



REVISTA
cartográfica

Número 91 • Enero • Diciembre 2015



Instituto Panamericano de
Geografía e História



**ESTADOS MIEMBROS
DEL
INSTITUTO PANAMERICANO DE GEOGRAFÍA E HISTORIA**

EL IPGH, SUS FUNCIONES Y SU ORGANIZACIÓN

Argentina

Belice

Bolivia

Brasil

Chile

Colombia

Costa Rica

Ecuador

El Salvador

**Estados Unidos
de América**

Guatemala

Haití

Honduras

México

Nicaragua

Panamá

Paraguay

Perú

**República
Dominicana**

Uruguay

Venezuela

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.

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.

El Estatuto del IPGH cita en su artículo 1o. sus fines:

- 1) Fomentar, coordinar y difundir los estudios cartográficos, geofísicos, geográficos e históricos, y los relativos a las ciencias afines de interés para América.
- 2) Promover y realizar estudios, trabajos y capacitaciones en esas disciplinas.
- 3) Promover la cooperación entre los Institutos de sus disciplinas en América y con las organizaciones internacionales afines.

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.

El IPGH se compone de los siguientes órganos panamericanos:

- 1) Asamblea General
- 2) Consejo Directivo
- 3) Comisión de:

Cartografía	(Montevideo, Uruguay)
Geografía	(Estados Unidos de América)
Historia	(México, D. F., México)
Geofísica	(San José, Costa Rica)

- 4) Reunión de Autoridades
- 5) Secretaría General (México, D.F., México)

Además, en cada Estado Miembro funciona una Sección Nacional cuyos componentes son nombrados por cada gobierno. Cuentan con su Presidente, Vicepresidente, Miembros Nacionales de Cartografía, Geografía, Historia y Geofísica.

INSTITUTO PANAMERICANO DE GEOGRAFÍA E HISTORIA

REVISTA **cartográfica**



NÚMERO 91

ENERO-DICIEMBRE 2015

REVISTA CARTOGRÁFICA

Publicación anual fundada en 1952
Indizada en PERIÓDICA y Latindex
Disponible en: Cengage Learnign, Ebsco y ProQuest

La preparación de la REVISTA CARTOGRÁFICA está a cargo de la editora
Valéria Oliveira Henrique de Araújo
Instituto Brasileño de Geografía y Estadística (IBGE)
Rua General Canabarro, 706 Maracanã, 20.271-205, Rio de Janeiro, RJ, Brasil
Correo electrónico: valeria.araujo@ibge.gov.br

Comité Editorial

Graciela Marin, Servicio Geológico Minero Argentino (Argentina)	Hermann Manríquez Tirado, Instituto Geográfico Militar —IGM (Chile)
Andrea Flávia Tenório Carneiro, Universidade Federal do Pernambuco —UFPE (Brasil)	Alexander Paez Lancheros, Instituto Geográfico Agustín Codazzi —IGAC (Colombia)
Cláudia Robbi Sluter, Universidade Federal do Paraná —UFPR (Brasil)	Eric van Praag, Environmental Systems Research Institute (Estados Unidos de América)
Cláudio João Barreto dos Santos, —IBGE y Universidade do Estado do Rio de Janeiro —UERJ (Brasil)	Oswaldo Muñoz Solari, Texas State University (Estados Unidos de América)
Homero Fonseca Filho, Universidade de São Paulo —USP (Brasil)	José Domínguez, Servicio de Oceanografía, Hidrografía y Meteorología de la Armada —SOHMA (Uruguay)
Luiz Paulo Souto Fortes, IBGE —UERJ (Brasil)	
Moema José de Carvalho Augusto —IBGE (Brasil)	

