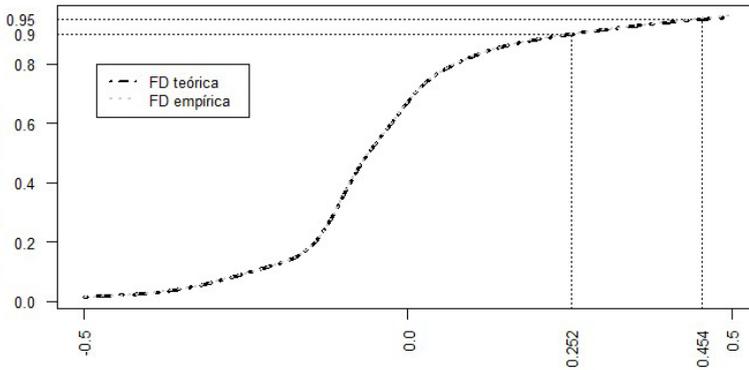


Figura 13. Comparación de las Funciones de distribución teórica y empírica (rango entre -0.5 m y 0.5 m) y cuantiles del 90% y del 95%.

Esta información sobre el modelo puede utilizarse para determinar cuantiles en el modelo teórico y que puedan ser empleado en otros procedimientos. De hecho, en esa misma Figura 13, se muestra el valor de los cuantiles para las probabilidades acumuladas del 90% (0.252 m) y del 95% (0.454 m).

Una vez obtenido el modelo probabilístico teórico que siguen los datos observados se puede utilizar para profundizar en el conocimiento de éstos, utilizando para ello cualquier información adicional disponible. En este caso, dado que para cada error disponemos de las coordenadas de los puntos en los que se mide, se puede utilizar para obtener una distribución espacial de los errores en función del grupo al que es asignado. Esta espacialización permite realizar análisis, en mayor o menor profundidad, orientados a la interpretación de qué representa cada una de las componentes de la mixtura. Por ejemplo, en la Figura 9 se observa que las N2 y N6 son las más abundantes, presentando grandes manchas y con clara distinción S y N respectivamente. Por su parte, la N1 está muy focalizada y centrada en pocas posiciones. Las N3 y N4 se encuentran muy repartidas y podríamos decir que “pixeladas”, la primera tanto en el N como en el S, pero con más abundancia en el S. La N4 más pixelada en el S y con mayor grado de agrupación en el N, y siempre espacialmente cercana a la N6. Estos análisis podrían relacionarse con la cubierta y uso del terreno. Por ejemplo, la N1 parece relacionada con terrenos suaves y alomados y la N6 con terrenos más abruptos. Este análisis se puede vincularse con la pendiente y orientación del terreno, técnicas de captura, etc., con vistas a conocer mejor la composición de distribuciones de error que aparecen en un producto como es un MDE.

5. Discusión

La hipótesis de que los errores de medida siguen una distribución normal está en la base teórica de la misma distribución. De hecho, Gauss la obtuvo asumiendo errores de medida independientes. El hecho que unos residuos se distribuyan normalmente, además implica que su causa es el puro azar, sin que haya otras causas que afecten en el resultado. Por ese motivo es la hipótesis usual en la mayoría de técnicas asociadas al control de calidad. Sin embargo, en múltiples ocasiones si se mezclan errores normalmente distribuidos, pero con distintos parámetros provoca que el resultado obtenido al mezclarlos no sigue estrictamente un modelo normal.

En este trabajo se ha presentado una aplicación novedosa en el campo de los MDE de una técnica de mixturas finitas para descomponer los datos de error cuando proceden de distintas normales. De esta manera, y a partir de una muestra, se puede inferir el modelo poblacional de errores, lo que permite obtener unos valores y límites más precisos, al poder estimar probabilidades asociadas a los mismos. La aplicación al caso del error altimétrico propio de los MDE es sólo una de las muchas aplicaciones que se podrían pensar en el campo de la geomática. Como técnica estadística su aplicación no conlleva más limitaciones que las propias de su conceptualización y que se establecen por medio de las hipótesis que se asumen. En el caso del error el uso de mixturas normales puede ser adecuado, aunque este tipo de mixturas finitas también puede plantearse con otras distribuciones, bien continuas (Log-normal, Gamma, Weibull) como discretas. En cualquier caso, entendemos que, al igual que una señal puede ser descompuesta por el análisis de Fourier en una composición

de funciones más sencillas, en el caso estadístico esto también es válido respecto al uso de la mixtura de normales. Comparada la técnica de mixtura con otras técnicas estadísticas (p.ej. el análisis cluster), esta técnica presenta la ventaja de definir claramente el modelo paramétrico de todas y cada una de las agrupaciones que se generan.

El método de trabajo propuesto posee seis pasos definidos según una secuencia lógica y racional, por lo que es común a otros muchos procesos de análisis estadístico, y se puede considerar como un método estándar. En este proceso la manera en que se realice la selección del modelo queda libre. Así, si bien la terminación del número de mixturas se ha planteado en este trabajo de manera visual, también podría realizarse de manera automática. Para ello se podría establecer un rango predefinido de análisis y utilizar criterios de información como el AIC y BIC ya indicados anteriormente, para la selección final del modelo. En cualquier caso, consideramos que la prueba y error basada en la realimentación con el análisis de los resultados respecto a la realidad del terreno y de la captura que generó los conjuntos de datos que se comparan, será la mejor manera de determinar el número de normales a considerar en la mezcla.

Consideramos, que los resultados que se obtienen son muy interesantes desde el punto de vista de los trabajos estadísticos con toda la población. Además, los ejemplos numéricos mostrados en 4.7 no son alcanzables con otros métodos de manera directa. Esta capacidad de trabajar con un modelo probabilístico paramétrico para toda la población de discrepancias es una herramienta potente, y abre las puertas a nuevas formas de aplicación de los estándares de control posicional que se venían aplicando. La capacidad de espacialización es otro aspecto reseñable, y sólo queda limitado por el conocimiento de las discrepancias o errores.

6. Conclusiones

Se ha presentado la primera aplicación de las técnicas de análisis de mixtura al caso de las discrepancias altimétricas en MDE. La herramienta conceptual estadística está madura y su aplicación queda facilitada por medio de las herramientas de software existentes. En este trabajo se ha propuesto un método para este tipo de análisis, y se ha desarrollado una aplicación práctica que evidencia la manera de realizar esta aplicación, así como los resultados que se obtienen. La aplicación al caso de discrepancias altimétricas es relativamente directa.

Consideramos que, *mutatis mutandis*, esta nueva técnica de análisis de las discrepancias altimétricas puede permitir aplicar los métodos de evaluación de la calidad posicional convencionales, a una familia de normales que se mixturan, lo cual abre una línea que extiende sus posibilidades soslayando las limitaciones de la no normalidad que se han apuntado en números estudios del error altimétrico.

Agradecimientos

El autor desea agradecer la gran contribución de los revisores en la mejora de la presentación de este artículo.

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el Proyecto de investigación "Calidad funcional en modelos digitales de elevaciones de terreno en ingeniería" (https://coello.ujaen.es/investigacion/web_giic/funquality4dem/) de la Agencia Estatal de Investigación de España, PID2019-106195RB-I00/EI/10.13039/501100011033.

Bibliografía

- 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.
- Ariza-López, F. J., & Atkinson, A. D. (2008). Analysis of Some Positional Accuracy Assessment Methodologies. *Surveying Engineering*, 134(2), 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, F. J., Chicaiza Mora, E. G., Mesa Mingorance, J. L., Cai, J., & Reinoso Gordo, J. F. (2018). DEMs: An Approach to Users and Uses from the Quality Perspective. *International Journal of Spatial Data Infrastructures Research*, 13, 131-171. Special Section: INSPIRE (Full Research Article).
- Ariza-López, F. J., & Mozas-Calvache, A. T. (2012) Comparison of four line-based positional assessment methods by means of synthetic data. *Geoinformatica* 16, 221-243.
<https://doi.org/10.1007/s10707-011-0130-y>
- Ariza-López, F. J., Rodríguez-Avi, J., González-Aguilera, D., & Rodríguez-González, P. (2019). A New Method for Positional Accuracy Control for Non-Normal Errors Applied to Airborne Laser Scanner Data. *Applied Sciences*, 9(18), 3887.
<https://doi.org/10.3390/app9183887>
- 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*, 56(7), 1068-1070.
- ASPRS (2015). ASPRS Positional accuracy standards for digital geospatial data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 81(3), 53.
http://www.asprs.org/a/society/divisions/pad/Accuracy/Draft_ASPRS_Accuracy_Standards_for_Digital_Geospatial_Data_PE&RS.pdf
- Benaglia, T., Chauveau, D., Hunter, D. R., & Young, D. (2009). Mixtools: An R Package for Analyzing Finite Mixture Models. *Journal of Statistical Software*, 32(6), 1-29.
<https://doi.org/10.18637/jss.v032.i06>
- Cameron, A. C. & Trivedi, P. K. (2013). *W Regression Analysis of Count Data*. Second edition. New York, NY: Cambridge University Press.

- Dempster, A., Laird, N., & Rubin, D. (1977). Maximum likelihood from incomplete data via the EM algorithm. *Journal of the Royal Statistical Society, Series B (Methodological)*, 39(1), 1-38.
- 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>
- Höhle, J., Potuckova, M. (2011). *Assessment of the quality of Digital Terrain Models*. EuroSDR, Official Publication No. 60.
- Huang, T., Peng, H., & Zhang, K. (2017) Model Selection for Gaussian Mixture Models. *Statistica Sinica*, 27, 147-169. <https://doi.org/10.5705/ss.2014.105>
- Karlis, D. (2005). EM algorithm for mixed Poisson and other discrete distributions. *ASTIN Bulletin*, 35(1), 3-24.
- Li, J., Du, G., Clouser, J. M., Stromber, A., Mays, G., Sorra, J., Brock, J., Davis, T., Mitchell, S., Nguyen, H. Q., & Williams, M. V. (2021). Improving evidence-based grouping of transitional care strategies in hospital implementation using statistical tools and expert review. *BMC Health Services Research*, 21, 35.
<https://doi.org/10.1186/s12913-020-06020-9>
- McLachlan, G. J., & Peel, D. (2000). *Finite Mixture Models*. *Wiley Series in Probability and Statistics*, New York.
- McLachlan, G. J. & Krishnan, T. (2008). *The EM Algorithm and Extensions*. 2nd ed. Hoboken, NJ: John Wiley and Sons, Inc.
- McLachlan, G. J., Lee, S. X., & Rathnayake, S. I. (2019). Finite Mixture Models. *Annual Review of Statistics and Its Application*, 6, 355-378.
<https://doi.org/10.1146/annurev-statistics-031017-100325>
- Maune, D.F. (Ed.) (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.
- Mesa-Mingorance, J. L., & Ariza-López, F. J. (2020). Accuracy Assessment of Digital Elevation Models (DEMs): A Critical Review of Practices of the Past Three Decades. *Remote Sensing*, 12(16), 2630. <https://doi.org/10.3390/rs12162630>
- Pan, Y., Xie, L., Su, H., & Luo, L. (2020). A Robust Infinite Gaussian Mixture Model and its Application in Fault Detection on Nonlinear Multimode Processes. *Journal of Chemical Engineering of Japan*, 53(12), 758-770.
<https://doi.org/10.1252/jcej.17we373>
- Polidori, L. & El Hage, M. (2020). Digital Elevation Model Quality Assessment Methods: A Critical Review. *Remote Sensing*, 12(21), 3522.
<https://doi.org/10.3390/rs12213522>
- R Core Team (2020). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>
- Sallay, H., Bourouis, S., Bouguila, N. (2020). Online Learning of Finite and Infinite Gamma Mixture Models for COVID-19 Detection in Medical Image. *Computers*, 10, 6. <https://doi.org/10.3390/computers10010006>
- USBB (1947). United States National Map Accuracy Standards. U.S. Bureau of the Budget. Washington, USA.

- Zandbergen, P. A. (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>
- Zandbergen, P. A. (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>
- Zhao, B., Yang, F., Zhang, R., Shen, J., Pilz, J., & Zhang, D. (2021). Application of unsupervised learning of finite mixture models in ASTER VNIR data-driven land use classification, *Journal of Spatial Science*, 66(1), 89-112. <https://doi.org/10.1080/14498596.2019.1570478>

Revisión de la calidad de los conjuntos de datos abiertos sobre presupuestos

Quality Review of Budget Open Datasets

Manuel Antonio Ureña-Cámara¹

Javier Nogueras-Iso²

Javier Lacasta³

Recibido 14 de marzo de 2021; aceptado 22 de mayo de 2021

RESUMEN

En este trabajo se presentan los resultados de la evaluación de la calidad de los conjuntos de datos abiertos sobre presupuestos disponibles en España. Para llevar a cabo la comparativa de evaluación se ha adoptado la Metodología de Evaluación de la Calidad de los Metadatos propuesta por el Portal de Datos Europeo (MQA). Se ha adaptado una metodología automática que aplica las cinco dimensiones de MQA separadas por la propiedad espacial y que es capaz de generar gráficas de descripción del conjunto de metadatos y otras gráficas comparativas siguiendo el ejemplo del ranking existente en el portal de MQA. Los resultados indican que, a pesar de las diferentes entidades que elaboran los metadatos, todos ellos alcanzan una puntuación similar limitada únicamente por la norma que define el diseño del portal de datos abiertos en España.

Palabras clave: datos abiertos, Evaluación de Calidad, metadatos, presupuestos, MQA.

ABSTRACT

In this work, we present the results of quality evaluation of budget open datasets in Spain. To achieve this quality evaluation we have applied the Metadata Quality Assurance (MQA) methodology proposed to check the European open

¹ Universidad de Jaén, España, correo electrónico: maurena@ujaen.es.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6373-4410>

² Universidad de Zaragoza, España, correo electrónico: jnog@unizar.es.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1279-0367>

³ Universidad de Zaragoza, España, correo electrónico: jlacasta@unizar.es.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3071-5819>

data portal. Following this, a methodology to test the five dimensions of MQA grouped by the spatial property has been developed. In addition, an automatic procedure to create comparative graphs, the first describing the spatial property of the corpus and the second following the MQA ranking. The results show that, even with some different dataset (and metadata) producers, the MQA value is similar in all the cases and are mainly limited by the policy that defines the design of open data portal in Spain.

Key words: Open data, Quality Control, Metadata, Budget, MQA.

1. Introducción

Durante los últimos años, las políticas de transparencia impulsadas por los distintos gobiernos, tanto a nivel local, regional, nacional o internacional, han promovido la creación de portales de datos abiertos donde se han ido facilitando datos de interés del sector público para diferentes propósitos tratando de alcanzar acuerdos desarrollados durante la década de 2000. Esta promesa se inició en el año 2008 y en su décimo aniversario ya son al menos 30 gobiernos (Web Foundation, 2018) los que han firmado la Carta de Datos Abiertos,¹ cuyos principios se alinean con algunas de los aspectos fundamentales de la calidad como la accesibilidad o la interoperabilidad, todo ello dentro de una gobernanza más cercana al ciudadano. Estos portales de datos abiertos se construyen sobre la base de catálogos de Datos Abiertos que exponen los metadatos (descripciones) de los conjuntos de datos (*dataset*) que se quieren hacer públicos utilizando estándares y especificaciones interoperables que acceden a un recurso (Neumaier *et al.*, 2016).

Desde el punto de vista de los ciudadanos, uno de los tipos de conjuntos de datos abiertos que despierta mayor interés es conocer con el mayor detalle posible los presupuestos públicos y cómo se ejecutan estos presupuestos con el fin de facilitar la transparencia y gobernanza (Kučera *et al.*, 2013). Por ello, aunque no sea un aspecto directamente contemplado por el Horizonte 2030, sí que permite comprobar que las diversas partes de administraciones y empresas que publican sus datos en abierto cumplen con uno o varios objetivos en esa línea. Eso sí, siempre que los metadatos cumplan con los estándares de calidad y que los datos cumplan con la información de los metadatos existentes.

El objetivo de este artículo es conocer la disponibilidad y calidad de los datos sobre presupuesto que se encuentran disponibles en España a través de su portal nacional de datos abiertos, <https://datos.gob.es>. Además, de realizar un análisis global de los datos de esta temática, también se pretende hacer un estudio comparativo de la calidad en las distintas comunidades autónomas y provincias. A pesar de que existen diversas metodologías para el control de calidad de los

¹ The International Open Data Charter: <https://opendatacharter.net/>

portales abiertos (Kubler *et al.*, 2018; Neumaier *et al.*, 2016; Nogueras-Iso *et al.*, 2021), para el propósito de este trabajo la evaluación de la calidad va a utilizar la metodología de Evaluación de la Calidad de los Metadatos (Unión Europea, 2020), también conocida por su nombre en inglés *Metadata Quality Assurance* (MQA). La metodología MQA es la base del cuadro de mandos que se ha integrado dentro del Portal Europeo de Datos para monitorizar los contenidos recolectados de los diferentes catálogos de datos abiertos (o portales de datos abiertos) que contribuyen al portal europeo. La metodología MQA está inspirada en los principios FAIR (Wilkinson *et al.*, 2016), los cuales proporcionan guías para mejorar la facilidad de localización (*findability*), la accesibilidad (*accessibility*), la interoperabilidad (*interoperability*), y la reutilización de recursos digitales. En particular, MQA propone 23 métricas distribuidas en cinco dimensiones que chequean el contenido de los metadatos que describen los conjuntos de datos publicados que serán desarrolladas en la sección 2.

El resto del artículo se estructura de la siguiente forma, la sección 2 describirá brevemente el estado del arte acerca de los portales de datos abiertos y de su control de calidad. La sección 3 describirá la metodología aplicada para el control de calidad de datos. La sección 4 explicará el *corpus* usado en el trabajo y los resultados obtenidos. La sección 5 dará unas conclusiones relativas al control realizado y la metodología aplicada.

2. Estado del arte sobre calidad de los portales de datos abiertos

Los datos abiertos son una tendencia actual desarrollada como parte de los procesos de transparencia y difusión de la información en todos los ámbitos que en la actualidad se está incrementando debido a la transformación digital (Oudkerk *et al.*, 2020). Desde el punto de vista de cualquier administración, los portales de datos abiertos son un método sencillo para la distribución y visualización de la información disponible de forma pública, accesible y transparente para los diversos actores, tanto otras entidades gubernamentales como las personas gobernadas. Por otra parte, este tipo de portales también permite que las empresas publiquen su información permitiendo tanto su reutilización como facilitar la difusión a las empresas.

Desde este punto de vista, se ha potenciado un desarrollo casi paralelo entre los portales de datos abiertos en Europa y América, tanto América del Norte como América Latina, consiguiendo, por tanto, una expansión en todos los países como un método barato de cumplir con los aspectos de transparencia que son de interés para diversos ámbitos y aspectos de la gobernanza. Según Sandoval (2019), existen más de 2 600 portales de datos abiertos disponibles a lo largo del planeta como puede verse en la web de *OpenDataSoft*.² De entre ellos destacan iniciativas como el *Open Government* de Estados Unidos³ que muestra su capacidad de publicación con diversos portales del mundo alcanzando en la actualidad a más

² <https://opendatainception.io/>

³ <https://www.data.gov/open-gov/>

de 300 catálogos distribuidos por todo el planeta (Figura 1). Asimismo podemos destacar iniciativas como el portal de datos abiertos del Reino Unido⁴ que ha sido uno de los de mayor recorrido y el portal de datos abiertos de España⁵ con diversos proyectos activos y un elevado número de conjuntos de datos.