Revisores invitados

Diego Alfonso Erba, Consultor Internacional (Argentina)	Ronaldo dos Santos Rocha, Universidade Federal do Rio Grande do Sul —UFRGS (Brasil)
Maria Ester González, Universidad Nacional de Catamarca (Argentina)	Silvane Paixão, Consultor Internacional (Canadá)
Luciana Mara Temponi de Oliveira —IBGE y Escola Nacional de Ciências Estatísticas —ENCE (Brasil)	Antonio Tomás Mozas Calvache, Universidad de Jaén (España)
Paulo Roberto Alves dos Santos, Universidade Federal Fluminense —UFF y IBGE (Brasil)	Fabian Barbato, Land & Sea Suvaylor Engineer (Uruguay)
	Rodolfo Méndez Baño, Universidad de la República (Uruguay)
	Yuri Resnischenko, Universidad de la República (Uruguay)

Canje, venta y distribución de publicaciones, escribir a:
Instituto Panamericano de Geografía e Historia
Secretaría General, Apartado Postal 18879, México, D.F., C.P. 11870
Teléfonos: (5255)5277-5888, 5277-5791 y 5515-1910 Fax: (5255)5271-6172
Correo electrónico: publicaciones@ipgh.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, celebrada en julio de 1972, en Buenos Aires, Argentina, 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 / Design da capa: Mônica Pimentel Cinelli Ribeiro —IBGE (Brasil).
Imágenes: Veículo Aérea Não Tripulado (VANT): Carcará I (Fonte: Santos Lab Com e Ind Aeroespacial) e IBGE (Brasil).
Unmanned Aerial Vehicle (UAV): Carcará I (Source: Santos Lab Com e Ind Aeroespacial) and IBGE (Brazil).
Veículo Aéreo No Tripulado (VANT): Carcará I (Fuente: Santos Lab Com e Ind Aeroespacial) e IBGE (Brasil).

© 2016 Instituto Panamericano de Geografía e Historia.

Revista Cartográfica, núm. 91, enero-diciembre 2015, es una publicación anual editada por el Instituto Panamericano de Geografía e Historia (IPGH), Ex-arzobispado núm. 29, Col. Observatorio, Delegación Miguel Hidalgo, C.P. 11860 México, D.F., Tels. (52-55)5277-5888, 5277-5791, 5515-1910. www.ipgh.org, publicaciones@ipgh.org. Editor responsable: Valéria Oliveira Henrique de Araújo. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo núm. 04-2015-090212390600-203 otorgado por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. ISSN en trámite. Responsable de la última actualización de este número: Departamento de Publicaciones del IPGH, Ex-arzobispado núm. 29, Col. Observatorio, Delegación Miguel Hidalgo, C.P. 11860 México, D.F. Fecha de última modificación: 27 de enero de 2016.

Queda prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización del Instituto Panamericano de Geografía e Historia.

REVISTA cartográfica

NÚMERO 91

ENERO-DICIEMBRE 2015

Contenido

Nota Editorial	5
Editorial	6
Editorial	7
Catastro multipropósito sostenible: una necesidad inaplazable <i>Manuel-G. Alcázar Molina</i>	9
Levantamento de limites de imóvel rural a partir de fotografias obtidas por VANT, apoiadas por pontos GNSS <i>Gilda Maria Dias</i> <i>Jeanine Cassini Peter</i> <i>Marcelo Pereira</i> <i>Ronaldo dos Santos da Rocha</i> <i>Mário Reiss</i>	35
Catastro 3D: sistemas de referencia altimétrica para parcelas y objetos territoriales <i>Diego Alfonso Erba</i> <i>Gustavo Noguera</i> <i>Aldo Mangiaterra</i>	59
SIRGAS-WGIII activities for unifying height systems in Latin America <i>Silvio R.C. de Freitas</i>	75
Cadastro Territorial como instrumento de desenvolvimento de projetos de requalificação urbana <i>Ricardo J. Bonilla</i> <i>Andrea F.T. Carneiro</i>	93
La confianza de la Información Geográfica Voluntaria (IGV) <i>Jesús Javier Marín López-Pastor</i>	123

Reflexão contemporânea sobre a padronização dos Nomes Geográficos no Brasil <i>Claudio João Barreto dos Santos</i> <i>Moema José de Carvalho Augusto</i>	133
Comparación del método de Thiessen con alternativas más simples mediante simulación de Monte Carlo <i>Marcelo Guelfi</i> <i>Carlos López-Vázquez</i>	143
La calidad como aptitud para el uso: evaluación de la exactitud posicional de los productos topográficos digitales escala 1:50,000 del INEGI <i>Héctor Mario Gómora Morales</i>	159
Participación y dinamicidad en las Infraestructuras de Datos Espaciales: una propuesta de indicadores para medir su impacto en la sociedad <i>Diego Randolf Perez</i> <i>Daniela Ballari</i> <i>Luis M. Vilches-Blázquez</i>	175
Los costos ocultos de la Cartografía <i>José María Lazo Pritsch</i>	193
MOSA (Mission-Oriented Sensor Arrays): uma nova abordagem para o sensoriamento remoto embarcado em VANT's <i>Nina Machado Figueira</i> <i>Onofre Trindade Junior</i> <i>Eduardo do Valle Simões</i> <i>Ana Carolina de Sousa Silva</i>	211
Localización y estudio subpíxel del Volcán de Colima, México, en una imagen NOAA <i>José Miguel Gaspar Soriano</i>	231
Instructivo para autores	251

Nota Editorial

Nos complace informar que este año, 2015, cumplimos al 100% los requisitos de Latindex (Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal <<http://www.latindex.org/buscador/ficRev.html?Opcional=1&folio=1,197>>, la cual es una importante base de datos de referencia para las publicaciones de América Latina. La vinculación con Latindex es fruto de un intenso trabajo, el cual está siendo realizado desde el año pasado mediante la creación del Grupo de Trabajo de Editores del IPGH.

En esta edición, tenemos artículos sobre catastro multipropósito y 3D, investigación sobre los parámetros de calidad en Información Geográfica Voluntaria (IGV) e indicadores para medir el impacto social sobre Infraestructuras de Datos Espaciales (IDE); además cuenta con dos artículos sobre el uso de Vehículos Aéreos No Tripulados (VANT), el cual trata el enorme interés por las nuevas tecnologías. También podemos leer acerca de un estudio sobre los Sistemas de Referencia Verticales Nacionales (en inglés SVRN) y reflexiones sobre la normalización de los nombres geográficos en Brasil. Entre los temas tradicionales tenemos artículos sobre la validación posicional de productos cartográficos digitales a escala 1:50,000, estudios sobre los riesgos de origen volcánico a través de imágenes de satélite NOAA y Modelo Digital del Terreno (en inglés DTM) así como un estudio sobre la calidad de los datos. Finalmente, conoceremos un interesante estudio sobre los costos ocultos de la cartografía, el cual se centra en los costos de oportunidad y los costos de mala calidad.

Destacamos en 2015, los logros significativos para nuestra área, como por ejemplo, la aprobación en la Asamblea General de las Naciones de la Resolución “Marco de referencia geodésico para el desarrollo sostenible”, el primero en la historia en el área de la información geoespacial. Esta resolución aborda el valor de las observaciones terrestres mediante imágenes de satélite como herramienta para el monitoreo de los cambios temporales en las poblaciones, en los océanos y en la atmósfera. Esta información será de particular importancia al momento de la formulación de políticas públicas para el desarrollo sostenible, el seguimiento del cambio climático y la gestión de desastres naturales, además de las áreas de transporte, agricultura y construcción.

Fue lanzado oficialmente el Año Internacional del Mapa (en inglés IMY) durante la 27a. Conferencia Cartográfica Internacional, celebrada en Río de Janeiro en agosto de 2015, esta iniciativa ofrece oportunidades para demostrar, seguir e involucrarse en el arte, la ciencia y la tecnología de la generación y uso de mapas e información geoespacial.



<<http://mapyear.org/>>, #welovemaps. ¡Participe!

La Comisión de Cartografía del IPGH instituyó este año el premio al mejor trabajo de tesis de maestría y doctorado en cartografía, geodesia y/o información geoespacial con el fin de promover y reconocer el trabajo académico. El ganador será anunciado en octubre durante la 46 Reunión del Consejo Directivo del IPGH, a celebrarse en Cartagena, Colombia.