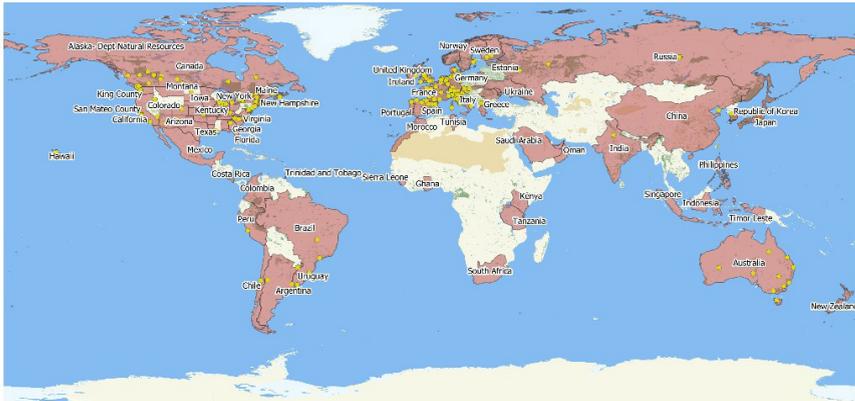


Figura 1. Portales internacionales y de diverso ámbito, accesibles y consultables desde el portal de datos abiertos del Gobierno de Estados Unidos.

Fuente: elaborado a partir de la información disponible en la web del Open Government sobre portales de datos abiertos. Mapa base: Heigit (WMS de OSM: <https://www.osm-wms.de/>).

Dentro del ámbito de Latinoamérica también hay un elevado interés en los portales de datos abiertos lo que se traduce en un número importante de portales auspiciados por los gobiernos de los diferentes países con el fin de aumentar la transparencia gubernamental. En la Tabla 1 se muestran algunos de ellos y otros adicionales pueden ser encontrados en Sandoval (2019).

Una de las evaluaciones de los portales de datos abiertos de gran relevancia es la llevada a cabo por la Fundación de Datos Abiertos que es parte de la Web Foundation.⁶ En ella, de manera recurrente, se evalúan en diferentes portales de todo el planeta dimensiones relativas a la utilidad de los conjuntos de datos integrados, es decir, la preparación, implementación o impacto de los datos abiertos (Web Foundation, 2018). Pese a que un gran número de las iniciativas de datos abiertas evaluadas en este informe se encuentran fuera de América Latina, se puede observar como dentro de los países que más han mejorado desde el primer informe hasta el actual (Figura 2), 3 de los 6,

⁴ <https://data.gov.uk/>

⁵ <https://datos.gob.es/>

⁶ <http://webfoundation.org/>

Tabla 1. Algunos de los portales de datos abiertos en Latinoamérica

<i>País</i>	<i>URL del Portal de Datos Abiertos</i>	<i>API</i>	<i>Punto SPARQL</i>	<i>Otros requisitos</i>	<i>Puntuación informe Web Foundation 2018</i>
Argentina	http://datos.gob.ar/	CKAN + API Georreferenciación			47
Brasil	https://dados.gov.br/	CKAN			50
Chile	http://datos.gob.cl/	CKAN			40
Colombia	https://www.datos.gov.co/	Socrata			52
Ecuador	http://data.utpl.edu.ec/	Desconocida	Si		No evaluado
México	https://datos.gob.mx/	Rest Get / CKAN			69
Paraguay	https://www.datos.gov.py/	DKAN	No	Consultas sólo de usuarios registrados	34
Perú	https://www.datosabiertos.gob.pe/	Desconocida			No evaluado
Uruguay	https://catalogodatos.gub.uy/	CKAN			56
Venezuela	http://datos.gob.ve/	Desconocida			No evaluado

Nota: No se incluyen Costa Rica que está cambiando de portal por lo que está desactivado (comprobado en 2021).

Fuente: elaboración propia salvo las puntuaciones extraídas del ranking de Web Foundation, 2018.

pertenecen a esta región, concretamente México, Colombia y Uruguay. Esto denota tanto un gran interés en América Latina en apoyar esta tecnología, como la capacidad de alcanzar las mejores puntuaciones que ostentan países con un mayor desarrollo de este tipo de iniciativas como Canadá o Reino Unido.

A pesar de que los procesos de control de calidad propuestos por la Web Foundation, evalúan el impacto de los portales de datos abiertos en diversos aspectos del país como difusión, reutilización, etc., por sectores productivos, ninguno de ellos sería posible si no se realiza una revisión de los campos técnicos y semánticos que soportan al propio catálogo de datos abiertos. Por esta razón, metodologías como la MQA indicada en la Introducción son un paso obligatorio, y previo, para el análisis de la calidad de un catálogo.

MQA chequea el contenido de los metadatos de cada conjunto de datos utilizando 23 métricas distribuidas en cinco dimensiones:

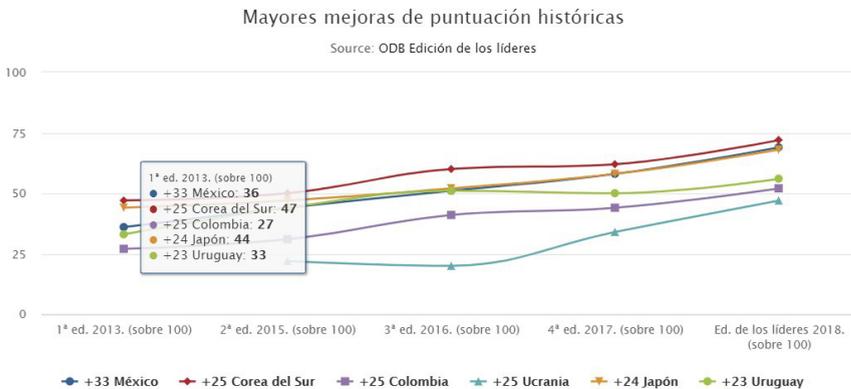


Figura 2. Mejores evoluciones en Portales de Datos Abiertos.

Fuente: Web Foundation, 2018.

- **Facilidad de localización:** se comprueba la disponibilidad de palabras clave, categorías, cobertura espacial y cobertura temporal.
- **Accesibilidad:** se comprueba la disponibilidad de URL de descarga, y el estado de accesibilidad de las URL de acceso y descarga.
- **Interoperabilidad:** se comprueba la conformidad de los metadatos respecto a la especificación DCAT-AP, la disponibilidad información sobre el formato de distribución, la utilización de formatos bien conocidos, la utilización de formatos no propietarios y la utilización de formatos procesables.
- **Reusabilidad:** se comprueba la disponibilidad de información sobre licencias, restricciones de acceso, puntos de contactos y editores. También se comprueba la utilización de licencias y restricciones de acceso internacionalmente reconocidas.
- **Contextualidad:** se comprueba la disponibilidad de información relativa a los derechos de distribución, el tamaño de las distribuciones, y las fechas de creación y distribución de los conjuntos de datos.

En la Tabla 2 se puede ver un resumen de esas métricas, así como la puntuación máxima asociada a cada una. El objetivo final de MQA es proporcionar una puntuación de agrupaciones de uno o varios conjuntos de datos a través de sus metadatos. MQA establece una clasificación de la calidad de los metadatos en cuatro categorías en función de su puntuación: excelente (entre 351 y 405 puntos), buena (entre 221 y 350 puntos), suficiente (entre 121 y 220 puntos) y mala (entre 0 y 120 puntos).

Tabla 2. Métricas de la metodología MQA.

<i>Dimensión</i>	<i>Métrica</i>	<i>Puntos</i>
Facilidad de localización	Palabra clave disponible (Dataset/keyword)	30
	Categoría disponible (Dataset/theme)0	3
	Cobertura espacial disponible (Dataset/spatial)	20
	Cobertura temporal disponible (Dataset/temporal)	20
Accesibilidad	URL de acceso activa (Distribution/accessURL)	50
	URL de descarga disponible (Distribution/downloadURL)	20
	URL de descarga activa (Distribution/downloadURL)	30
Interoperabilidad	Formato disponible (Distribution/format)	20
	Información de formato MIME disponible (Distribution/mediaType)	10
	Utilización de formato conocido (Distribution/format o Distribution/mediaType)	10
	Utilización de formato no propietario (Distribution/format o Distribution/mediaType)	20
	Utilización de formato procesable (Distribution/format o Distribution/mediaType)	20
	Conformidad con especificación DCAT-AP (todas las entidades y propiedades)	30
Reusabilidad	Licencia disponible (Distribution/license)	20
	Utilización de licencia conocida (Distribution/license)	10
	Información sobre restricciones de acceso disponible (Dataset/accessRights)	10
	Utilización de tipo de restricciones de acceso conocido (Dataset/accessRights)	5
	Punto de contacto disponible (Dataset/contactPoint)	20
	Editor disponible (Dataset/publisher)	10
Contextualidad	Información sobre derechos de distribución disponible (Distribution/rights)	5
	Tamaño de la distribución disponible (Distribution/byteSize)	5
	Fecha de creación disponible (Dataset/issued o Distribution/issued)	5
	Fecha de modificación disponible (Dataset/modified o Distribution/modified)	5
<i>Total</i>		405

Notas: se indica entre paréntesis la entidad y propiedad sobre la que se chequea

3. Metodología

Como se ha indicado antes, en este trabajo proponemos, y comprobamos la utilidad, un proceso para revisar la calidad de los conjuntos de datos a través de sus metadatos que consta de los siguientes pasos:

1. Análisis de la fuente de datos y sus mecanismos de acceso
2. Identificación de los conjuntos de datos de interés
3. Aplicación de MQA
4. Análisis comparativo de la calidad

Cada uno de los pasos anteriores se desarrollará en las posteriores subsecciones.

3.1. Análisis de la fuente de datos y sus mecanismos de acceso

Como fuente de obtención de los conjuntos de datos para evaluar según el MQA se ha seleccionado el portal de datos abiertos de España (<https://datos.gob.es/>). El portal de datos abiertos utiliza como esquema de metadatos el modelo propuesto en el Anexo III de la Norma Técnica de Interoperabilidad de Reutilización de recursos de la información (MINHAP, 2013).

Este esquema de metadatos está basado en el vocabulario DCAT (W3C, 2020). DCAT es el estándar de metadatos “de facto” en el contexto de los datos abiertos. DCAT es el acrónimo de *W3C's Data Catalog Vocabulary*, una recomendación de W3C para describir datos abiertos, desarrollado a través de un perfil de metadatos de *Dublin Core* basado en vocabularios RDF que se ha diseñado para facilitar la interoperabilidad entre catálogos de datos publicados en la web.

La Figura 3 muestra un diagrama UML con las entidades y propiedades incluidas en el esquema de metadatos español para datos abiertos. Como se puede observar los vocabularios basados en DCAT se centran en proporcionar información acerca de tres entidades principales: catálogos (*Catalog*), conjuntos de datos (*Dataset*) y distribuciones (*Distribution*). Las propiedades de un catálogo informan acerca de la organización a cargo de la publicación de conjuntos de datos abiertos. Por otra parte, las propiedades de un conjunto de datos proporcionan la información principal para su búsqueda y caracterización. Finalmente, las propiedades de una distribución se centran fundamentalmente en informar de los mecanismos para solicitar o descargar los conjuntos de datos.

Los portales de datos abiertos suelen implementarse mediante soluciones software como CKAN.⁷ CKAN es la plataforma *Open Source* más utilizada para dar soporte a portales de datos abiertos e incluye los complementos necesarios para poder intercambiar metadatos basados en RDF, como es el caso de DCAT y del esquema de metadatos propuesto para el contexto español.

⁷ <https://ckan.org/>

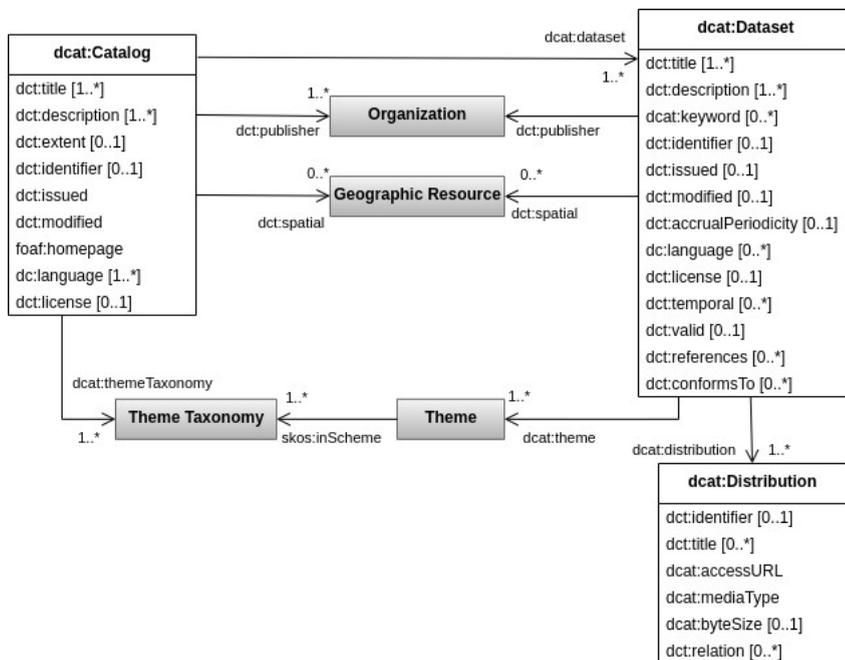


Figura 3. Entidades y propiedades del modelo de metadatos de <https://datos.gob.es>
Fuente: MINHAP, 2013.

En el caso del portal de datos abiertos del gobierno de España, se cuenta con un almacén de tripletas RDF donde se recolectan los metadatos que se han ido creando en portales datos abiertos de nivel regional y local. Estos portales que se han suscrito al portal nacional utilizan en la mayoría de los casos el software CKAN para generar los metadatos RDF propuestos en el esquema de metadatos nacional.

Respecto a las interfaces de acceso, el portal <https://datos.gob.es>, es accesible tanto a través de una interfaz (API)⁸ diseñada de forma específica para el portal como a través de un punto SPARQL.⁹ Por un lado, mediante una API REST, la interfaz específica proporciona operaciones concretas para filtrar metadatos de conjuntos de datos que cumplen ciertos criterios y descargarlos. Por otro lado, el punto SPARQL proporciona una interfaz de servicio que permite procesar consultas en lenguaje SPARQL para consultar los grafos RDF de los metadatos.

Para el propósito de este trabajo hemos utilizado ambas interfaces de acceso. Como se verá en la siguiente subsección, el punto SPARQL permite

⁸ <https://datos.gob.es/es/accessible-apidata>

⁹ <https://datos.gob.es/es/accessible-sparq>

una mayor flexibilidad para realizar filtros complejos de acuerdo a distintos criterios de los conjuntos de datos que se quieren recuperar. Una vez localizado el identificador o URI de un conjunto de datos de interés, la interfaz específica permite la descarga directa de los metadatos en el formato deseado.

3.2. Identificación de los conjuntos de datos de interés

De entre todos los conjuntos de datos existentes en el portal de datos abiertos, se han seleccionado los relativos a “presupuestos” por ser los que tienen una mayor influencia en la evolución de un país y para su población. En principio, para filtrar los conjuntos de datos relativos a los presupuestos tendría sentido estudiar el contenido de las propiedades relacionadas con la categoría del conjunto de datos (*dcat:theme*) o su palabra clave (*dcat:keyword*).

La utilización de la categoría parecía prometedora porque el esquema de metadatos obliga a utilizar un vocabulario seleccionado para las categorías (<https://datos.gob.es/kos/sector-publico/sector>) donde se puede acceder a los presupuestos a través de la categoría de “Sector Público”. Sin embargo, tras realizar alguna consulta exploratoria a través del punto SPARQL, se descubrió que la categoría era poco discriminante para filtrar conjuntos de datos sobre presupuestos, ya que pueden haber sido anotados en distintos sectores como “Sector público”, “Economía” o “Hacienda” y junto a otros conjuntos de datos que no están demasiado relacionados con presupuestos.

Por tanto, se optó por filtrar finalmente aquellos conjuntos de datos que contuviesen la palabra clave “presupuesto” en cualquiera de los idiomas oficiales de España. En la Figura 4 se muestra la consulta SPARQL utilizada para identificar las URI de todos los conjuntos de datos relacionados con presupuesto.

Además, dentro de este trabajo, como aspecto adicional, se propone analizar de forma separada la calidad de los conjuntos de datos disponibles en cada unidad administrativa para que, siendo entidades generadoras diferentes comprobar si el resultado de cumplimiento es similar. La Figura 5 muestra la consulta SPARQL que permite filtrar las URI de los conjuntos de datos relativos a presupuestos de una unidad administrativa concreta. Como también se puede dar el caso de que existan conjuntos de datos no asignados a ninguna unidad administrativa, la Figura 6 muestra la consulta SPARQL que permite filtrar los conjuntos de datos no asignados espacialmente.

Finalmente, para la descarga de los metadatos de un conjunto de datos previamente filtrado se ha hecho uso del API que permite descargar sus metadatos RDF en formato Turtle¹⁰ si se conoce su identificador (o URI) a través de la siguiente petición GET: <https://datos.gob.es/apidata/catalog/dataset/<ID>.ttl>

10 <https://www.w3.org/TR/turtle/>

```

PREFIX dct:<http://purl.org/dc/terms/>
PREFIX rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#>
PREFIX dcat: <http://www.w3.org/ns/dcat#>
SELECT DISTINCT ?s WHERE {
  {
    ?s a dcat:Dataset .
    ?s dcat:keyword ?value .
    FILTER regex(str(?value), 'aurrekontua', 'i')
  } UNION {
    ?s a dcat:Dataset .
    ?s dcat:keyword ?value .
    FILTER regex(str(?value), 'presupuesto', 'i')
  } UNION {
    ?s a dcat:Dataset .
    ?s dcat:keyword ?value .
    FILTER regex(str(?value), 'pressuposto', 'i')
  } UNION {
    ?s a dcat:Dataset .
    ?s dcat:keyword ?value .
    FILTER regex(str(?value), 'orzamento', 'i')
  }
}

```

Figura 4. Consulta SPARQL para la descarga de conjuntos de datos que incluyen la palabra “presupuesto” en los idiomas oficiales en España.

```

PREFIX dct:<http://purl.org/dc/terms/>
PREFIX rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#>
PREFIX dcat: <http://www.w3.org/ns/dcat#>
SELECT DISTINCT ?s WHERE {
  {
    ?s a dcat:Dataset .
    ?s dcat:keyword ?value .
    FILTER regex(str(?value), 'aurrekontua', 'i') .
    ?s dct:spatial <http://datos.gob.es/recurso/sector-publico/territorio/UNIDAD>
  } UNION {
    ?s a dcat:Dataset .
    ?s dcat:keyword ?value .
    FILTER regex(str(?value), 'presupuesto', 'i') .
    ?s dct:spatial <http://datos.gob.es/recurso/sector-publico/territorio/UNIDAD>
  } UNION {
    ?s a dcat:Dataset .
    ?s dcat:keyword ?value .
    FILTER regex(str(?value), 'pressuposto', 'i') .
    ?s dct:spatial <http://datos.gob.es/recurso/sector-publico/territorio/UNIDAD>
  } UNION {
    ?s a dcat:Dataset .
    ?s dcat:keyword ?value .
    FILTER regex(str(?value), 'orzamento', 'i') .
    ?s dct:spatial <http://datos.gob.es/recurso/sector-publico/territorio/UNIDAD>
  }
}

```

Figura 5. Consulta SPARQL para la descarga de conjuntos de datos relativos a presupuesto de una unidad administrativa concreta (UNIDAD representa la entidad administrativa asignada).

```

PREFIX dct:<http://purl.org/dc/terms/>
PREFIX rdf:<http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#>
PREFIX dcat:<http://www.w3.org/ns/dcat#>
SELECT DISTINCT ?s WHERE {
  {
    ?s a dcat:Dataset .
    ?s dcat:keyword ?value .
    FILTER regex(str(?value), 'aurrekontua', 'i') .
    FILTER NOT EXISTS { ?s dct:spatial ?location }
  } UNION {
    ?s a dcat:Dataset .
    ?s dcat:keyword ?value .
    FILTER regex(str(?value), 'presupuesto', 'i') .
    FILTER NOT EXISTS { ?s dct:spatial ?location }
  } UNION {
    ?s a dcat:Dataset .
    ?s dcat:keyword ?value .
    FILTER regex(str(?value), 'pressuposto', 'i') .
    FILTER NOT EXISTS { ?s dct:spatial ?location }
  } UNION {
    ?s a dcat:Dataset .
    ?s dcat:keyword ?value .
    FILTER regex(str(?value), 'orzamento', 'i') .
    FILTER NOT EXISTS { ?s dct:spatial ?location }
  }
}

```

Figura 6. Consulta SPARQL para la descarga de conjuntos de datos relativos a presupuesto sin vinculación espacial.

3.3 Aplicación de MQA

Para calcular la valoración de un grupo de registros de metadatos, se desarrolló un programa en *Python* que carga en memoria el grafo RDF de los metadatos que se quieren evaluar siguiendo las dimensiones MQA. Respecto a la implementación concreta de las métricas, se han agrupado en cuatro categorías diferentes que han implementado de la siguiente forma:

- Para las métricas que chequean la disponibilidad de una propiedad, se han elaborado consultas SPARQL que contabilizan el número de entidades (*Dataset o Distribution*) que contienen esa propiedad respecto al número total de entidades que se están evaluando. Los porcentajes de disponibilidad de cada propiedad permiten prorratear la puntuación máxima que se puede alcanzar para cada una de estas métricas.
- Para las métricas que chequean la utilización de valores concretos dentro de una propiedad, se ha recuperado con consultas SPARQL los valores concretos de cada propiedad y se han validado respecto a los vocabularios específicos recomendados por el Portal Europeo de Datos (<https://gitlab.com/european-data-portal/edp-vocabularies>). El porcentaje de entidades conteniendo propiedades con valores incluidos en estos vocabularios respecto al número total de entidades permite prorratear la puntuación máxima que permite alcanzar cada una de estas métricas.
- Para las métricas que chequean el acceso de las URL, se ha recuperado con consultas SPARQL cada una de las direcciones y se han realizado las correspondientes peticiones HTTP para confirmar que están activas (código de estado entre 200 y estrictamente menor que 400). El porcentaje de

entidades conteniendo direcciones URL alcanzables respecto al número total de entidades permite prorratear la puntuación máxima que permite alcanzar cada una de estas métricas.

- Para chequear la conformidad con la especificación DCAT-AP, se ha validado el formato de los metadatos frente a los ficheros con restricciones SHAPE de la versión 2.0.1 de DCAT-AP elaborados por la Unión Europea (véase <https://joinup.ec.europa.eu/collection/semantic-interoperability-community-semic/solution/dcat-application-profile-data-portals-europe/release/201-0>). Estos ficheros de restricciones permiten caracterizar formalmente las entidades y propiedades, así como sus tipos de datos y multiplicidades, de la especificación DCAT-AP utilizando el lenguaje SHACL,¹¹ una recomendación de W3C para validar grafos RDF.

3.4 Análisis comparativo de la calidad

Como para final para la evaluación de calidad y con el fin de realizar el análisis de los conjuntos de datos, tanto de forma global como separados por unidad administrativa se proponen dos conjuntos de gráficos. El primero para el análisis de la disponibilidad de la propiedad espacial de los metadatos y el segundo seguirá la propuesta del Portal Oficial de Datos Europeos para la comparación de catálogos de datos.

El gráfico para la comparación de la propiedad espacial quedará subdividido en tres secciones, una primera identificando los porcentajes de territorios sin disponibilidad de datos abiertos, otra sección identificando los porcentajes de datos con propiedad espacial o que incluyen propiedad espacial multivaluada y sin propiedad espacial que incluye aquellos no accesibles. Finalmente, la tercera sección incluye un gráfico que identifica el número absoluto de conjuntos de datos por cada marco territorial.

En cuanto al gráfico de comparación del MQA se desarrolló un programa de *Python* con capacidad para leer los resultados obtenidos del proceso anterior para acumular las puntuaciones por dimensión y la puntuación total y representarlo bajo un único gráfico donde cada conjunto de datos queda incluido en una línea. Finalmente, cada línea usa un conjunto de barras acumuladas mostrando el total posible para cada dimensión MQA y la valoración obtenida. De esta forma, se pueden comparar los valores acumulados respecto del máximo, entre ellos y ver qué dimensiones poseen un mayor cumplimiento del MQA.

4. Resultados

Del conjunto total de datos (datasets) de la web de datos abiertos de España se descargaron exclusivamente los metadatos relativos a los indicados en la sección anterior, es decir, los que contienen la palabra “presupuesto” dentro de alguno de los campos traducida a cualquier de los idiomas oficiales en España,

¹¹ <https://www.w3.org/TR/shacl/>

siguiendo lo indicado en la sección 3.2. Este conjunto de datos fue obtenido el 14 de noviembre de 2020, por lo que se considera una foto fija de la situación del portal para estos tipos de datos en un punto determinado del catálogo cuyo recuento y comparación se muestra en la Figura 7. El conjunto de datos asciende a 571 entradas de las que 1 no es accesible por lo que no se ha podido determinar ninguna medida de la calidad.

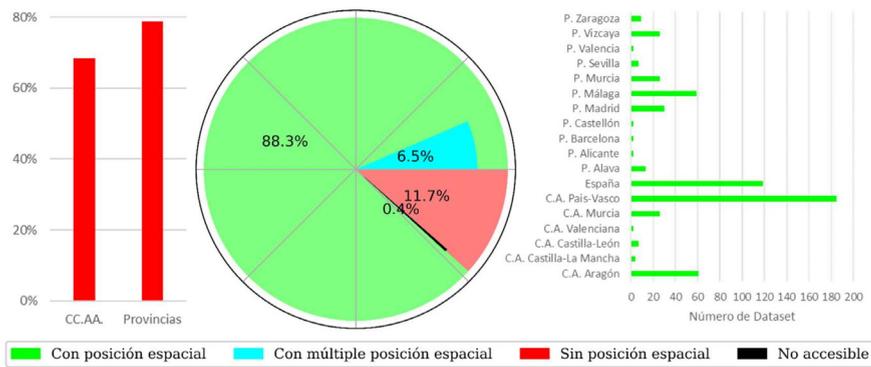


Figura 7. Resultados del MQA para distintas selecciones de los conjuntos de abiertos sobre presupuestos agrupadas por su atributo de localización espacial.

Antes de realizar una breve revisión de los datos, es necesario indicar que España tiene una división administrativa jerárquica. Cuando los datos indican España, se tratará de datos de todo el territorio, que a su vez está compuesto por Comunidades Autónomas y Ciudades Autónomas. Continuando esta estructuración, las Comunidades Autónomas están formadas por una o varias provincias. Desde un punto de vista administrativo, existe un nivel adicional, de manera que todas las provincias están compuestas por uno o varios municipios aunque éste nivel no se considera con el modelo de metadatos propuesto en España. Por lo que la cobertura espacial de un conjunto de datos está limitada al nivel de provincia.

Como primer aspecto de relevancia de los conjuntos de datos se puede notar, según la Figura 7, que pese a que una gran parte de los metadatos de los *datasets* tienen información espacial (88,3%), no todos la poseen. Este es un verdadero problema tratándose de información presupuestaria ya que limita la transparencia gubernamental en estos territorios y podría usarse en un futuro como posible mecanismo de valoración de este aspecto. En estos casos, los publicadores han priorizado la introducción de la información general del metadato, relegando el ámbito espacial que lo consideran reflejado en el título. Como ejemplo, el presupuesto de la Junta de Andalucía tiene como título (propiedad *dct:title*) "Presupuesto de la Comunidad Autónoma de Andalucía año

2019". Sin embargo no incluye ninguna propiedad espacial y como se puede observar en la gráfica de la derecha de la Figura 7, la Comunidad Autónoma Andaluza no dispone de ningún registro que incluya la localización ya que no es obligatorio según la Norma Técnica de Interoperabilidad (MINHAP, 2013). También es de destacar aquellos conjuntos de datos que poseen varias localizaciones de manera jerárquica, hasta tres localizaciones siguiendo los niveles administrativos de España antes comentados.

En cuanto a valores absolutos, del conjunto metadatos descargados, la Comunidad Autónoma del País Vasco es la que posee un mayor número absoluto (185) seguida por el conjunto de datos publicados por el Estado (119). El resto de territorios tiene un número muy inferior de datos abiertos accesibles relativos al presupuesto, recordando que la búsqueda se realizó usando el método de la palabra clave "presupuesto" en los diferentes idiomas oficiales en España.

Cambiando al análisis de los resultados obtenidos, antes de comenzar es necesario puntualizar que los metadatos publicados en <https://datos.gob.es>, solo pueden alcanzar 275 puntos en la valoración del MQA. Esto es debido al modelo de datos impuesto en la Norma Técnica de Interoperabilidad de Reutilización de Recursos de Información (MINHAP, 2013). Esta norma fuerza la limitación comentada de los metadatos elaborados en España para conjuntos de datos abiertos al eliminar ciertas propiedades respecto de DCAT-AP. Las puntuaciones que no se pueden alcanzar en España para la valoración de MQA con las limitaciones impuestas son las siguientes:

- Carencia de URL de descarga: 50 puntos en MQA.
- Carencia de información relativa a restricciones de acceso: 15 puntos en MQA.
- Carencia de información sobre punto de contacto: 20 puntos en MQA.
- Carencia de información sobre derechos de distribución: 5 puntos en MQA.
- Carencia de información de formato MIME (Nota: aunque esta propiedad es obligatoria en el esquema de metadatos español, solo se rellena la propiedad (*dct:format*): 10 puntos en MQA.

El conjunto anterior suma un total de 100 puntos, por lo que de forma general el test MQA sólo podría alcanzar un valor de 305. Sin embargo, los registros de metadatos del portal de datos abiertos no cumplen con el DCAT-AP porque el RDF generado no sigue exactamente las restricciones impuestas para algunas propiedades de los metadatos. Por ejemplo, el RDF de los metadatos relativo a las propiedades *dct:language*, *dct:spatial* o *dct:format* no define adecuadamente los recursos referenciados de idioma, localización o formato tal como espera la especificación de DCAT-AP. Esto resta otros 30 puntos más.

Teniendo en cuenta esa limitación en puntuación, se ha aplicado el MQA para todas las dimensiones y medidas a los metadatos que describen los 570 conjuntos de datos, recordamos que uno de ellos no era accesible. Los resultados de esta aplicación pueden verse en la Figura 8 donde las barras en gris representan la valoración máxima de MQA y los valores coloreados

identifican las valoraciones agregadas obtenidas para cada dimensión adaptando el ranking de valoraciones de catálogos disponible en la web del propio MQA (<https://data.europa.eu/mqa/?locale=es>).

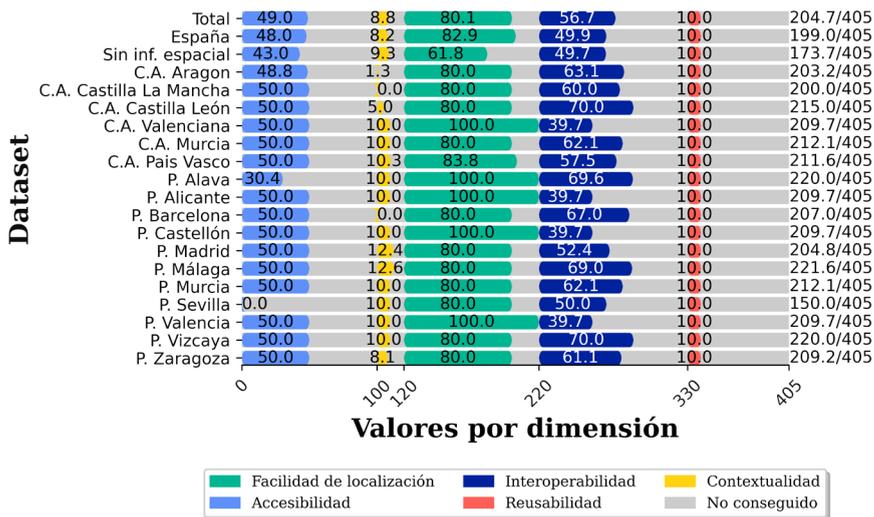


Figura 8. Resultados del MQA para distintas selecciones de los conjuntos de abiertos sobre presupuestos agrupadas por su atributo de localización espacial (Nota: la fila Total se refiere al MQA del total de los 570 registros sobre presupuesto del portal de datos abiertos de España).

En primer lugar, es necesario recordar que, tras la separación de los metadatos en los diferentes territorios, algunos de los conjuntos tienen menos de 10 registros, concretamente: las Comunidades Autónomas de Castilla-La Mancha, Castilla y León y la Comunidad Valenciana, además de las provincias de Alicante, Barcelona, Castellón, Sevilla, Valencia y Zaragoza (aunque ésta última dispone de nueve registros). Sin embargo, estos conjuntos de metadatos pueden tener un mayor número de comprobaciones para algunas de las medidas de cada dimensión porque provienen de propiedades multivaluadas, por ejemplo, el campo de formato (*dict:format*) es evaluado en un número mayor de ocasiones en múltiples metadatos.

Desde un punto de vista general, las puntuaciones son más o menos similares en los apartados de facilidad de localización, reusabilidad y accesibilidad (Figura 8, barras en verde, rojo y azul más claro), salvo el caso de los metadatos de la ciudad de Sevilla que obtienen una puntuación de 0. Este caso particular es de gran interés por dos razones, la primera porque todos los metadatos asociados a

la Provincia de Sevilla como presupuestos son los elaborados por la Universidad Pablo de Olavide, situada en la provincia de Sevilla, y que todos los datos sólo pueden ser accedidos mediante identificación de usuario y contraseña. Este último hecho hace que se incumpla uno de los criterios básicos de los datos abiertos. Sin embargo, también es interesante ver cómo la asociación espacial a una Universidad situada en una provincia altera los conjuntos de datos esperados que deberían ser relativos a los presupuestos provinciales, que en el caso de España serían presupuestos de las Diputaciones Provinciales.

Respecto de la dimensión de reusabilidad, se puede ver como todos los metadatos descargados para todas las configuraciones territoriales (Figura 8) se valoran con 10 puntos que son los relativos al publicador. Esto es fundamentalmente debido a las limitaciones impuestas por la Norma Técnica respecto del DCAT-AP al no incluir las propiedades relativas a restricciones de acceso (*dct:accessRights*) y punto de contacto (*dcat:contactPoint*). Por otra parte, la propiedad de licencia (*dct:license*), que se define como “URI que referencia al recurso que describe los términos de uso”, tampoco está asociada a la entidad que chequea MQA. Mientras el esquema de metadatos de España propone asociarla a la clase *Dataset*, el MQA espera que la información de licencia se indique para cada tipo de distribución (clase *Distribution*).

En cuanto a la dimensión de interoperabilidad, la valoración del cumplimiento completo de DCAT-AP, como se ha indicado antes, reduce 30 puntos la valoración máxima al igual que la no disponibilidad de información sobre el formato MIME asociado a la distribución. Aunque la información sobre el formato MIME (*dcat:mediaType*) es obligatoria según el esquema de metadatos de España (Figura 3), la realidad es que solo se rellena la propiedad *dct:format*. Este hecho reduce otros 10 puntos de valoración MQA dejando un máximo de 70, que es lo que alcanzan los metadatos de la Comunidad Autónoma de Castilla y León. En el otro extremo de esta valoración se encuentran territorios como la Comunidad Valenciana, donde sus metadatos fallan en la elección de un formato no propietario lo que reduce aún más su valoración en esta dimensión MQA.

Para terminar el análisis por dimensiones, en la contextualidad, todos los metadatos fallan en la propiedad de definición de los derechos (*dct:rights*) siguiendo las limitaciones indicadas al principio de la sección. El resto de las medidas arrojan diferentes valores que pueden ser más acordes con errores en la creación de los metadatos aunque de forma similar en todos los territorios.

Como resumen del análisis territorial de los metadatos, puede indicarse que todos los metadatos publicados pueden ser calificados de “suficientes” (al estar en el rango entre 121 y 220 puntos MQA) que de forma general serían “suficientes altos” por estar alrededor de los 200 puntos. La única excepción son los metadatos de la provincia de Málaga que superan los 220 puntos y que pueden calificarse de “buenos”. Esto denota que la calidad de los metadatos del portal de datos abiertos de España para “presupuesto” como palabra clave, salvo en pocos casos, son debidas a las limitaciones propias de la Norma Técnica y al abuso de la propiedad *dct:format* frente a la recomendada *dcat:mediaType*. Este

análisis se ve corroborado por lo mostrado en la fila de "Total" que representa el conjunto de los 570 metadatos accedidos, tanto en las dimensiones como en la valoración global de 204 puntos ("suficiente alto").

5. Conclusiones

En este trabajo se ha propuesto un método para evaluar el estado de los conjuntos de datos de una temática concreta utilizando la metodología MQA, y poder dotarnos de un barómetro que mida su facilidad de localización, accesibilidad, interoperabilidad, reusabilidad y contextualización. En la propuesta, se ha definido un mecanismo para realizar el análisis MQA por territorio de forma automatizada y además se han planteado una representación gráfica adecuada para la realización de comparativas. El análisis por territorio es un aspecto de gran relevancia para los conjuntos de datos seleccionados, relativos a presupuestos, y de gran importancia para controlar aspectos como la transparencia gubernamental.

La propuesta ha sido probada en el portal de datos abiertos de España (<https://datos.gob.es/>) mostrando que, en el caso particular de este portal, las limitaciones en la valoración son un efecto secundario de las limitaciones impuestas por las Normas Técnicas que desarrollan el diseño del portal abierto y los metadatos integrados en el mismo. Por el contrario, aunque los metadatos hayan sido creados por diferentes entidades, de forma general, todas se han adaptado bien al perfil propuesto por las Normas Técnicas. La valoración global ha alcanzado el rango de "suficiente alto" para todos los conjuntos de datos seleccionados.