Para el próximo año, nuestro objetivo es contar con una edición temática extra de la *Revista Cartográfica* (RCA) iniciando el camino de búsqueda de nuevos indexadores. Además, esperamos traer buenas noticias en relación a la primera edición de una RCA en línea.

¡Mucho trabajo por delante!

¡Hasta la próxima edición!

Valeria Oliveira Henrique de Araújo
Editora de la Revista Cartográfica

Editorial

It's my pleasure to inform you that this year we fulfill 100% of the requirements of Latindex (Regional Information System in line for Scientific Journals of Latin America, Caribbean, Spain and Portugal <<http://www.latindex.org/buscador/ficRev.html?Optional=1&folio=1197>>, an important database of references for publications in Latin America. This is the result of intense work in flows and processes, being carried out since last year, with the creation of the PAIGH Publishers Working Group.

In this edition, we have articles on 3D and multipurpose cadastre, researchs on quality parameters in Geographic Information Volunteers (IGV) and indicators for measuring the social impact on Spatial Data Infrastructures (SDI). In addition, this edition features two articles on the use of Unmanned Aerial Vehicles (UAV), contemplating the enormous interest in new technologies. We can also read about a study on SIRGAS Vertical Reference System (SVRN) and reflections about standardization of geographical names in Brazil. Among the more traditional topics, we have articles on positional evaluation of digital cartographic products in 1:50.000 scale, studies on volcanic hazards through NOAA satellite image and Digital Terrain Model (DTM) and a further study on data quality. Finally, we will know about an interesting study on the hidden costs of cartography that calls our attention on opportunity costs and poor quality costs.

I highlight significant achievements in our area carried out in 2015. For example, the adoption by the United Nations General Assembly of the Resolution "Infrastructure Global Geodetic Reference for Sustainable Development", the first in history in the area of geospatial information. The resolution deals with the amount of ground observations and remotely sensed satellite images to monitor the temporal changes in populations, oceans and the atmosphere. This information will support the formulation of public policies for sustainable development, monitoring of climate change and natural disaster management, beyond the areas of transport, agriculture and construction.

The International Map Year (IMY) was officially launched during the 27th International Cartographic Conference, held in Rio de Janeiro in August 2015. This initiative offers opportunities to demonstrate, follow, and get involved in art, science and technology development and use of maps and geospatial information.



<<http://mapyear.org>>, #welovemaps. Join!

The PAIGH Cartography Commission instituted this year the award of the best master and doctoral thesis in cartography, geodesy and /or geospatial information in order to promote and recognize academic work. The winner will be announced in October during the 46th Meeting of the Directing Council of the PAIGH, to be held in Cartagena, Colombia.

As prospects for the coming year, we aim to rely on an extra-themed edition of the *Cartographic Journal* (RCA) starting the search path for new crawlers. In addition, we hope to bring good news to the first edition of an RCA online.

A lot of work ahead!
See you next edition!
Valéria Oliveira Henrique de Araújo
Editora da Cartographic Journal

Editorial

É com grande satisfação que informamos que neste ano de 2015 cumprimos 100% das exigências do Latindex (Sistema Regional de Informação em Linha para Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal <<http://www.latindex.org/buscador/ficRev.html?opcion=1&folio=1197>>), importante base de dados de referência para publicações na América Latina. A vinculação ao Latindex é fruto de um intenso trabalho de aperfeiçoamento nos fluxos e processos da revista que está sendo realizado desde o ano passado a partir da criação do Grupo de Editores do IPGH.

Nesta edição, contamos com artigos sobre cadastros multifinalitário e 3D, pesquisas sobre parâmetros de qualidade em Informações Geográficas Voluntárias (IGV) e indicadores para se medir o impacto social nas Infraestruturas de Dados Espaciais (IDE). Além disso, a presente edição apresenta dois artigos sobre uso de Veículos Aéreos não Tripulados (VANT), contemplando o enorme interesse por novas tecnologias. Poderemos ler também sobre um estudo sobre Sistemas Verticais de Referência Nacionais (em inglês SVRN) e reflexões sobre a padronização dos Nomes Geográficos no Brasil. Dentre os temas mais tradicionais contamos com artigos sobre avaliação posicional de produtos cartográficos digitais na escala 1:50.000, estudos sobre riscos vulcânicos através de imagem de satélite NOAA e Modelo Digital de Terreno (em inglês MDT) e ainda, estudo sobre qualidade de dados. Para finalizar conheceremos interessante estudo sobre os custos ocultos da Cartografia que nos chama atenção sobre custos de oportunidade e custos de má qualidade.

Destacamos em 2015, importantes realizações para a nossa área, por exemplo, a adoção pela Assembleia Geral das Nações Unidas da Resolução “Infraestrutura Geodésica Global de Referência para Desenvolvimento Sustentável”, a primeira na história na área da informação geoespacial. A resolução trata sobre o valor das observações terrestres e imagens de satélites de sensoriamento remoto para acompanhamento das alterações temporais em populações, nos oceanos e na atmosfera. Essas informações poderão apoiar a formulação de políticas públicas de desenvolvimento sustentável, o monitoramento de mudanças climáticas e gestão de desastres naturais, além das áreas de transportes, agricultura e construção.

Oficialmente iniciado durante a 27th Conferência Internacional de Cartografia, realizada no Rio de Janeiro em agosto de 2015, o Ano Internacional do Mapa (em inglês IMY). Trata-se de iniciativa para oferecer oportunidades para demonstrar, seguir e se envolver na arte, ciência e tecnologia de elaboração e utilização de mapas e informação geoespacial.



<<http://mapyear.org>>, #welovemaps. ¡Participe!

A Comissão de Cartografia do IPGH instituiu este ano o prêmio a melhor dissertação/tese de mestrado e doutorado em cartografia, geodésia e/ou informação geoespacial com a finalidade de promover e reconhecer os trabalhos acadêmicos. O ganhador será anunciado em outubro durante a 46 Reunião do Conselho Diretivo do IPGH a ser realizada em Cartagena, Colômbia.

Como perspectivas para o próximo ano, almejamos contar com uma edição extra temática da *Revista Cartográfica* (RCA) iniciando o caminho de busca por novos indexadores. Além disso, esperamos poder trazer boas notícias em relação à primeira edição de uma RCA on line.

¡Muito trabalho pela frente!

¡Até o próximo número!

Valéria Oliveira Henrique de Araújo
Editora da Revista Cartográfica

Catastro multipropósito sostenible: una necesidad inaplazable

Manuel-G. Alcázar Molina*

Recibido el 3 de marzo de 2015; aceptado el 16 de agosto de 2015

Abstract

Sustainable multipurpose cadastre is essential to consolidate the country as an articulated territory, integrated and cohesive in the physical, economic and social fields within its natural geographical environment tool. This will impact on a balanced social development that improves the quality of life of its citizens, encouraged by a better and more efficient management of public resources.

But even considering a goal in many initiatives, sustainable multipurpose cadastre should be seen as a prerequisite for achieving real, dynamic, fast, reliable, and especially helpful territorial infrastructure.

This document presents a multidisciplinary view of a multipurpose cadastre, identifying those parameters that are considered fundamental for a efficient, sustainable over time and reliable product. It exposes and develops a logical sequence for its construction, identifying the most common problems that may arise, followed by solutions for them. All within the technical and legal independence of each model built, intended to meet the specific needs for which it is designed, but with a clear global vision.

Key words: multipurpose cadastre, cadastral projects, land information structure, real estate valuation.

Resumo

O cadastro multifinalitário sustentável é a ferramenta fundamental para consolidar o país como território articulado, integrado e coeso nos âmbitos físico, econômico e social, dentro do seu entorno geográfico natural. Ele resultará em um desenvolvi-

* Doctor, ingeniero, profesor titular de Universidad de Jaén, Campus Las Lagunillas, s/n, Edif. A-3, despacho 335, 23071, Jaén, España. Funcionario de la Dirección General de Catastro de España (en excedencia voluntaria), correo electrónico: malcazar@ujaen.es

mento social equilibrado que mejore a vida dos cidadãos, estimulado por uma gestão de recursos públicos melhor e mais eficaz.