La metodología propuesta para el análisis de la calidad de los conjuntos de datos de una temática concreta sería aplicable para cualquier otro portal que contase con un punto SPARQL para el filtrado de información y una API REST para la descarga de los conjuntos de metadatos. En el caso de que un portal de datos no contase con punto de acceso SPARQL, se podrían implementar filtrados alternativos a través de los métodos de consulta disponibles en su API REST o realizar descargas masivas de los metadatos y posterior filtrado.

Finalmente, en el futuro nos planteamos extender el estudio realizado para los conjuntos de datos presupuestarios de España a los portales de Latino América y Europa para la comprobación de los cumplimientos básicos de calidad asociados a los portales de datos abiertos, ya que consideramos que es un paso previo para que se puedan realizar las evaluaciones de aplicabilidad y reutilización de la información propuestas por la Web Foundation.

Bibliografía

Kubler, S., Robert, J., Neumaier, S., Umbrich, J., & Le Traon, Y. (2018). Comparison of metadata quality in open data portals using the Analytic Hierarchy Process. *Government Information Quarterly*, 35(1), 13-29. <https://doi.org/10.1016/j.giq.2017.11.003>

- Kučera, J., Chlapek, D., & Nečský, M. (2013). Open Government Data Catalogs: Current Approaches and Quality Perspective. In A. Kő, C. Leitner, H. Leitold, & A. Prosser (Eds.), *Technology-Enabled Innovation for Democracy, Government and Governance* (152–166). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-40160-2_13
- MINHAP, (2013). Resolución de 19 de febrero de 2013, de la Secretaría de Estado de Administraciones Públicas, por la que se aprueba la Norma Técnica de Interoperabilidad de Reutilización de recursos de la información. Ministerio de Hacienda y Administraciones Públicas (MINHAP), *Boletín Oficial del Estado*, lunes 4 de marzo de 2013. Recuperado de <http://www.boe.es/boe/dias/2013/03/04/pdfs/BOE-A-2013-2380.pdf>.
- Neumaier, S., Umbrich, J, Polleres, A (2016). Automated Quality Assessment of Metadata across Open Data Portals. *J. Data and Information Quality* 8, 1, Article 2, 29 pp. <https://doi.org/10.1145/2964909>
- Nogueras-Iso, J., Lacasta, J., Ureña-Cámara, M. A., & Ariza-López, F. J. (2021). Quality of Metadata in Open Data Portals, *IEEE Access*, 9, 60364-60382. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3073455>
- Oudkerk, F., Tinholt, D., van Steenbergen, E., Carrara, W., & Fischer, S. (2020). *Digital transformation and open data. European Data Portal, Oficina de Publicaciones*. ISBN: 978-92-78-41875-5. <https://doi.org/10.2830/673557>
- Sandoval, F. (2019). Datos abiertos: oportunidades para la transformación social y digital en Venezuela. *Analecta Política*, 9(17), 295-315. <http://dx.doi.org/10.18566/apolit.v9n17.a06>
- Unión Europea (2020). Metadata Quality Assessment Methodology. How EDP measures the quality of harvested metadata. Recuperado de <https://www.europeandataportal.eu/mqa/methodology>
- Wilkinson, M. D., Dumontier, M., Aalbersberg, I. J., Appleton, G., Axton, M., Baak A., & Mons, B. (2016). The FAIR Guiding Principles for scientific data management and stewardship, *Scientific data*, 3(1), 1-9. <https://doi.org/10.1038/sdata.2016.18>
- W3C, (2020) Data Catalog Vocabulary (DCAT) - Version 2. W3C Recommendation 04 February 2020. Recuperado de <https://www.w3.org/TR/vocab-dcat/>
- Web Foundation (2018). *El barómetro de los datos abiertos. Edición de los Líderes. De la promesa al progreso*. World Wide Web Foundation. Washington DC (EE.UU.), 28 pp. Recuperado de: <https://opendatabarometer.org/doc/leadersEdition/ODB-leadersEdition-Report-ES.pdf>

Aplicación de los test de equivalencia al control tipo temático de magnitudes asociadas a un Modelo Digital de Elevaciones

Application of an equivalence test to the thematic-type control of magnitudes derived from a Digital Elevation Model

María Virtudes Alba-Fernández¹

Recibido 24 de febrero de 2021; aceptado 23 de mayo de 2021

RESUMEN

Este trabajo propone un método de control de calidad de tipo temático (basado en clases) aplicable a los casos de las pendientes y orientaciones derivadas de Modelos Digitales de Elevaciones (MDE). La novedad del método que se propone es adoptar la perspectiva de detectar “diferencias relevantes” entre el producto y la referencia y no de igualdad exacta, que es lo usual en los contrastes de hipótesis más generalizados. El trabajo con categorías robustece la aproximación a las variables que se controlan, y la perspectiva de “diferencias relevantes” permite controlar el grado de “cercanía” que se desea por medio de la distancia de Hellinger. En el caso práctico que se presenta se comparan los modelos de pendiente y orientaciones derivados de dos productos MDE, el primero con resolución de 2x2 m, que se considera como referencia o patrón para el control, y el segundo con resolución de 5x5 m que es el producto a evaluar. La aplicación a este caso real permite entender mejor cómo se relacionan los aspectos más significativos del método y entender la capacidad de análisis que posee.

Palabras clave: Modelo Digital de Elevaciones, pendiente, orientación, test de equivalencia, distancia de Hellinger.

¹ Universidad de Jaén, España, correo electrónico: mvalba@ujaen.es.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4747-740X>

ABSTRACT

This paper proposes a thematic quality control method (based on classes) applicable to the cases of slope and aspect derived from Digital Elevation Models (DEM). The novelty of the proposed method is that it adopts the perspective of detecting “relevant differences” instead of “exact equality”, which is the usual one in the most generalized hypothesis testing problems. Working with categories strengthens the approach to the variables that are controlled, and the perspective of “relevant differences” allows controlling the degree of “closeness” that is desired by means of the Hellinger distance. In the practical case presented, the slope and orientation models derived from two DEM products are compared, the first is a product with a 2x2 m resolution, which is considered as a reference or standard for the control, and the second is a product with 5x5 m resolution, which is the product to evaluate. The application to this case allows us to understand how the most significant aspects of the method are related, and to understand its analytical capacity.

Key words: Digital Elevation Model, slope, aspect, equivalence test, Hellinger distance.

1. Introducción

Un Modelo Digital de Elevaciones (MDE) es un conjunto de datos, en soporte y modelo digital, que representa las elevaciones de la superficie desnuda del terreno (sin vegetación ni características artificiales). Los MDE permiten analizar las características morfológicas del relieve, su topografía (p.ej. colinas, crestas, valles, ríos, etc.), y se pueden derivar una gran cantidad de parámetros (por ejemplo, pendiente, orientación, curvatura, etc.).

Los MDE son productos de datos con aplicaciones en un amplio conjunto de disciplinas como Ingeniería Civil (Stroeven *et al.*, 2015), Hidrología (Saksena y Merwade, 2015), Geomorfología (Gómez *et al.*, 2015), Agricultura (Rekha *et al.*, 2015), Silvicultura (Juel *et al.*, 2015), etc. Dos usos principales de los MDE son el cálculo de la pendiente y la orientación (Mesa-Mingorance y Ariza-López, 2020; Ariza-López *et al.*, 2018). Utilizando algoritmos relativamente simples, los modelos digitales de pendiente y orientación se derivan de los MDE. El cálculo de estos parámetros se basa en un análisis local de la derivada de elevación. Pendiente es el grado de inclinación de una superficie. La pendiente de una ubicación en particular se calcula como la tasa máxima de cambio de elevación entre esa ubicación y sus alrededores. La pendiente se puede expresar en grados o en porcentaje. La orientación de la dirección de la pendiente máxima medida en el sentido de las agujas del reloj en el intervalo [0, 360], donde 0° representa orientación al norte, 90° orientación al este, 180° orientación al sur, etc. La pendiente es relevante para trabajos de ingeniería y riesgos naturales (por ejemplo, deslizamientos de laderas) (Van Westen, 2013). La orientación está relacionada con la insolación y, por tanto, tiene una gran relevancia para las plantas y el uso de la energía solar (Kumar *et al.*, 1997).

En algunos casos puede ser necesario evaluar la similitud entre dos modelos digitales de pendiente u orientación, bien en el sentido de similitud, donde los dos modelos a comparar tienen la misma consideración, o en el sentido de control de calidad, donde uno de los modelos se considera como referencia o patrón (Ariza López, 2002). En cualquiera de los dos contextos, es más robusto trabajar con un conjunto de categorías, que se pueden modelizar mediante ley multinomial, que, con una variable continua como la pendiente, o circular como la orientación. Esto se ve reforzado si las pruebas estadísticas (test de hipótesis) se basan en diferencias relevantes y no en una perspectiva de igualdad exacta (véase Sección 2). Por ello, es relevante proponer controles de calidad para estos dos parámetros y, en este trabajo, se presenta una de las primeras propuestas de control basado en un test estadístico denominado “test de equivalencia”.

El objetivo de este trabajo es proponer un control de calidad de tipo temático (basado en clases), es decir, en clases o categorías de pendiente y orientación definidas a voluntad por parte del usuario, pero con una perspectiva de detectar diferencias relevantes entre el producto y la referencia, no de igualdad exacta, como es usual en los contrastes de hipótesis al uso, si no permitiendo una holgura en una medida de distancia entre el producto a evaluar y el producto-patrón o producto-referencia.

El documento se organiza de la siguiente manera, tras esta introducción, la sección 2 presenta el método estadístico que se propone, en el que se incluyen los resultados de un estudio de simulación para el estudio de la significación y potencia del test propuesto. La sección 3 ofrece un ejemplo de aplicación al caso de unos datos reales relativos a la zona de las Bárdenas Reales (Navarra, España). Se analizará lo que ocurre con dos clasificaciones de las pendientes y con las orientaciones. La sección 4 presenta una discusión centrada en el método, sus aspectos más significativos y en los resultados de la aplicación desarrollada. Finalmente, la sección 5 se refiere a las conclusiones.

2. Metodología

Consideraremos que dada una variable genérica Y (pendiente u orientación) se va a categorizar atendiendo a un conjunto de tolerancias o umbrales que determinarán la definición de cada categoría. Supondremos que el número de categorías es k por lo que dada una muestra aleatoria simple de n observaciones de la variable Y , el vector que recoge conjuntamente el número de observaciones en cada categoría, $X = (X_1, X_2, \dots, X_k)'$, sigue una distribución multinomial de parámetros n y $P = (p_1, \dots, p_k)'$, $p_i > 0, 1 \leq i \leq k, \sum_{i=1}^k p_i = 1$, donde p_i representa la probabilidad de ocurrencia asociada a la categoría i -ésima, $X \rightarrow M(n, P)$.

Por otro lado y dado el conjunto de referencia, la clasificación anterior aplicada sobre él nos proporciona el vector $P_0 = (p_{01}, \dots, p_{0k})'$ que representa los valores de referencia que determinarán los criterios de calidad para la clasificación de la variable Y . Nótese que los porcentajes indicados en P_0 son fijos y se obtienen como la probabilidad de que la variable Y tome valores en el intervalo que define cada categoría sobre el MDE de referencia.

Nótese que el vector P_0 puede incluso venir definido por el usuario (experto) a partir de las proporciones observadas sobre la categorización utilizada en otros modelos digitales (anteriores en el tiempo o en otras áreas de estudio).

Para determinar si los niveles de calidad indicados por la categorización en un conjunto de datos de referencia se alcanzan por parte del producto, existen una variedad de test de hipótesis que permiten dar una respuesta. Sin embargo todos ellos tienen en común la definición de una hipótesis nula formulada en términos de igualdad, $P = P_0$ y una hipótesis alternativa en términos de desigualdad, $P \neq P_0$. En este tipo de test en el caso de que no existan evidencias para rechazar la hipótesis, la conclusión no debe ser que la hipótesis nula sea cierta. En otras palabras, puesto que el diseño de los test clásicos no está enfocado a la validación de la hipótesis nula, que no tengamos evidencia suficiente para rechazar que los niveles de calidad no se cumplen ($P \neq P_0$), no significa que dichos niveles se hayan alcanzado ($P = P_0$).

El objetivo de este trabajo es proponer un procedimiento formal (test estadístico) para determinar si los niveles de calidad de un producto MDE se alcanzan en el sentido de que las diferencias entre P y P_0 son suficientemente pequeñas como para considerar que ambas distribuciones multinomiales son iguales excepto "desviaciones irrelevantes".

Para cuantificar el grado de similitud entre P y P_0 vamos a considerar como medida de distancia el cuadrado de la distancia de Hellinger. Esta opción no es casual, esta medida de distancia se ha utilizado previamente con buenos resultados en problemas inferenciales relacionados con la distribución multinomial. Destacamos su uso en el estudio de similaridad de patrones espaciales de puntos (Alba-Fernández y Ariza-López, 2018; Alba-Fernández *et al.*, 2016) o de la similaridad temática mediante matrices de confusión (García-Balboa *et al.*, 2018).

Consideremos $H(P, P_0)$ como el cuadrado de la distancia de Hellinger entre P y P_0 definida como

$$H(P, P_0) = \sum_{i=1}^k (\sqrt{p_i} - \sqrt{p_{0i}})^2. \quad (1)$$

Para un valor $\varepsilon > 0$, se plantea el siguiente contraste de hipótesis, conocido también como test de equivalencia

$$\begin{aligned} H_{0\varepsilon}: H(P, P_0) &\geq \varepsilon \\ H_{1\varepsilon}: H(P, P_0) &< \varepsilon. \end{aligned} \quad (2)$$

Puesto que $0 \leq H(P, P_0) \leq 2$ y $H(P, P_0) = 0$ si y solo si $P = P_0$, rechazar H_0 supone que las distribuciones multinomiales son iguales excepto desviaciones irrelevantes dado el valor residual de ε .

Destacamos que el planteamiento de las hipótesis nula y alternativa en un test de equivalencia contrastan con la formulación de un test "clásico" de una hipótesis nula de "igualdad" frente a una alternativa de "no igualdad". Ahora, en

el test de equivalencia planteado, rechazar H_{0e} supondrá que las distribuciones con vector de probabilidades P y P_0 son prácticamente iguales atendiendo a la distancia considerada entre ellas. Por lo tanto, la conclusión del rechazo es confirmatorio sobre la verdadera distribución que representa los datos observados, es decir, es una prueba de validación de que los niveles de calidad marcados por el conjunto de referencia a través del modelo multinomial, $M(n, P_0)$, se alcanzan por parte del producto, $M(n, P)$.

En este contexto, dado el vector de frecuencias relativas $\hat{P} = (\hat{p}_1, \dots, \hat{p}_k)'$, $\hat{p}_i = \frac{x_i}{n}, \forall i$, que es el estimador de máxima verosimilitud de P , y a partir de $H(\hat{P}, P_0)$, estimador consistente de $H(P, P_0)$, el resultado del Corolario 3.1 en Zografos *et al.* (1990) para $P \in H_{0e}$, nos permite obtener la distribución asintótica de $H(\hat{P}, P_0)$,

$$\sqrt{n}(H(\hat{P}, P_0) - H(P, P_0)) \xrightarrow{\mathcal{L}} N(0, \sigma^2) \tag{3}$$

cuando $n \rightarrow \infty$, donde:

$$\sigma^2(P) = 1 - \left(\sum_{i=1}^k \sqrt{p_i p_{0i}} \right)^2 \tag{4}$$

y $\xrightarrow{\mathcal{L}}$ identifica convergencia en distribución.

Tomando $\hat{\sigma}^2 = \sigma^2(\hat{P})$ como estimador consistente de $\sigma^2(P)$, se verifica que

$$\sqrt{n} \frac{(H(\hat{P}, P_0) - H(P, P_0))}{\hat{\sigma}} \xrightarrow{\mathcal{L}} N(0, 1), \tag{5}$$

cuando $n \rightarrow \infty$.

Por tanto, dado un nivel de significación $\alpha \in (0, 1)$, rechazaremos la hipótesis nula H_{0e} si

$$T_n = \sqrt{n} \frac{(H(\hat{P}, P_0) - \varepsilon)}{\hat{\sigma}} \leq Z_\alpha \tag{6}$$

siendo Z_α el percentil α de la distribución normal estándar.

A partir de este resultado, el test que rechaza H_{0e} según (6) tiene asintóticamente nivel de significación α y es consistente frente a cualquier alternativa fija.

2.1. Estudio del nivel de significación

El test de equivalencia presentado se basa en el comportamiento asintótico del test estadístico T_n . Es decir, para un valor de ε , y para un nivel de significación α , la distribución asintótica, para tamaños de muestra grandes, es una distribución normal estándar.

Sin embargo, para tamaños de muestra pequeños o moderados se hace necesario analizar el comportamiento del test. En concreto, se ha diseñado un conjunto de simulaciones para evaluar sobre datos simulados el nivel de significación y la potencia del test teniendo en cuenta la relación existente entre el número de categorías k , el valor de ϵ y el tamaño de muestra para que la aproximación de T_n a la distribución normal sea adecuada, todo ello, dado un nivel un significación fijado $\alpha \in (0,1)$.

Con este objetivo, describimos brevemente las condiciones del estudio de simulación:

1. Se ha considerado $P_0 = (1/k, \dots, 1/k)'$ para valores de k oscilando entre 3 y 7. La elección de este caso de estudio no es azarosa puesto que se ha utilizado ya previamente para estudiar el comportamiento de diversos test estadísticos vinculados a problemas de inferencia relacionados con la distribución multinomial (Alba-Fernández y Jiménez-Gamero, 2009; Basu *et al.*, 2002; Pardo, 1999). Con respecto al número de categorías, creemos que se cubre el rango más habitual observado en las clasificaciones sobre la pendiente y orientaciones en un MDE (Elewa y Qaddah, 2011; Mikulska *et al.*, 2014; Mogaji *et al.*, 2015; Sheng, 1990; CEN prEN 1998-1, 2003; NTC, 2008).
2. Para el estudio del nivel de significación, debemos considerar casos incluidos en H_{0e} . En particular, se han considerado un conjunto de configuraciones para P de forma que den lugar a unos valores de ϵ entre 0.1 y 0.2, alterando los porcentajes equiprobables de P_0 en alguna o varias categorías. Los casos concretos utilizados en la simulación se presentan en la Tablas 1, Tabla 2 y Tabla 3, para los tres valores de k considerados.
3. Para cada configuración, P , se han generado muestras de la correspondiente multinomial, $M(n, P)$, para varios tamaños de muestra $n=50, 100, 200, 500$ y se ha aplicado el criterio de decisión descrito en (6) para un nivel de significación $\alpha=0.05$.
4. Repetido el procedimiento 100000 veces se ha determinado el porcentaje de rechazo de la hipótesis nula, lo que nos proporciona una estimación del error tipo I o nivel de significación α . La Tabla 4 y la Tabla 5, resumen los resultados obtenidos para cada valor de k .
5. Para el estudio de la potencia del test, debemos generar ahora bajo la hipótesis alternativa, por tanto, repetiremos los pasos 3) y 4) tomando como configuración para P el caso P_0 para $n=50, 100, 200$. La Tabla 6 muestra los valores estimados de la potencia tomando $\epsilon=0.15$ y $\alpha=0.05$.