No entanto, mesmo sendo o objetivo de várias iniciativas, o cadastro multifinalitário sustentável deve inicialmente chegar em uma infraestrutura territorial verdadeiramente dinâmica, ágil, confiável e útil.

Este documento oferece uma visão multidisciplinar de um cadastro multifinalitário, identificando aqueles parâmetros que se consideram fundamentais para se obter um produto eficiente, sustentável ao longo do tempo e confiável. Se apresenta e desenvolve uma sequência lógica para sua construção, identificando os problemas mais comuns que podem se apresentar, seguido da exposição de soluções para os mesmos. Tudo isso dentro da independência técnico-jurídica de cada modelo construído, destinado a satisfazer as necessidades específicas considerando-se uma visão globalizada clara.

Palavras chave: *cadastro multifinalitário, projetos cadastrais, infraestrutura de informação territorial, valorização imobiliária.*

Resumen

El catastro multipropósito sostenible es la herramienta fundamental para consolidar al país como un territorio articulado, integrado y cohesionado en los ámbitos físico, económico y social, dentro de su entorno geográfico natural. Ello repercutirá en un desarrollo social equilibrado que mejore la calidad de vida de sus ciudadanos, estimulado por una mejor y más eficaz gestión de los recursos públicos.

Pero, aun considerándolo una meta en muchas iniciativas, el catastro multipropósito sostenible debe contemplarse como un paso previo para lograr una verdadera infraestructura territorial, dinámica, ágil, confiable y especialmente, útil.

En este documento se ofrece una visión pluridisciplinar de un catastro multipropósito, identificando aquellos parámetros que se consideran fundamentales para lograr un producto eficiente, sostenible en el tiempo y confiable. Se expone y desarrolla una secuencia lógica para su construcción, identificando los problemas más comunes que pueden presentarse, seguido de la exposición de soluciones para los mismos. Todo ello dentro de la independencia técnico-jurídica de cada modelo construido, destinado a satisfacer las necesidades específicas para las que se diseña, pero con una clara visión globalizadora.

Palabras clave: *cadastro multipropósito, proyectos catastrales, infraestructura de información territorial, valoración inmobiliaria.*

Consideraciones

Como cualquier propuesta técnico-administrativa rigurosa que se ponga en marcha, en primer lugar hay que identificar los objetivos que se persiguen, los plazos de

ejecución y los recursos económicos, personales y políticos disponibles. De la mano de un plan estratégico se pueden organizar y definir el futuro de la institución catastral; especialmente cuando se estén replanteando procesos de implantación catastral o de un cambio sustancial del existente por no satisfacer las necesidades previstas. Este plan debe ir seguido por otro-s operativo-s que detallen los objetivos y metas, establezca una temporalización viable y defina las estrategias a seguir; sin olvidar las fuentes de financiación, así como los procesos de control y seguimiento.

Los proyectos catastrales son complejos. A su concepción y diseño se une la gestión y explotación de una información muy sensible en determinados aspectos, como es el reconocimiento de derechos sobre inmuebles y su puesta en tributación; lo que, en ocasiones, ha sido el motivo de su fracaso. Si se estudia la historia catastral son más numerosas las iniciativas fallidas que las culminadas, y no por cuestiones técnicas, sino más bien por la presión de colectivos perfectamente identificados:

- I. Aquellos titulares de numerosos y valiosos inmuebles que gozan de una cómoda situación fiscal encubierta en registros tributarios obsoletos, incompletos o, simplemente, falseados.
- II. Aquellos profesionales que se benefician de largos y costosos procesos de titulación inmobiliaria.
- III. Aquellos responsables políticos que no quieren enfrentarse con sus votantes ni destinar recursos económicos a proyectos que servirán para nutrir las arcas de rivales que los reemplazarán.
- IV. Aquellos otros, por último, que pueden ver mermadas sus influencias y sus ingresos al existir bases de datos fiables, universales y públicos, al servicio de las instituciones, empresas y particulares.

En realidad el grupo anterior no es numeroso, pero sí influyente; por lo que tiene capacidad de presión para abortar los proyectos, antes incluso de nacer; o para ahogarlos al impedir que les lleguen los apoyos económicos y técnicos necesarios cuando están en marcha.