Puesto de dichos porcentajes de rechazo presentados en la Tabla 4 y la Tabla 5 representan las probabilidades estimadas de tipo I (nivel de significación), podemos observar cómo para valores pequeños de k , dicho nivel se alcanza para tamaños de muestra bajos ($n=50$ para $k=3$, independientemente del valor de ϵ), mientras que la aproximación a la distribución normal en (5) requiere tamaños de muestra superiores conforme el valor de k va aumentando o el valor de ϵ va disminuyendo. Para tamaños de muestra para los que las probabilidades estimadas de tipo I son inferiores a 0.05, el test es conservativo, es decir, rechaza

en menor medida que el nivel de significación. Sin embargo, para este nivel de significación (5%), la potencia del test es muy elevada.

Tabla 1. Configuraciones de P para $k=3$

<i>Casos</i>	p_1	p_2	p_3
Caso 1	0.1758	0.1758	0.6483
Caso 2	0.1433	0.1433	0.7133
Caso 3	0.1167	0.1167	0.7667

Tabla 2. Configuraciones de P para $k=5$

<i>Casos</i>	p_1	p_2	p_3	p_4	p_5
Caso 1	0.1350	0.1350	0.1350	0.1350	0.4600
Caso 2	0.1400	0.1500	0.1400	0.1500	0.4200
Caso 3	0.1535	0.1535	0.1535	0.1535	0.3860

Tabla 3. Configuraciones de P para $k=7$

<i>Casos</i>	p_1	p_2	p_3	p_4	p_5	p_6	p_7
Caso 1	0.1300	0.1300	0.1300	0.1300	0.1300	0.1300	0.2200
Caso 2	0.1229	0.1229	0.1229	0.1229	0.1229	0.1229	0.2629
Caso 3	0.1155	0.1155	0.1155	0.1155	0.1155	0.1155	0.3071

Tabla 4. Porcentajes de rechazo para el nivel de significación del 5% ($k=3$ y $k=5$)

<i>n</i>	$k=3$			$k=5$		
	<i>Caso 1</i>	<i>Caso 2</i>	<i>Caso 3</i>	<i>Caso 1</i>	<i>Caso 2</i>	<i>Caso 3</i>
ϵ	0.1	0.15	0.2	0.1	0.15	0.2
50	0.057	0.047	0.052	0.035	0.034	0.038
100	0.056	0.056	0.049	0.039	0.039	0.046
200	0.057	0.053	0.049	0.042	0.043	0.050
500	0.054	0.052	0.050	0.046	0.045	0.052

Tabla 5. Porcentajes de rechazo para el nivel de significación del 5% para $k=7$

n	Caso 1	Caso 2	Caso 3
ε	0.1	0.15	0.2
50	0.019	0.022	0.023
100	0.027	0.028	0.029
200	0.033	0.034	0.033
500	0.038	0.040	0.040
1000	0.044	0.041	0.043
2000	0.046	0.044	0.044

Tabla 6. Estimaciones de la potencia para un nivel de significación del 5%

n	$k=3$	$k=5$	$k=7$
50	0.999	0.995	0.977
100	1	1	1
200	1	1	1

3. Aplicación

Para demostrar la aplicación del enfoque y métodos propuestos, se va a trabajar con datos correspondientes a dos productos MDE de los que se derivarán sendos modelos de pendientes y orientaciones. El área de trabajo se corresponde con una zona de las Bárdenas Reales (provincia de Navarra, España), que está delimitada por la hoja 0245 del Mapa Topográfico Nacional de España. Los productos originales son:

- MDE02. Modelo digital de elevaciones de paso de malla de 2x2 m procedente de un levantamiento LiDAR del año 2017, dentro del proyecto PNOA (Plan Nacional de Ortofotografía Aérea, <https://pnoa.ign.es/el-proyecto-pnoa-lidar>).
- MDE05. Modelo digital de elevaciones de paso de malla de 5x5 m procedente de un levantamiento LiDAR del año 2012, dentro del proyecto PNOA.

Ambos conjuntos de datos están disponibles en el centro de descargas del Centro Nacional de Información Geográfica (España) (<http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas>). La Figura 1 muestra el MDE sobre la zona de estudio.

De los modelos anteriores, y por medio de operaciones convencionales de análisis SIG de la caja de herramientas de ArcGIS™, se han derivado los modelos de pendientes (PTE02 y PTE05) y orientaciones (ORI02 y ORI05). En este trajo los modelos de menor paso de malla (2x2 m) son utilizados como referewncia o patrón y los de mayor paso de malla (5x5 m) como producto a evaluar.



Figura 1. Modelo de elevaciones (Bárdenas Reales, Navarra, España).
Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IGN.

3.1 Pendiente

En esta zona de estudio, se han considerado dos clasificaciones para la pendiente. Cuando Dichas clasificaciones se aplican al modelo PTE02 dan lugar a los valores “patrón” que serán los consideraremos como valores fijos en el contraste (2) y que el producto PTE05 debe cumplir. En la Tabla 7 y la Tabla 8 se resumen dichos porcentajes, cuya representación espacial se muestran en la Figura 2.

Tabla 7. Clasificación #1

<i>Grados</i>	<i>Clasificación</i>	P_0
0-1	Llano	0.23
-1-7.5	Moderado	0.54
>7.5	Elevado y muy elevado	0.23

Fuente: elaboración propia.

Tabla 8. Clasificación #2

<i>Grados</i>	<i>Clasificación</i>	P_0
0-2	Llano casi llano	0.40
2-8	Ligeramente inclinado	0.38
8-15	Fuertemente inclinado	0.10
15-30	Muy inclinado	0.09
>30	Empinado	0.03

Fuente: elaboración propia.

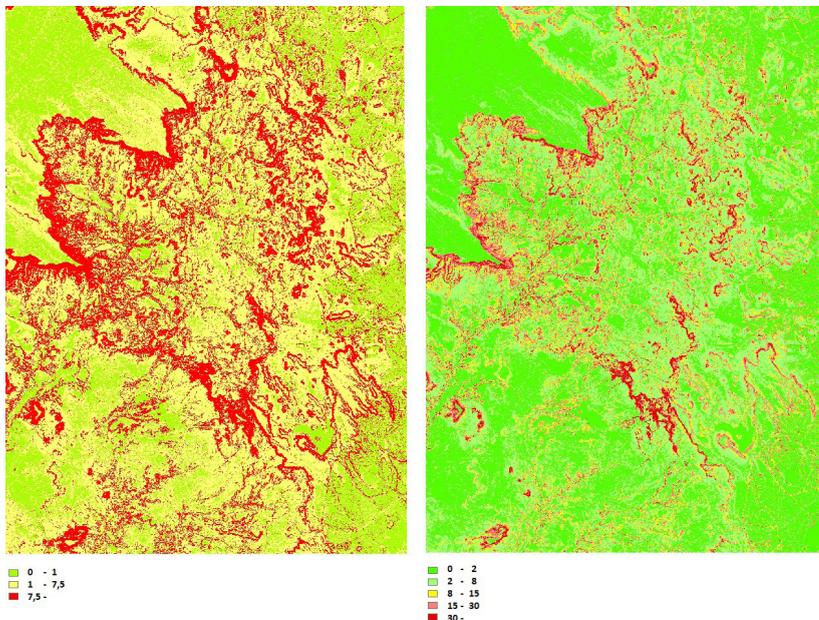


Figura 2. Modelos de pendientes sobre DEM02 según las clasificaciones #1 (izquierda) y #2 (derecha).

Recordemos que para un valor ε positivo y suficientemente pequeño, rechazar $H_{0\varepsilon}$ supondrá que los valores “patrón” se han alcanzado. En nuestro caso, aplicamos (2) para $\varepsilon=0.1$, teniendo en cuenta que $Z\alpha=-1.645$ para $\alpha=0.05$. Para ello, hemos extraído muestras aleatorias simples de tamaños $n=100, 200$ y 500 para asegurarnos la correcta aplicación de la clasificación #2 independientemente del valor de ε . La Tabla 9 y la Tabla 10, muestran los porcentajes observados en el producto para cada clasificación, el estadístico de contraste T_n para cada caso y el resultado de la regla de decisión. Los resultados reflejados en ambas tablas nos llevan a la conclusión de que efectivamente los niveles de calidad

representados por los valores “patrón” en el producto PTE05 se cumplen, tanto para la clasificación #1 como para la clasificación #2. Este nivel de cumplimiento debe entenderse como que la multinomial observada en PTE05 y la definida por el “patrón” (PTE02) son iguales, salvo diferencias mínimas en términos de la distancia de Hellinger.

Tabla 9. Aplicación del test de equivalencia sobre la clasificación #1

<i>Tamaño de muestra</i>	\hat{p}	T_n	<i>Decisión</i>
100	(0.280, 0.540, 0.180)	-12.73	Rechazar H_{0e}
200	(0.235, 0.550, 0.215)	-78.11	Rechazar H_{0e}
500	(0.240, 0.528, 0.232)	-167.23	Rechazar H_{0e}

Fuente: elaboración propia.

Tabla 10. Aplicación del test de equivalencia sobre la clasificación #2

<i>Tamaño de muestra</i>	\hat{p}	T_n	<i>Decisión</i>
100	(0.38, 0.44, 0.09, 0.07, 0.02)	-13.46	Rechazar H_{0e}
200	(0.405, 0.400, 0.110, 0.070, 0.015)	-20.54	Rechazar H_{0e}
500	(0.382, 0.398, 0.112, 0.082, 0.026)	-67.12	Rechazar H_{0e}

Fuente: elaboración propia.

3.2 Orientaciones

En el caso de las orientaciones, hemos considerado la clasificación usual en ocho sectores (N, NW, W, SW, S,...). Los valores de las proporciones correspondientes a estas categorías de orientación en ORI02 (datos de referencia), se muestran en la Tabla 11, en ella no aparece la categoría de terreno llano (sin orientación), pues es muy minoritaria y casi nula. Dichos valores vuelven a considerarse como el “patrón” que el producto ORI05 debe cumplir. La Figura 3 representa el modelo de orientaciones de esta zona.

Tabla 11. Clasificación de la orientación

<i>Grados</i>	<i>Clasificación</i>	P_o
337.5-360, 0-22.5	Norte (N)	0.10
22.5-67.5	Nordeste (NE)	0.11
67.5-112.5	Este (E)	0.12
112.5-157.5	Sureste (SE)	0.12
157.5-202.5	Sur (S)	0.14
202.5-247.5	Suroeste (SW)	0.16

Continuación Tabla 11

Grados	Clasificación	P_0
247.5-292.5	Oeste (W)	0.14
292.5-337.5	Noroeste (NW)	0.11

Fuente: elaboración propia.

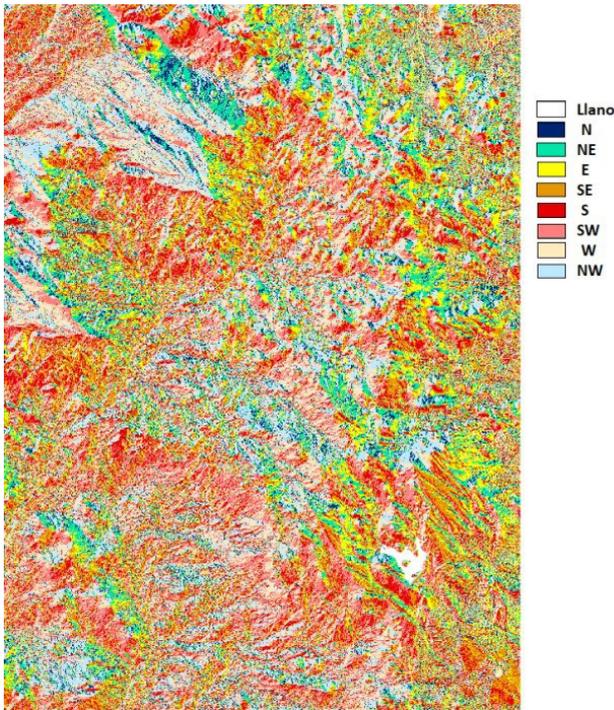


Figura 3. Modelo de orientaciones sobre DEM02.

Aplicamos nuevamente el test (2) con $\varepsilon=0.1$, y para asegurarnos la correcta aplicación del mismo, se ha seleccionado una muestra aleatoria simple de tamaño 500. Para dicha muestra, las frecuencias relativas observadas en cada categoría fueron 0.092, 0.116, 0.098, 0.122, 0.124, 0.160, 0.150 y 0.120, respectivamente. Para estos valores, el valor del estadístico de contraste fue $T_n = -15.40$ y puesto que $Z_{0.05} = -1.645$, el criterio de decisión (6) en este caso da lugar al rechazo de la hipótesis nula, es decir, el cuadrado de la distancia de Hellinger entre el vector de frecuencias relativas y los valores “patrón” es inferior a 0.1 por lo que se considera que el producto ORI05 ha alcanzado los niveles de referencia para la clasificación de la orientación y que se han establecido por medio de ORI02.

4. Discusión

La discusión se va a desarrollar en tres líneas, la primera sobre el método, la segunda sobre sus aspectos más significativos, y la tercera sobre los resultados.

Consideramos que la aplicación del método es directa. Desde un punto de vista estadístico supone la realización de un contraste de hipótesis donde la hipótesis nula y la alternativa están establecidas de manera diferente a las hipótesis nula y alternativa convencionales que proponen una igualdad y una no igualdad. Esta diferencia supone por un lado un cambio conceptual en cuanto a lo que supone rechazar o no una hipótesis nula, aunque desde el punto de vista de los test estadísticos, no supone ningún tipo de cambio con respecto a la interpretación del nivel de significación y potencia asociados a todo test de hipótesis, pero este cambio en la formulación de las hipótesis, si introduce matices distintos sobre lo que se contrasta y, por ende, sobre lo que se acepta y rechaza desde el punto de vista del control de la calidad. La Tabla 12 resume estos cambios.

Tabla 12. Interpretación de los errores tipo I y II

<i>Errores</i>	<i>Test clásico</i>	<i>Test de equivalencia</i>
$\alpha = P[\text{Rechazar } H_0 / H_0 \text{ cierta}]$ (riesgo del productor)	Probabilidad de rechazar un producto cuando es bueno	Probabilidad de aceptar un producto malo cuando efectivamente lo es
$\beta = P[\text{No rechazar } H_0 / H_0 \text{ es falsa}]$ (riesgo del usuario)	Probabilidad de aceptar un producto cuando es malo	Probabilidad de aceptar un producto malo cuando el producto es bueno
Potencia = $1 - \beta$	Probabilidad de rechazar un producto cuando es malo	Probabilidad de aceptar el producto cuando el producto es bueno

Fuente: elaboración propia.

En relación a los aspectos más significativos consideramos que éstos son el número de categorías, el tamaño de muestra y la distancia de Hellinger, los cuáles se encuentran muy interrelacionados en el método y necesitan un ajuste conjunto. El método se basa en la comparación de distribuciones multinomiales, por lo cual le es connatural el trabajar con categorías. El método se puede aplicar a variables categorizadas, pero en este trabajo se ha aplicado a variables continuas que se han discretizado. Estas categorías las puede definir el usuario a voluntad, pero su número no es un aspecto neutro. Un mayor número de categorías lleva a mayores tamaños de muestra, lo cual es lógico desde la perspectiva de los procesos de estimación sobre multinomiales.

Recordemos que la regla de decisión (6) se basa en la aproximación asintótica bajo H_0 del estadístico de contraste T_n , y por tanto, el nivel de significación α se alcanzará de manera adecuada a partir de un determinado tamaño de

muestra. Dicha aproximación se alcanzará para tamaños de muestra menores para valores de k menores (independientemente del valor de ε), y se hace más costosa en muestreo si k aumenta. Esta consideración es usual a otros test de hipótesis vinculados a la distribución normal, como por el ejemplo el test χ^2 de Pearson, cuya aplicación se basa en aproximaciones asintóticas.

Por ello se recomienda tomar siempre el menor número de categorías posibles. En cualquier caso, consideramos que, con los ejemplos de aplicación mostrados, donde $k=3, 5$ y 8 , se demuestra que se puede aplicar a los números de categorías más usuales.

Por otro lado, el test de hipótesis no se realiza sobre una medida natural al problema (p.ej. grados, radianes, metros, etc.), si no por medio de la distancia de Hellinger, la cual es desconocida para la que la mayoría de los usuarios y, aunque se entienda su base matemática, no se tiene demasiada sensibilidad sobre ella. Es decir, ¿ $\varepsilon = 0.1$ es mucho o es poco? Para dar respuesta a esta pregunta debemos tener en cuenta la definición de $H(P, P_0)$, relacionada en cierta forma con la distancia euclídea sobre las raíces cuadradas de las frecuencias observadas y patrón, junto con el interés que el usuario ponga en que las “discrepancias” mencionadas sean o no de una determinada magnitud. En cualquier caso, esta limitación es muy usual en la aplicación de herramientas estadísticas a datos geoespaciales (p.ej. análisis cluster, etc.), donde aparecen diversas distancias (p.ej. Minkowski, Chebyshev, Manhattan, Mahalanobis, etc.) que tampoco son distancias “naturales” al problema. Esto conlleva la necesidad de alcanzar la suficiente sensibilidad en el manejo de la distancia que se aplica.

En el apartado 2.1 se ha desarrollado un estudio del nivel de significación que puede dar orientaciones para los casos que se han considerado en él, pero que también puede servir de guía para que los interesados en el método realicen sus ajustes entre número de categorías y ε .

No hay que perder de vista que el resultado es general para cualquier “patrón” P_0 y que se puede adaptar a otro contexto distinto del planteado en el manuscrito (equiprobabilidad), para ello, basta repetir los pasos 1)-5) indicados en la sección 2.1 para el valor P_0 objeto de estudio y otras configuraciones de P de forma que $H(P, P_0) = \varepsilon$, para un $\varepsilon > 0$ dado.

Finalmente, en relación a los resultados de los tres casos prácticos presentados, consideramos que se ha evidenciado la posibilidad de aplicación de esta metodología a las variables pendiente y orientación derivadas de MDE. Dado que los modelos MDE02 y MDE05 son de calidad alta, de fechas cercanas y que no han existido grandes cambios territoriales, el resultado de la aplicación es que los modelos derivados para las pendientes (PTE02 y PTE05), y para las orientaciones (ORI02 y ORI05), no muestran entre ellos diferencias superiores al valor de ε considerado. Un aspecto importante de la aplicación práctica es el tamaño de muestra necesaria para este control de calidad, el cual tiene repercusiones directas sobre el coste. En los ejemplos para la pendiente se han considerado tres tamaños de muestra ($n=100, 200, 500$) y, como se puede observar, en todos ellos se llega a la misma conclusión (rechazo de H_{0e}). A mayor

tamaño de n , el estadístico T_n obtenido también es mayor, lo que significa que se tiene más confianza en esta decisión. Por otro lado, también se evidencia que el crecimiento de T_n es menor con n en el caso de $k=5$ que en el caso de $k=3$, lo cual es lógico, pues mayor número de categorías requiere más esfuerzo muestral. En cualquier caso, el menor valor de T_n supera con creces el valor de Z_α considerado, lo que permite considerar que se podrían utilizar tamaños de muestra algo menores, especialmente para $k=3$ donde es suficiente un tamaño de muestra de $n=50$ para obtener resultados fundamentados. Finalmente, en relación a la ejecución de estos muestreos en campo, no conviene olvidar que la medición de la pendiente y orientación en campo suele realizarse de manera simultánea o subrogada a otro tipo de trabajos (p.ej. catas edáficas), por lo que su disponibilidad estará en la mayoría de las veces condicionadas por este tipo de actuaciones.

5. Conclusión

En este trabajo se ha presentado una metodología para controlar algunas magnitudes derivadas de un MDE por medio de un proceso de categorización y del modelo multinomial resultante. Para realizar dicho control se propone un test de equivalencia cuya peculiaridad es el planteamiento de las hipótesis nula y alternativa a contrastar. En concreto se definen en términos de una medida de distancia entre la multinomial determinada por el producto y la correspondiente al conjunto de referencia, de forma que se considera que ambas distribuciones son equivalentes si el cuadrado de la distancia de Hellinger entre ellas es inferior a un umbral positivo y suficientemente pequeño ε .

Por otro lado, dado que los resultados del test se basan en la aproximación asintótica del estadístico de contraste a la distribución normal, hay que tener en cuenta el número de categorías y ε para determinar el tamaño de muestra necesario para su correcta aplicación, consideración por otra parte usual en test de hipótesis cuya regla de decisión se base en aproximaciones asintóticas.

El método se plantea de manera general para cualquier magnitud susceptible de ser categorizada, de tal manera que el punto de partida sea una distribución multinomial. Esto es, su uso es general y aplicable en otros contextos, como por ejemplo en control de la calidad temática en mapas de cobertura del terreno (en el contexto de las referencias García-Balboa *et al.*, 2018), o en el estudio de la similaridad de patrones espaciales de puntos (en el contexto de las referencias Alba-Fernández *et al.*, 2016 y Alba-Fernández y Ariza-López, 2018), entre otros posibles usos.

Se ha evidenciado la posibilidad de aplicación de esta metodología a las variables pendiente y orientación derivadas de MDE, no mostrando grandes diferencias entre los modelos derivados para las pendientes (PTE02 y PTE05) y para las orientaciones (ORIO2 y ORIO5).

Agradecimientos

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el proyecto de investigación “Calidad Funcional en Modelos Digitales de Elevaciones del Terreno en Ingeniería” (https://coello.ujaen.es/investigacion/web_giic/funquality4dem/) de la Agencia Estatal de Investigación. PID2019-106195RB-I00/AEI/10.13039/501100011033.

Bibliografía

- Alba-Fernández, V., & Jiménez-Gamero, M. D. (2009). Bootstrapping divergence statistics for testing homogeneity in multinomial populations. *Mathematics and Computers in Simulation*, 79, 3375-3384. <https://doi.org/10.1016/j.matcom.2009.04.002>
- Alba-Fernández, M. V., & Ariza-López, F. J. (2018). A homogeneity test for comparing gridded-spatial-point patterns of human caused fires. *Forests*, 9, 454. <https://doi.org/10.3390/f9080454>
- Alba-Fernández, M. V., Ariza-López, F. J., Jiménez-Gamero, M. D., & Rodríguez-Avi, J. (2016). On the similarity analysis of spatial patterns. *Spatial statistics*, 18, 352-362. <http://dx.doi.org/10.1016/j.spasta.2016.07.004>
- Ariza López, F. J. (2002). *Calidad en Producción Cartográfica*, Ra-Ma, Madrid.
- Ariza-López, F. J., Chicaiza-Mora, E. G., Mesa-Mingorance, J. L., Cai, J., & Reinoso-Gordo, J. F. (2018). DEMs: An Approach to Users and Uses from the Quality perspective. *International Journal of Spatial Data Infrastructures Research*, 13, 131-171. Recuperado de <https://ijsdir.sadl.kuleuven.be/index.php/ijsdir/article/view/469>
- Basu, A., Ray, S., Park, C., & Basu, S. (2002) Improved power in multinomial goodness-of-fit tests. *Journal of the Royal Statistical Society. Series D*, 51 (3), 381-393. <https://doi.org/10.1111/1467-9884.00325>
- CEN rEN 1998-1- Eurocode 8: design of structures for earthquake resistance. Part 1: General rules, seismic actions and rules for resistance. Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings. Draft No 6, Doc CEN/TC250/SC8/N335, 2003, Brussels.
- Elewa, H., & Qaddah, A. (2011). Groundwater potentiality mapping in the Sinai Peninsula, Egypt, using remote sensing and GIS-watershed-based modeling. *Journal of Hydrology*, 19(2), 613-628. <https://doi.org/10.1007/s10040-011-0703-8>
- García-Balboa, J. L., Alba-Fernández, M. V., Ariza-López, F. J., & Rodríguez-Avi, J. (2018). Analysis of Thematic Similarity Using Confusion Matrices. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 7(6), 233. <https://doi.org/10.3390/ijgi7060233>.
- Gómez, C., Hayakawa, Y., & Obanawa, H. (2015). A study of Japanese landscapes using structure from motion derived DSMs and DEMs based on historical aerial photographs: New opportunities for vegetation monitoring and diachronic geomorphology. *Geomorphology*, 242, 11-20. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.02.021>.
- Juel, A., Groom, G. B., Svenning, J. C., & Ejrnaes, R. (2015). Spatial Application of Random Forest models for fine-scale coastal vegetation classification using object based analysis of aerial orthophoto and DEM data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 42, 106-114. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2015.05.008>

- Kumar, L., Skidmore, A. K., & Knowles, E. (2017). Modelling topographic variation in solar radiation in a GIS environment. *International Journal of Geographical Information Science*, 11(5), 475–497. <https://doi.org/10.1080/136588197242266>
- Mesa-Mingorance, J. L., & Ariza-López, F. J. (2020). Accuracy Assessment of Digital Elevation Models (DEMs): A Critical Review of Practices of the Past Three Decades. *Remote Sensing*, 12(16), 2630. <https://doi.org/10.3390/rs12162630>
- Mikulski, K.S, Sajnyg, N., & Krupowicz, W. (2014). Methodology of validation of agricultural real properties in Poland with the use of geographic information system tools. *Proceeding of the 14th SGEM GeoConference on Informatics, Geoinformatics and Remote Sensing*, 2, 345-356. <https://doi.org/10.5593/SGEM2014/B22/S9.044>
- Mogaji, K. A., Lim, H. S., & Abdullah, K. (2015). Regional prediction of groundwater potential mapping in a multifaceted geology terrain using GIS-based Dempster-Shafer model. *Arab. J. Geosci.*, 8, 3235-3258. <https://doi.org/10.1007/s12517-014-1391-1>
- NTC Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni. Part 3: Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche, *Gazzetta Ufficiale n. 29 del 4 febbraio 2008*.
- Pardo, M. C. (1999). On Burbea-Rao divergence based Goodness-of-fit tests for multinomials models. *Journal of Multivariate Analysis*, 69, 65-87. <https://doi.org/10.1006/jmva.1998.1799>
- Rekha, P. N., Gangadharan, R., Ravichandran, P., Mahalakshmi, P., Panigrahi, A., & Pillai, S.M. (2015). Assessment of impact of shrimp farming on coastal groundwater using Geographical Information System based Analytical Hierarchy Process. *Aquaculture*, 448, 491-506. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.06.025>
- Saksena, S., & Merwade, V. (2015). Incorporating the effect of DEM resolution and accuracy for improved flood inundation mapping. *Journal of Hydrology*, 530, 180-194. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.09.069>
- Sheng, T. C. (1990). *Watershed management field manual: Watershed survey and planning*. FAO Conservation guide 13/6. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Stroeven, P., Li, K., Le, N.L.B., He, H., & Stroeven, M. (2015). Capabilities for property assessment on diferent levels of the micro-structure of DEM-simulated cementitious materials. *Construction and Building Materials*, 88, 105-117. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.04.012>
- Van Westen, C. J. (2013). Remote sensing and GIS for natural hazards assessment and disaster risk management. In Shroder, J. (Editor in Chief), Bishop, M. P. (Ed.), *Treatise on Geomorphology*. Academic Press, San Diego, CA, 2013, vol. 3, *Remote Sensing and GIScience in Geomorphology*, 259-298.
- Zografos, K., Ferentinos, A., & Papaioannou, T. (1990). Divergence statistics: sampling properties and multinomial goodness of fit and divergence tests. *Communication in Statistics- Theory and Methods*, 19, 1785-1802. <https://doi.org/10.1080/03610929008830290>

iCPos: una herramienta web para la elaboración de Informes de Calidad Posicional

iCPos: A web-tool to create Quality Positional Control Reports

José Luis García-Balboa¹

Manuel Antonio Ureña-Cámara²

Emerson Magnus de Araujo Xavier³

Recibido 5 de marzo de 2021; aceptado 30 de mayo de 2021

RESUMEN

En la actualidad, el control de calidad posicional se constituye como necesidad en el marco de la producción de información espacial. Aunque existen diversos métodos y medidas para este tipo de controles, no hay software público disponible que facilite su aplicación, por lo que se suele realizar mediante cálculos adhoc. Por ello, se ha elaborado una herramienta, desarrollada como aplicación web de acceso libre que se presenta en este documento. La aplicación permite realizar el control de calidad posicional basado en puntos de control usando las propuestas del IPGH y de los diversos estándares de calidad como NMAS, EMAS, NSSDA y UNE 148002. Además, incluye capacidades de análisis estadístico de los errores, todo ello integrado bajo un informe estructurado que puede ser exportado y facilita el intercambio de información sobre la calidad de los productos cartográficos entre desarrolladores y usuarios.

Palabras clave: exactitud posicional, evaluación de la calidad, guía de evaluación, informe de calidad, servicios de calidad cartográfica.

¹ Universidad de Jaén, España, correo electrónico: jlbalboa@ujaen.es.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3109-5888>

² Universidad de Jaén, España, correo electrónico: maurena@ujaen.es.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6373-4410>

³ Servicio Geográfico del Ejército Brasileño, Brasil, correo electrónico: emerson.xavier@eb.mil.br.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2737-6633>

ABSTRACT

Positional Quality Control is a need in production based on geographic information nowadays. In spite of the different measures and method to test this quality element, there is no public software available to ease the application of this quality control. For this reason, most of these controls are achieved ad-hoc. In order to solve the scarcity of these kind of software, a new software has been developed, as free access web application, that allows to achieve the positional quality control based on points following the proposal of PAIGH and several standards such as NMAS, EMAS, NSSDA and UNE 148002. Moreover, the application includes statistical hypothesis tests of errors and ease the exchange for cartographic products between producers and users due to a structured quality report.

Key words: Positional Quality Control, Assessment of Quality control, Evaluation Guideline, Quality Report, Cartographic Quality Control Services.

1. 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, la topología y la calidad temática, y considerando que está directamente relacionada con la interoperabilidad del dato espacial. Conscientes de la relevancia de este aspecto, numerosas instituciones productoras de cartografía oficial, asociaciones profesionales y cuerpos normativos han desarrollado métodos de evaluación de la exactitud posicional (MEEP), por ejemplo: United States National Map Accuracy Standards (NMAS) (U.S. Bureau of the Budget [USBB], 1947), *Especificaciones para mapas topográficos* (Instituto Panamericano de Geografía e Historia [IPGH], 1978), Engineering Map Accuracy Standards (EMAS) (American Society of Civil Engineers [ASCE], 1983), National Standard for Spatial Data Accuracy (NSSDA) (Federal Geographic Data Committee [FGDC], 1998), ASPRS Positional accuracy standards for digital geospatial data (American Society for Photogrammetry and Remote Sensing [ASPRS], 2015), etc.

Los MEEP 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, mientras que el control de calidad determina si la propiedad de interés alcanza, o no, un nivel determinado. Son diversos los trabajos que comparan algunos de estos métodos (Ariza-López y Atkinson, 2008a) o que los analizan en profundidad desde una perspectiva más estadística, como es el caso del NSSDA en Ariza-López y Atkinson (2008b), el EMAS en Ariza-López, Atkinson y Rodríguez-Avi (2008), el NMAS en Ariza-López y Rodríguez-Avi (2014), etc.

Una de las conclusiones del Proyecto IPGH-PAT 2015 "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) era la existencia de "informalidad" a la hora de realizar las evaluaciones de la exactitud posicional en el ámbito de los países miembros del IPGH. Literalmente se indicaba que "esta informalidad, no sólo significa que no exista una adopción explícita de un MEEP ya existente o una norma o estándar propio, sino que, por lo general, también faltan documentos detallados que restrinjan la variabilidad de las múltiples interpretaciones y opciones que se pueden desarrollar a la hora de aplicar los MEEP existentes".

Consideramos que atender a los aspectos más aplicados de los procesos de evaluación permite mejorar la formalidad. Sin embargo, desde una perspectiva más aplicada son escasos los documentos relevantes que existen, así, el manual sobre el NSSDA (Minnesota Planning Land Management Information Center, 1999) presenta un carácter aplicado pero muy limitado, y otros documentos centrados en esta materia (p.ej. Poggioli, 2010, o el capítulo 3 de Congalton y Green, 2009) no realizan un tratamiento con suficiente detalle y con una orientación de guía aplicable. Desde una perspectiva más general, abarcadora de métodos y didáctica es muy destacable la publicación ocasional número 557 del IPGH titulada *Guía general para la evaluación de la exactitud posicional de datos espaciales* (Ariza-López *et al.*, 2019a), y desarrollada en el seno del Proyecto IPGH-PAT 2018 nº 23. Esta guía ofrece una compilación con los métodos más aplicados en el continente americano y, además, numerosas directrices sobre cómo afrontar cada uno de los aspectos de la evaluación de la exactitud posicional. Es relevante indicar que esta guía es el resultado de un método de desarrollo de guías que está basado en evidencias (Centro de Estudios e Investigación en Salud, 2014; Ariza-López, 2017), de tal manera que todas sus recomendaciones tienen un respaldo científico. Para más detalles sobre el proceso de elaboración de esta guía ver Ariza-López *et al.* (2019b).

Sin embargo, en una sociedad digital se requiere que los métodos descritos en documentos se ofrezcan como servicios en entornos digitales distribuidos que faciliten su aplicación por parte del mayor número de usuarios. En esta línea, este artículo presenta la herramienta iCPos (acrónimo de informe de Calidad Posicional) desarrollada por el Grupo de Investigación en Ingeniería Cartográfica (GIIC) de la Universidad de Jaén. Se trata de una herramienta web de acceso libre que incorpora todos los MEEP descritos Ariza-López *et al.* (2019a) y que, además, incorpora la generación de un informe de resultados versátil y que puede llegar a ser todo lo exhaustivo que se desee. Además, este servicio se basa en la aplicación de la Norma ISO 19157 (International Organization for Standardization [ISO], 2013), que está siendo revisada bajo la nueva denominación de ISO 19157-1, en todo lo relacionado con la descripción de la calidad de los datos espaciales

Consideramos que todo este esfuerzo se alinea con la "Visión de Aplicación del Marco Normativo de las Américas" (Naciones Unidas, 2013), el cual 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).

2. Estado del arte

Las evaluaciones de calidad posicional de productos, tanto digitales como analógicos, han sido una constante dentro de las Agencias de Producción Cartográfica. Sin embargo, los informes existentes se limitaban a presentar el resultado de la aplicación de algún método de control que ha sido convertido en alguno de los estándares "de facto" comentados en la introducción. Desde un punto de vista formal, la introducción de los informes de calidad en la Norma ISO 19115 (ISO, 2003) y en la Norma ISO 19157 (ISO, 2013) fue un paso adelante en cuanto al desarrollo desde un punto de vista más global para informar sobre la calidad y, por lo tanto, del punto de vista específico de la calidad posicional. A pesar de lo anterior, el informe era demasiado generalista y no abordaba todos los aspectos de interés del control posicional. Por ello, el desarrollo por el IPGH del documento 557 (Ariza-López y col., 2019a) supuso un ejemplo claro de lo que se espera de un informe de control de calidad, marcando una línea a seguir.

No obstante, a pesar de la documentación que ha ido desarrollando el aspecto formal del control de calidad posicional, el control ha venido realizándose mediante software general (hojas de cálculo, editores de texto, etc.), o mediante software de uso interno para los productores cartográficos. Pocas de estas herramientas han quedado disponibles para el público general y muchas menos con la capacidad de generar informes de calidad para los diferentes estándares existentes.

Dentro de este ámbito podemos citar las herramientas: (1) DSG Tools¹ que permite calcular el método de control posicional por puntos adoptado en Brasil; (2) GeoPEC² que permite el control posicional usando metodologías basadas en buffers sobre objetos geográficos lineales; y (3) BOS³ desarrollada por Tveite (2020) uno de los investigadores que propusieron este tipo de metodologías. Sin embargo, las herramientas basadas en objetos geográficos puntuales han sido despreciadas ya que se sustituyen por procesos más o menos largos entre capas en los Sistemas de Información Geográfica. En cualquier caso, ninguno de estos sistemas es capaz de generar informes o salidas personalizadas ni realizar ningún tipo de análisis estadístico de los datos de entrada ni de los resultados.

Por otra parte, sin embargo, sí existen herramientas para el aseguramiento de la calidad en aspectos de interoperabilidad. Desde este punto de vista,

¹ <https://github.com/dsgoficial/DsgTools/wiki>

² <http://www.geopec.com.br/>

³ <http://arken.nmbu.no/~havatv/gis/qgisplugins/BOS/>

esfuerzos como los desarrollados en el proyecto ELF (European Location Framework)⁴ en los aspectos de calidad son muy interesantes ya que marcan un esquema de integración de los procesos de calidad dentro de los sistemas de producción/integración cartográfica según describe Jakobsson *et al.* (2013) (Figura 1a). Este proceso se concreta en la Figura 1b, para la evaluación y creación

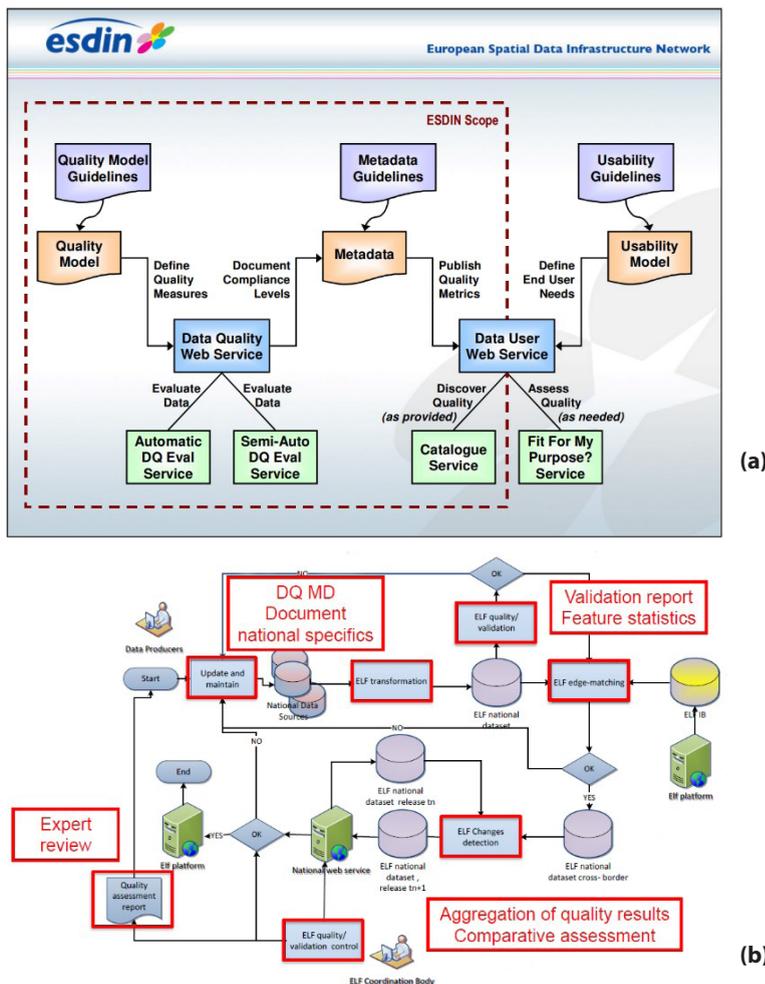


Figura 1. Ejemplo del ELF sobre el control de calidad y los informes de calidad. (a) Esquema del ESDIN (European Spatial Data Infraestructure Network). (b) Esquema del ELF (European Location Framework). Fuente: (a) Jakobsson *et al.* (2013). (b) Hopfstock (2015).

⁴ <https://www.elfproject.eu/>

de informes de calidad y aseguramiento tal y como los describió Hopfstock (2015). El problema es que estos informes de calidad desarrollados dentro del ELF son fundamentalmente de existencia de atributos y de interoperabilidad. Por ello, este tipo de informes tienen un ámbito bastante diferente al de los informes de calidad posicional donde los estándares “de facto” llevan muchos años en aplicación e integrados tanto en las especificaciones de los productos como en los propios procesos de producción.

Desde un punto de vista más parecido a los informes de calidad propuestos en Ariza-López y col. (2019a) se destacan los trabajos de Xavier y col. (2015a y 2015b). En ellos, se realiza una propuesta de creación de un servicio de procesamiento web (WPS) (Open Geospatial Consortium [OGC], 2015) que permite la evaluación de calidad externa usando conjuntos de puntos enlazados para el caso del NSSDA (Xavier *et al.*, 2015a) y para el caso de la Norma UNE 148002 (Asociación Española de Normalización [UNE], 2016) (Xavier *et al.*, 2015b). Como ejemplo mostramos la estructura principal del servicio en la Figura 2.

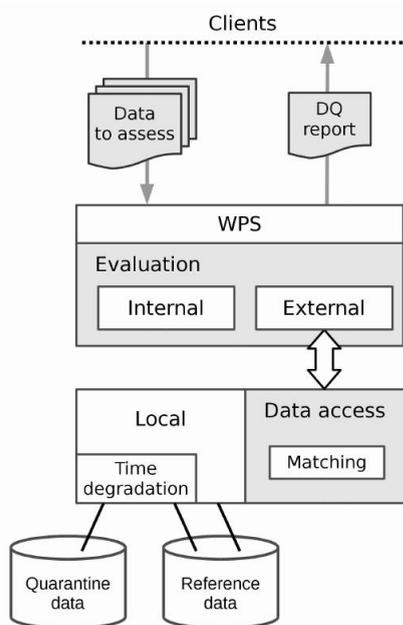


Figura 2. Propuesta de WPS para el control de calidad posicional.
Fuente: Xavier *et al.* (2015a).

Tanto el servicio para el NSSDA (Xavier *et al.*, 2015a) y el de la norma UNE 148002 (Xavier *et al.*, 2015b) disponen de una exportación en formato PDF del proceso (Figura 3) y una exportación XML para facilitar el encadenamiento de la salida WPS dentro de otros procesos.

 Universidad de Jaén Dpto. Ing. Cartográfica, Geodesica y Fotogrametría Grupo de Investigación Ingeniería Cartográfica		Document header	
Positional quality report based on UNE 148002			
Assessed dataset			
Layer name:	data/line_test_une1.shp	Information about the datasets received by the service	
Geometry type:	lines		
Feature count:	362		
Lot size:	362		
Reference dataset			
Layer name:	data/line_ref_une1.shp	Evaluation procedure section cites the reference documents and some parameters	
Geometry type:	lines		
Feature count:	50		
Evaluation procedure			
Measure:	number of positional defectives above a given threshold - Hausdorff distance	Some informations about the sampling	
Procedure reference:	UNE 148002. Información geográfica - Control de calidad posicional de datos espaciales (draft)		
Other reference:	ISO 2859-2:1985. Sampling procedures for inspection by attributes - Part 2: Sampling plans indexed by limiting quality (LQ) for isolated lot inspection		
Tolerance:	15.000		
Limiting quality (%):	5.0	Result section indicates whether the test dataset was accepted or rejected	
Sampling			
Sample size:	50		
Sample scheme:	The sampling scheme follows the rules defined in the ISO 2859-2 standard.		
Sampling ratio:	The sample covers 3.93% of the tested lot area.		
Result: REJECTED			
Description:	The product is accepted when there are an accepted quantity of positional defectives above a given threshold for the given limiting quality (LQ); rejected otherwise.		
Date-time:	2015-10-20T12:23:51Z		

Figura 3. Ejemplo de informe de evaluación de calidad para UNE 148002.

Fuente: Xavier *et al.* (2015b).

3. Guía para la evaluación de la exactitud posicional de datos espaciales (Ariza-López y col. 2019a)

La guía para la evaluación de la exactitud posicional de datos espaciales elaborada por el IPGH (Ariza-López *et al.*, 2019a) tiene como objetivo “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”. Por ello, en este documento se relacionan y describen diferentes estándares para el control de calidad posicional y se identifican distintas normas aplicadas en países tanto americanos como europeos basándose en partes de lo desarrollado en Ariza-López *et al.* (2017). El documento describe las directrices de toma de datos de campo para la evaluación de la exactitud posicional, pero fundamentalmente, los procesos desarrollados en gabinete. La propuesta de control de calidad se centra en el esquema mostrado en la Figura 4, que sigue el esquema de la Norma ISO 19157 (ISO, 2013), donde se determina un elemento

de la calidad (en nuestro caso la exactitud posicional) y un ámbito de aplicación. Tras lo cual, se desarrolla la evaluación y se obtiene el resultado que debe ser integrado en un informe.

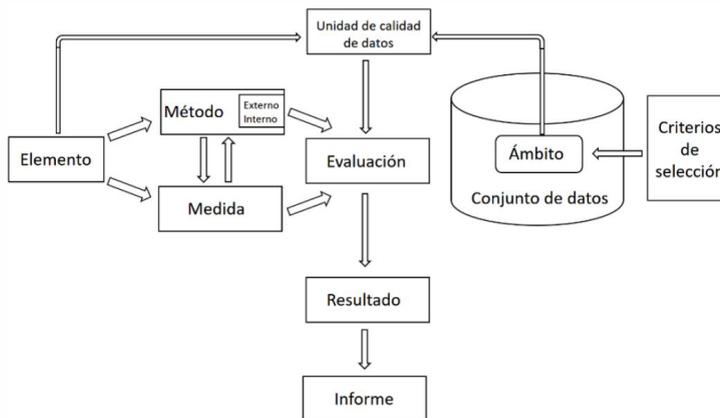


Figura 4. Relaciones y elementos intervinientes en una evaluación de la calidad de datos.
Fuente: Ariza-López *et al.* (2019a).

La guía describe los tres estándares más extendidos en el ámbito de la exactitud posicional, es decir, el NMAS, EMAS y NSSDA, mostrando y definiendo cada uno de los conceptos aplicados y dando ejemplos tanto de la captura de datos en campo como de las muestras a tomar, etc.

Como aspecto fundamental que relaciona la guía con este trabajo se encuentra el informe de calidad independiente, propuesto por la Norma ISO 19157 (2013) y adaptado para el control de calidad posicional. Para ello la guía define una serie de elementos que aparecen en la Figura 5, que se centran en seis aspectos fundamentales:

1. Identificación del producto a evaluar.
2. Identificación de los elementos de calidad y las medidas a aplicar.
3. Descripción de la fuente de mayor exactitud y su información.
4. Comprobación de las hipótesis estadísticas para las muestras utilizadas.
5. Resultados del control de calidad
6. Metacalidad indicando la confianza en el control, la homogeneidad asociada y la representativa del control respecto del producto evaluado.

Sin embargo, para su aplicación práctica, los elementos indicados en la Figura 5, son sólo una idea general que hay que normalizar y adecuar para el desarrollo de una aplicación software o un procedimiento y almacenamiento adecuados. Desde este punto de vista, el GIIC, ha centrado sus esfuerzos en este aspecto para el desarrollo de la aplicación objeto de este documento.

<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>
---	---

Figura 5. Esquema de contenidos del informe de calidad posicional
 Fuente: Ariza-López et al. (2019a). Tabla 10.

4. La aplicación iCPos

La aplicación iCPos (acrónimo de informe de Calidad Posicional) desarrollada dentro del GIIC de la Universidad de Jaén (España) consiste en una aplicación web de acceso libre que trata de incluir todos los aspectos indicados en Ariza-López *et al.* (2019a), realizando los cálculos oportunos y creando un informe completo de forma automática para el conjunto de datos de entrada de cada usuario.

Para el desarrollo de la aplicación, tal y como se ha indicado en la sección anterior, ha sido necesario un doble esfuerzo: el primero, la especificación de la estructura lógica del informe; el segundo, el desarrollo de una aplicación web de fácil uso y acceso. Trataremos cada uno de los dos aspectos en las siguientes secciones.

4.1. Diseño de la estructura del informe

Respecto de la estructuración del informe, el trabajo ha consistido en la descripción de los diferentes niveles que desarrollan cada uno de los ítems propuestos en Ariza-López *et al.* (2019a). Desde este punto de vista, el informe se ha detallado con hasta 4 niveles, como se puede ver en el ejemplo de la Figura 6. Cada nivel se ha catalogado y se ha incluido una descripción de su representación, su carácter (Obligatorio, Opcional o Condicional), el tipo de datos al que pertenece y las unidades (en su caso) a las que debe ser adscrito.

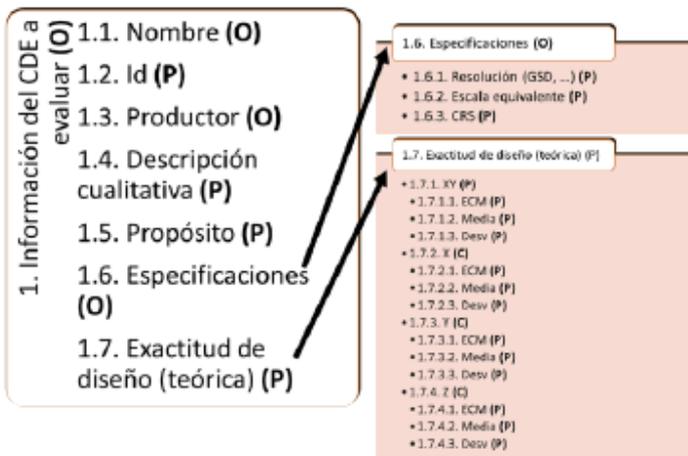


Figura 6. Ejemplo de estructuración realizada para la sección “Información sobre el Conjunto de Datos Espaciales a evaluar”.

Un aspecto fundamental de este proceso de estructuración es la descripción de aquellos elementos multivaluados, es decir, que pueden disponer de diversas entradas como por ejemplo el caso de las medidas de calidad utilizadas en el control posicional aplicado (Figura 7. Elemento 2.3). En este sentido, se ha realizado un esfuerzo por catalogar como listas estas entradas del informe, como es el caso de los elementos de calidad, las medidas de calidad, los ámbitos de la calidad, etc.

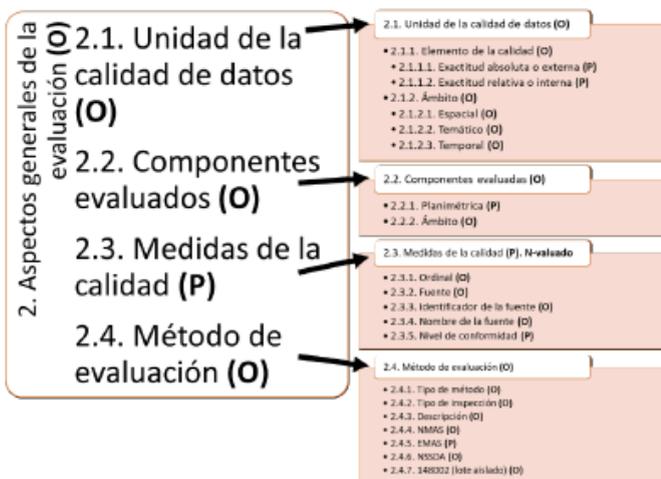


Figura 7. Ejemplo de estructuración realizada para la sección relativa a las medidas de evaluación de la calidad aplicadas.

4.2. Desarrollo de iCPos⁵

Por otra parte, respecto del desarrollo de la aplicación web, si bien, la experiencia mostrada por Xavier *et al.* (2015a y 2015b) permite el desarrollo de un WPS, al estar basados en la librería TerraLib (Câmara y col., 2008), se ha considerado independizar iCPos para su disponibilidad mediante web y simplificando así el acceso al usuario.

La actual aplicación se basa en un desarrollo WSGI (Web Server Gateway Interface) bajo el estándar de Python 3333 (Eby, 2010) que permite la creación rápida y dinámica de aplicaciones web. El modelo sigue el esquema tradicional en tres capas (Figura 8). La aplicación desarrollada en Python hace de software intermedio o middleware para la interacción entre la capa de presentación, la capa de almacenamiento y la de ejecución. La capa de presentación es un navegador (browser) cualquiera. La capa de almacenamiento se confirma como una base de datos con la información de cada informe individualizado y la gestión de usuarios. La capa de ejecución viene dada por el software Cran-R,⁶ especializado en estadística y representación gráfica, que se utiliza para la determinación de los diferentes valores de los estándares, verificar el cumplimiento de las hipótesis estadísticas y la obtención de las representaciones gráficas.

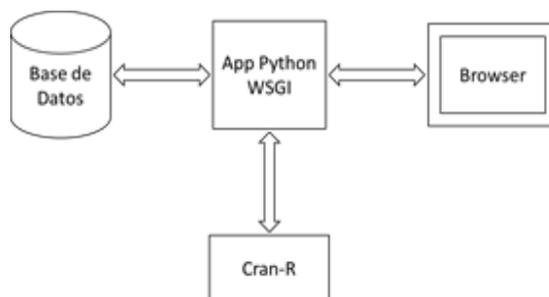


Figura 8. Estructura lógica de la app web iCPos.

El diseño de iCPos se ha realizado para que tanto el almacenamiento de la información como la estructura del informe y de los campos definidos en la propuesta se almacenen como parte de la base de datos, es decir, tanto la lógica de ejecución como los elementos de la presentación, el aspecto del informe e incluso los conjuntos de puntos usados para el control posicional de calidad son almacenados en diferentes tablas. Este procedimiento permite que la aplicación se convierta en un marco donde incorporar no sólo diferentes tipos de informes, o modificaciones a los informes ya realizados, sino también los cálculos desarrollados dentro de la herramienta estadística y la lógica de ejecución. Esto aumenta la flexibilidad para adaptarse a los cambios que puedan

⁵ Versión de prueba para un solo usuario: <http://p097-014.ujaen.es:3164/ICPosBeta>

⁶ <https://cran.r-project.org/>

surgir en el futuro, otorgando la posibilidad de incorporar idiomas diferentes, nuevos estándares o nuevas medidas.

La aplicación web se ha desarrollado con un interfaz sencillo, actualmente se encuentra en versión beta en la dirección: <http://p097-014.ujaen.es:3164/ICPosBeta>. Una vez disponible una versión alpha se redireccionará desde esa URL a la dirección de publicación definitiva. Respecto del interfaz, se ha desarrollado una página web dinámica con la forma de la Figura 9, donde se puede navegar por cada una de las grandes secciones del informe. Además, se incluyen opciones para recuperar, almacenar los cambios o realizar el cálculo cuando desee el usuario. Debajo de las secciones, en una zona con diferente fondo se incluyen todos los atributos a introducir para el informe, junto a los cuales se han creado elementos en rojo, amarillo o verde que identifica si son obligatorios, condicionales u opcionales, respectivamente. Los datos de entrada pueden ser introducidos manualmente, mediante archivos de texto u archivos de hojas de cálculo. En un futuro, está planificada la introducción usando otro tipo de archivos generales de información espacial como los Shapefiles de ESRI.

Informe de evaluación de calidad UNE-148005

Cargar Grabar Borrar Calcular Validar Exportar PDF

1. Información del CDE a evaluar	2. Aspectos generales de la evaluación	3. Fuente de mayor exactitud y coordenadas	4. Comprobación de hipótesis estadísticas	5. Resultados	6. Metacalidad de resultados y procesos	7. Fecha y firma
----------------------------------	--	--	---	---------------	---	------------------

1.1- Nombre del producto/CDE a evaluar

1.2- Identificador del producto/CDE a evaluar

Figura 9. Ejemplos de resultados test NSSDA.

Una parte importante de la propuesta de informe de Ariza-López y col. (2019a) era la necesidad de comprobar hipótesis estadísticas de los errores. Por este motivo, otro de los aspectos más desarrollados en la aplicación, y que la diferencia de otras herramientas, es la capacidad para aplicar, e incluir en el informe, estos análisis estadísticos para verificar las condiciones que deben cumplir los datos, antes incluso de aplicar las medidas de control de calidad. El conjunto de test estadísticos implementados se muestra en la Tabla 1. De esta forma, la aplicación permite determinar si los errores en los puntos de control cumplen ciertas hipótesis. Además, en el caso de la comprobación de la atipicidad, se deja al usuario la opción de utilizar o no los puntos catalogados como atípicos para el resto de comprobaciones estadísticas y el cálculo de las medidas de calidad seleccionadas.

En la parte de resultados del informe, y en cuanto a los estándares de calidad posicional implementados, tal y como se ha comentado anteriormente, se han incluido el NMAS, EMAS, NSSDA y la Norma UNE 148002. En la Figura 10 puede verse un ejemplo de resultados del NSSDA.

Tabla 1. Conjunto de test estadísticos incluidos en la zapp (en negrita los actualmente disponibles)

<i>Hipótesis estadísticas</i>	<i>Test propuestos</i>
Aleatoriedad	Bartels rank test of randomness Cox Stuart test of randomness Mann-Kendall rank test of randomness
Atipicidad	K-Sigmas
Normalidad	K-Smirnov Lilliefors corrected Shapiro-Wilk Anderson-Darling Cramer-von Mises
Sesgos	t-Student
Independencia	Pearson
Homocedasticidad	Levene's Test Bartlett's Test

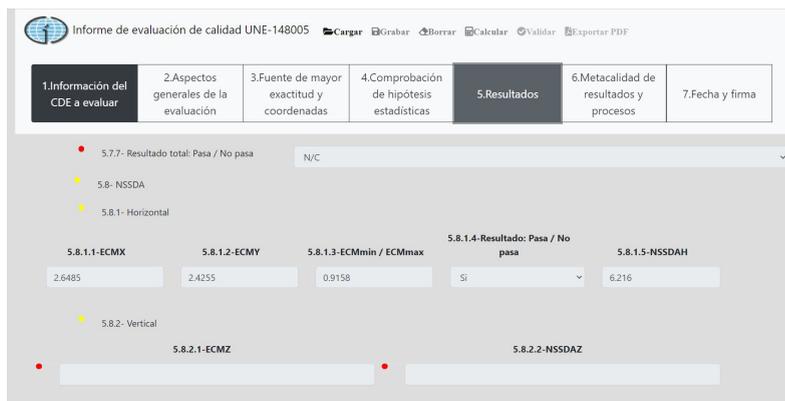


Figura 10. Ejemplos de resultados test NSSDA.

Siguiendo en el apartado de resultados del informe, también destacar que otro valor añadido de la aplicación es su capacidad para elaborar mediante Cran-R diferentes gráficos descriptivos de los errores en los puntos de control (Figura 11) que pueden ser incluidos después en el informe, tal y como se sugiere en Ariza-López *et al.* (2019a). Esta información gráfica permite al usuario detectar la existencia de sistematismos no identificados o la presencia de algún tipo de distribución en los errores, facilitando la toma de decisiones sobre la calidad del producto.

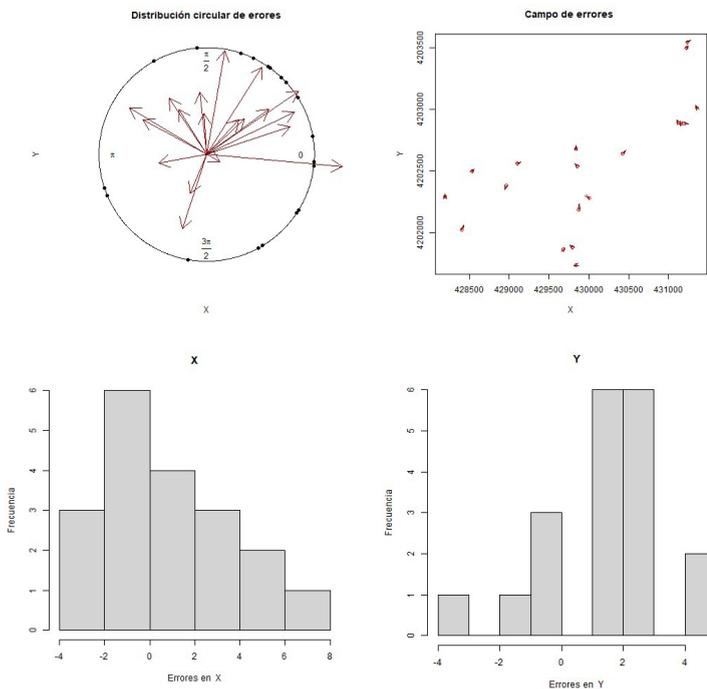


Figura 11. Ejemplo de resultados gráficos de la app para un conjunto de datos de prueba (todas las unidades mostradas en X e Y se encuentran en metros).

Fuente: elaboración propia.

5. Conclusiones

El control de calidad posicional ha sido y sigue siendo una constante en la producción de cartografía y en general de todo tipo de información espacial. No obstante, escaso software público se ha desarrollado para realizar este tipo de controles. Se ha legado su ejecución a cálculos *ad-hoc* o a programas de uso interno dentro de las propias instituciones.

Sí han existido recientes iniciativas, como es el caso del documento número 557 del IPGH, que tratan de unificar criterios y dar una base común para el control posicional. Esto favorece la elaboración de informes estructurados y el conocimiento, por parte de los usuarios, de la calidad de los productos que usan. En línea con el citado documento, se ha desarrollado la aplicación web iCPos, que permite realizar los oportunos cálculos e informes resultantes.

La aplicación final permitirá crear usuarios, gestionar diferentes controles de calidad, aplicar test estadísticos sobre los errores y definir las medidas a utilizar, así como exportar los resultados y mostrar gráficos descriptivos de esos errores. Esto hace que la aplicación tenga unas capacidades adicionales a las de otras herramientas existentes, y a la ejecución *ad-hoc* de los controles de calidad

posicional. La posibilidad de realizar un pre-procesado en los puntos de control para verificar las condiciones que deben cumplir los datos, y la posibilidad de inclusión de este análisis en el informe (la metacalidad) son aspectos novedosos de dicha herramienta.

La aplicación se ofrece en acceso libre aunque el código siga siendo propietario.

Sin embargo, todavía es una aplicación en desarrollo, ya que es importante su integración como servicio WPS, la inclusión de otros estándares de control de calidad posicional, como el propuesto por la ASPRS, o la capacidad de controlar otro tipo de objetos geográficos como los elementos lineales, que implican otro conjunto de medidas asociadas.

Bibliografía

- American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (2015). ASPRS Positional accuracy standards for digital geospatial data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 81(3), A1-A26. <https://doi.org/10.14358/PERS.81.3.A1-A26>
- Ariza-López, F. J. (2002). *Calidad en la producción cartográfica*. RA-MA, Madrid. ISBN 978-84-7897-524-2.
- Ariza-López, F. J. (2017). "Documento P1.2. Plan para el desarrollo de guías de implementación. Anexo: Guía para el desarrollo de Guías Prácticas". Proyecto de Modernización de la Administración de Tierras en Colombia, Agencia de Implementación. Bogotá.
- Ariza-López, F. J., & Atkinson, A. D. (2008a). Analysis of Some Positional Accuracy Assessment Methodologies. *Surveying Engineering*, 134(2), 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, F. J., & Atkinson, A. D. (2008b). Variability of NSSDA estimations. *Surveying Engineering*, 134(2), 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, F. J., Atkinson, A. D., Rodríguez-Avi, J. (2008). Acceptance curves for the positional control of geographic data bases. *Surveying Engineering*, 134(1), 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, F. J., García-Balboa, J. L., Rodríguez-Avi, J., & Robledo J., (2019a). 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. Publicación Ocasional núm. 557. http://publicaciones.ipgh.org/publicaciones-ocasionales/Guia_Evaluacion_Exactitud_Posicional_Datos_Espaciales.pdf
- Ariza-López, F. J., García-Balboa, J. L., Robledo Ceballos, J., Rodríguez-Avi, J., & Casanova, R. (2019b). Propuesta de una guía para la evaluación de la exactitud posicional de datos espaciales. *Revista Cartográfica*, 100, 61-79. <https://doi.org/10.35424/rcarto.i100.647>
- Ariza-López, F. J., & 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, F. J., Xavier, E., Chicaiza, E. G., & Buenaño, X. (2017). Métodos de evaluación de la calidad posicional en Hispanoamérica: análisis de la situación. *Revista Cartográfica*, 94, 65-88. <https://doi.org/10.35424/rcarto.i94.342>
- American Society of Civil Engineers (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. ISBN 978-0-87262-379-8
- Asociación Española de Normalización (2016). UNE 148002:2016. *Metodología de evaluación de la exactitud posicional de la información geográfica*. Asociación Española de Normalización, UNE. Recuperado de <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0056655>
- Câmara, G., Vinhas, L., Ferreira, K., Queiroz, G.; Souza, R., Monteiro, A., Tilio, M., Casanova, M., & Freitas, U. (2008). *TerraLib: An Open Source GIS Library for Large-Scale Environmental and Socio-Economic Applications*. https://doi.org/10.1007/978-3-540-74831-1_12
- Centro de Estudios e Investigación en Salud (2014). *Guía Metodológica para la elaboración de Guías de Práctica Clínica con Evaluación Económica en el Sistema General de Seguridad Social en Salud Colombiano*. Centro de Estudios e Investigación en Salud, Fundación Santa Fe de Bogotá, Colombia. Recuperado de <https://www.iets.org.co/DocTecnicos/FrmPublicacion.aspx?idarticulo=62>
- Congalton, R. G. & Green, K. (2009). *Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices*. 2nd Edition, Lewis Publishers, Boca Raton. ISBN 978-1420055122
- Eby, P.J. (2010). PEP 3333 -Python Web Server Gateway Interface v1.0.1. The Python Software Foundation. Recuperado de <https://www.python.org/dev/peps/pep-3333/>
- Federal Geographic Data Committee (1998). Geospatial Positioning Accuracy Standards - Part 3: National Standard for Spatial Data Accuracy. Federal Geographic Data Committee, Reston, Virginia. Recuperado de <https://www.fgdc.gov/standards/projects/accuracy/part3>
- Hopfstock, A. (2015). ELF Data Quality Reporting Process. *International Workshop on Spatial Data Quality*. EuroGeographics. Valetta (Malta), January 20th -21th. Recuperado de https://eurogeographics.org/wp-content/uploads/2018/05/SDMQ2015-Anja_DataQuality.pdf
- Instituto Panamericano de Geografía e Historia (IPGH) (1978). *Especificaciones para mapas topográficos*. Bogotá: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (Ed).
- International Organization for Standardization (2003). ISO 19115:2003 Geographic information -Metadata. International Organization for Standardization.
- International Organization for Standardization (2013). ISO 19157:2013 Geographic information -Data quality. International Organization for Standardization.
- Jakobsson, A., Hopfstock, A., Beare, M., & Patrucco, R. (2013). Quality Management of Reference Geoinformation. ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, *Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. XL-2/W1. 127-132. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-2-W1-127-2013>
- Minnesota Planning Land Management Information Center (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, St. Paul Recuperado de https://www.mngeo.state.mn.us/pdf/1999/lmic/nssda_o.pdf

- Naciones Unidas (2013). Visión del Marco normativo de las Américas. Naciones Unidas. Comité Permanente para la Infraestructura de Datos Geospaciales de las Américas (CP-IDEA). Grupo de Trabajo de Normas y Especificaciones Técnicas del CP-IDEA (GTnet). Río de Janeiro. Recuperado de https://unstats.un.org/unsd/geoinfo/RCC/docs/rcca10/E%20Conf_103_15_CPIDEA_MarcoNormativo_ESP_final.pdf
- Open Geospatial Consortium (2015). *OGC WPS 2.0.2 Interface Standard Corrigendum 2. Open Geospatial Consortium Standard*. <http://docs.opengeospatial.org/is/14-065/14-065.html>
- Poggioli, D. (2010). *Spatial data quality in SDI environment: Assessing and reporting the positional accuracy element*. LAP Lambert Academic Publishing. ISBN 978-3838376677.
- Tveite, H. (2020). The QGIS BOS Plugin. Recuperado de <http://plugins.qgis.org/plugins/BOS/>.
- U.S. Bureau of the Budget (1947). *United States National Map Accuracy Standards*. U.S. Bureau of the Budget. Washington, USA.
- Xavier, E., Ariza-López, F., & Ureña-Cámara, M. (2015a). Web Service for Positional Quality Assessment: the WPS tier. *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. II-3/W5. 257-262. <https://doi.org/10.5194/isprsannals-II-3-W5-257-2015>
- Xavier, E., Ariza-López, F., & Ureña-Cámara, M. (2015b). WPS for positional quality control applying the method proposed in UNE 148002. VI Jornadas Ibéricas de Infraestructuras de Datos Espaciales. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/316941035_WPS_for_positional_quality_control_applying_the_method_proposed_in_UNE_148002

REVISTA **cartográfica**

Definición de la Revista

La *Revista Cartográfica* se publica desde 1952, es una publicación de la Comisión de Cartografía del Instituto Panamericano de Geografía e Historia un Organismo Especializado de los Estados Americanos (OEA).

El objetivo de la Revista es contribuir a la difusión del conocimiento en las áreas de cartografía, geodesia e información geográfica en general; promoviendo un enfoque que contribuya a compartir investigaciones, estudios y publicaciones en las áreas de conocimiento que son de interés para la revista.

La Revista publica artículos científicos (investigación, revisión y temáticos) y reseñas en los cuatro idiomas oficiales del IPGH (español, inglés, francés y portugués). Los artículos que se propongan para su publicación deberán ser originales y no estar publicados o propuestos para tal fin en otra revista.

Desde 2016 tiene una periodicidad semestral (enero-junio / julio-diciembre). La recepción de artículos está abierta permanentemente.

Proceso de evaluación por pares

En atención a las buenas prácticas editoriales la *Revista Cartográfica* los artículos que cumplan los requisitos formales y de calidad serán evaluados por pares académicos externos a la institución editora. Se aplicará el sistema de evaluación "doble ciego".

Secciones

Artículos:

- Artículo de investigación: documentos que presentan resultados de nuevas investigaciones, u otras contribuciones originales que sean de aporte a las ciencias y disciplinas de interés para la Revista.
- Artículo de revisión: documentos que analicen, sistematicen e integren resultados de material ya publicado sobre un área del conocimiento, con el objeto de divulgar los avances y las tendencias de desarrollo en dicha área. Requiere una cuidadosa y rigurosa revisión bibliográfica del tema, un artículo de revisión no debería considerar menos de 60 referencias directas e indirectas. Solo para áreas de conocimiento de desarrollo muy reciente se consideran artículos de revisión con un número menor de referencias.
- Artículos temáticos: documentos que respondan a una convocatoria de la Revista para conformar un número temático coordinado por un destacado especialista como editor invitado.

Reseñas:

Documentos que presentan un análisis crítico de libros u otras monografías que sean significativa para las ciencias y disciplinas de interés de la revista, que hayan sido publicados en los últimos tres años y que cuenten con ISBN. De forma excepcional se aceptarán reseñas de libros no actuales, clásicos, que sean significativos o de referencia para análisis y estudios actuales.

Norma para autores

Los artículos y reseñas se enviarán únicamente en formato digital a través de este enlace <https://www.revistasipgh.org/index.php/rcar>. Por lo tanto, es necesario que el autor este registrado de forma correcta y que disponga de usuario y contraseña.

Los archivos de texto se enviarán en formato Word, utilizando las plantillas correspondientes para que cada tipo de documento aceptado por la Revista.

Para asegurar la evaluación ciega del artículo, el archivo debe enviarse sin datos ni metadatos que permitan la identificación del autor. No se debe incluir nombre, afiliación, correo electrónico u organismo financiador en el documento. Estos datos se recogen de manera separada en la plataforma OJS, cuando se ingresan los metadatos del envío. Se solicita completar obligatoriamente los siguientes campos del formulario correspondiente a Autoría y colaboradores/as: Nombre/s y Apellido/s, contacto (e-mail), país, identificador ORCID y afiliación institucional.

Los documentos que no cumplan los requisitos de anonimato serán retirados del proceso de evaluación.

La revisión de los artículos incluye el uso de software antiplagio Ithenticate.

Los **Artículos** deberán tener una extensión máxima de 25 páginas, incluyendo figuras, tablas y bibliografía.

Las figuras y tablas deberán ubicarse dentro del texto. Las figuras se deben enviar por separado en formato JPG o PNG, con una resolución mínima de 300 dpi/ppp (o superior de acuerdo con el tamaño de la figura) sin compresión y a color. Para la impresión del número de la Revista se modificarán a escala de grises, siempre que no afecte la correcta comunicación de la información, en particular los mapas.

Las citas y referencias bibliográficas se harán según las Normas APA. Se recomienda el uso de gestores de referencias bibliográficas, como Zotero o Mendeley. Se debe incluir enlace DOI o enlace web en todos los casos que sea posible.

Las **reseñas** tendrán una extensión máxima de 8.000 caracteres con espacios incluidos.

Más información:

www.revistasipgh.org/index.php/rcar/Directrices

Evaluación de pares:

<https://www.revistasipgh.org/index.php/rcar/EvaluacionPares>

María Ester Gonzalez
Editora
Departamento de Geografía, Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Geografía
Universidad de Concepción
Victoria 486-490, CP 4030000, Concepción, Chile
Correos electrónicos:
editor_revista_cartografica@ipgh.org | maria.ester.gonzalez@ipgh.org |
mariaesgonzalez@udec.cl

No se devolverá el material enviado.

Función editorial del Instituto Panamericano de Geografía e Historia

El IPGH publica seis revistas, impresas y distribuidas desde México. Estas son: *Revista Cartográfica*, *Revista Geográfica*, *Revista Geofísica*, *Revista de Historia de América*, *Antropología Americana* y *Revista de Arqueología Americana*.

Se invita a todos los investigadores y profesionales de las áreas de interés del IPGH: cartografía, geografía, historia, geofísica y ciencias afines, a que presenten trabajos de investigación para que sean publicados en nuestras revistas científicas.

Si requiere mayor información, favor de comunicarse a:

Departamento de Publicaciones
Secretaría General del IPGH
Ex-Arzobispado 29, Colonia Observatorio, 11860 Ciudad de México, México
Tels.: (+52-55) 5277-5888 / 5515-1910
Correo electrónico: publicaciones@ipgh.org

Edición del
Instituto Panamericano de Geografía e Historia
realizada en su Departamento de Publicaciones
Ex Arzobispado núm. 29, Col. Observatorio
11860, Ciudad de México, México
Tels.: 5277-5791 / 5277-5888 / 5515-1910
publicaciones@ipgh.org
2021

ESTADOS MIEMBROS DEL INSTITUTO PANAMERICANO DE GEOGRAFÍA E HISTORIA

Argentina

EL IPGH, SUS FUNCIONES Y SU ORGANIZACIÓN

Belice

El Instituto Panamericano de Geografía e Historia (IPGH) 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.

Bolivia

Brasil

Chile

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.

Colombia

Costa Rica

El Estatuto del IPGH cita en su artículo 1o. sus fines:

Ecuador

1) Fomentar, coordinar y difundir los estudios cartográficos, geofísicos, geográficos e históricos, y los relativos a las ciencias de interés para América.

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

3) Comisión de :

Panamá

Cartografía (Costa Rica)

Geografía (EUA)

Paraguay

Historia (México)

Geofísica (Ecuador)

Perú

4) Reunión de Autoridades

República Dominicana

5) Secretaría General (México, D.F., México)

Uruguay

Además, en cada Estado Miembros 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



Positional quality assessment based on linear elements *Antonio Tomás Mozas-Calvache* • Métodos de orlado para la evaluación de la exactitud altimétrica en modelos digitales de elevaciones del terreno *Francisco Javier Ariza-López y Juan Francisco Reinoso-Gordo* • Implementación de procesos de control de calidad en la actualización de series cartográficas urbanas mediante combinación de CAD y SIG *Eulàlia Torrent Foz, Ángel Luis Muñoz-Nieto, Diego González-Aguilera y Pablo Rodríguez-González* • Análisis de la evaluación de daños en edificios basada en imágenes de satélite y aéreas en el ámbito de Copernicus EMS Mapping *Raquel Ciriza Labiano, Uxue Donezar-Hoyos, M^a Esperanza Amezketa Lizarraga, Fermín Ros Elso, Teresa de Blas Corral, Agustín Tames Noriega, Marco Broglia, Alan Steel, Iban Ameztay y Paola Rufolo* • Normalización de datos geoespaciales de fuentes y manantiales inventariados en el Nomenclátor Geográfico de Andalucía (España) *María Teresa Garrido Borrego, Cristina Torrecillas Lozano, Irene García Benabad, Lucía Romero Cardenas y Cora Torrecillas Nicolás* • Caracterización del error en MDE por mixtura de distribuciones *José Rodríguez Avi* • Revisión de la calidad de los conjuntos de datos abiertos sobre presupuestos *Manuel Antonio Ureña-Cámara, Javier Nogueras-Iso y Javier Lacasta* • Aplicación de los test de equivalencia al control tipo temático de magnitudes asociadas a un Modelo Digital de Elevaciones *María Virtudes Alba-Fernández* • iCPos: una herramienta web para la elaboración de Informes de Calidad Posicional *José Luis García-Balboa, Manuel Antonio Ureña-Cámara y Emerson Magnus de Araujo Xavier*