Por otra parte, el temor al incremento de la presión fiscal, favorecido por falta de formación e información (cultura catastral), invita a los pequeños propietarios a no declarar sus inmuebles; sin ser conscientes de las limitaciones que tienen las propiedades no formalizadas y del pequeño grado de fraude que supone esta decisión. La mayor parte de las administraciones tributarias recaudan sobre las bases imponibles existentes, y para alcanzar los niveles de ingresos previstos pueden incrementar los gravámenes sobre aquellas. Identificando todos los bienes y asignándole un valor equitativo y coordinado, el fraude se reduciría, se incrementarían las bases imponibles totales y habría justicia tributaria, con lo que podrían reducirse

las deudas tributarias individuales; a la vez que se cumplirían con los preceptos legales establecidos a través de las leyes tributarias.

Una vez aceptada la base imponible, y su correspondiente deuda tributaria en concepto de impuesto predial (que a nadie agrada), los beneficios directos e indirectos de un catastro fiable, moderno, transparente y ágil son múltiples; especialmente en materia de titulación de tierras, reforma agraria, usos civiles y medioambientales de la documentación gráfica, políticas sociales, ordenación territorial, urbanismo, recuperación de plusvalías, etc. No queda, por tanto, más línea de actuación que la de perseguir la implantación de un modelo catastral acorde con las necesidades propias de cada país, que esté en consonancia con los de su entorno, huyendo, a corto plazo, de diseños excesivamente perfeccionistas y rigurosos que pueden llevar al suicidio del proyecto; así como de también deben obviarse “proyectos milagro”, que solo generan un “simulacro catastral” cuya vida útil coincidirá con el plazo de garantía fijado por el promotor-ejecutor.

Contenidos

Como paso previo a la identificación de los objetivos hay que ser conscientes de que los registros de inmuebles y derechos deben adecuarse a las necesidades y tradiciones de la sociedad en la que van a estar inmersos. No respetar ni asumir las costumbres de la población,¹ especialmente indígena, sin una previa y decidida formación que ponga de manifiesto las ventajas de un nuevo modelo, supondrá el enfrentamiento directo a una trayectoria histórica que debe merecer todo el respeto de quién, en ese momento, puede tomar decisiones. Hay que intentar asumir e integrar los marcos agrícolas, urbanos, legislativos, históricos, religiosos, etc. y sólo una vez plenamente justificadas las decisiones implantarlas de manera no traumática. No es correcto, ni útil a largo plazo, intentar identificar un único propietario cuando la comunidad considera que los bienes son del conjunto de pobladores; de uno sólo que les permite al resto aprovecharlos; o de nadie, pues el “Amo” es un ser superior anterior a ellos mismos. La legislación es flexible, cuando los gobernantes lo son, para diseñar modelos específicos capaces de asumir las situaciones existentes; y sólo es cuestión de tiempo, esfuerzos y buena voluntad (a veces incluso es más económico) buscar alternativas viables a realidades concretas.

Dentro de un marco específico propio es conveniente identificar y distinguir algunos de los contenidos que deben incluirse en un proyecto catastral unificado multipropósito genérico. La siguiente relación debe entenderse como una secuencia de referencia, pudiendo abordarse más de un *ítem* simultáneamente, dependiendo del modelo de catastro que se desee implantar o renovar, en una primera fase o en

¹ Complementariamente estos trabajos deberían servir para modernizar la sociedad en algunas líneas específicas: integración de la mujer en el mercado laboral e igualdad en todos los ámbitos. No debe impedirse que pueda figurar como propietaria, pueda vender e hipotecar sus bienes, etc.

fases posteriores. La redacción de un plan estratégico y los operativos deben consensuarse, incardinarse dentro de un proyecto de gobierno y establecer los mecanismos necesarios para comprobar que se logren las metas previstas:

1. Estudio de la situación actual y justificación de su necesidad:
 - Recopilación de toda la información literal y gráfica disponible
 - Recopilación de la normativa técnica y legal vigente
 - Identificar las diferentes instituciones y/o particulares que tengan competencias en esta materia
 - Análisis de los distintos modelos catastrales existentes
 - Análisis de los derechos de la propiedad establecidos y formas de defenderlos
 - Justificar la necesidad de implantar un nuevo modelo de catastro, revisar el existente o modificar sustancialmente el vigente.
2. Identificar, de manera ambiciosa, los usos y aplicaciones que tendría:
 - En una primera fase
 - En fases posteriores, ya plenamente implantado y totalmente operativo; sustentado en un proceso de conservación, actualización y coordinación reglado, eficaz y eficiente.
3. Localizar el equipo humano y técnico necesario:
 - Identificar los técnicos locales capaces de colaborar
 - Seleccionar los técnicos foráneos de acuerdo con un perfil previamente fijado
 - Seleccionar los centros universitarios, locales o no, válidos para impartir programas de capacitación, asesoramiento específico y mantenimientos periódicos
 - Contactar con empresas reconocidas y solventes capaces de suministrar los equipos técnicos necesarios y el mantenimiento continuado.
4. Diseñar un marco institucional sencillo, preciso y operativo:
 - Institución encargada de liderarlo
 - Instituciones coordinadas y complementarias
 - Instituciones que sean futuros usuarios/clientes, que se convertirán progresivamente en proveedores de información.
5. Redactar un marco legal acorde con las necesidades:
 - Definir el carácter universal, limitado, autonómico, municipal, etc.
 - Distribución de competencias y responsabilidades
 - Fijación principios, unidades catastrales y derechos
 - Diseño de procesos que deban estar enmarcados dentro de este ámbito.

- Régimen de sanciones y penalizaciones por los incumplimientos o ilegalidades que se detecten
 - Establecer una metodología sencilla, fiable, transparente, confiable y eficaz para resolver los litigios que se originen
 - Establecer con claridad los procesos de gestión catastral, gestión tributaria y gestión recaudatoria; así como las instituciones responsables.
6. Diseño del modelo de valoración a implantar:
- Estudio de los modelos existentes y empleados regularmente
 - Diseño y elección de un modelo o modelos: sencillo, ágil, preciso, automatizable, sistemático, universal, fácilmente actualizable, transparente, confiable, comprensible, que cuente con la confianza y respeto del contribuyente.
7. Documentación gráfica a elaborar:
- Recopilación de la documentación gráfica disponible y estudio de su validez
 - Selección del soporte gráfico a emplear: cartografía levantada por topografía clásica, restitución, ortofotomapa, imagen satélite, video, etc.
 - Elección de las escalas/definición en función del objeto a registrar
 - Elección de la información a incluir, en el soporte elegido, imprescindible para cubrir los objetivos previstos en las fases establecidas
 - Viabilidad de la gestión automatizada de todo el conjunto
 - Análisis del proceso de conservación y actualización que se desarrollará
 - Redacción de los pliegos de condiciones técnicas
 - Integración de la cartografía en los WMS²
 - Establecimiento de un sistema de control de calidad efectivo.
8. Documentación literal a captura:
- Recopilación de la documentación literal disponible y estudio de su validez
 - Selección de la información imprescindible para cubrir los objetivos previstos en las fases establecidas
 - Titular del-los derecho-s
 - Régimen de confidencialidad que debe emplearse
 - Viabilidad de la gestión integrada e interrelacionada con las bases de datos gráficas
 - Diseño y fomento de los procesos de reutilización de la documentación.

² WMS: WebMapService. Es un estándar para publicar cartografía en Internet y las especificaciones están recogidas en OGC (Open Geoespatial Consortium). Es un servicio y no una página web. Se ha de utilizar desde un navegador que admita este servicio. A modo de ejemplo, en la Dirección General del Catastro de España la dirección del servicio es: <<http://ovc.catastro.meh.es/Cartografia/WMS/ServidorWMS.aspx>>.

- Análisis del proceso de conservación y actualización que se desarrollará
- Redacción de los pliegos de condiciones técnicas
- Establecimiento de un sistema de control de calidad efectivo.

9. Estrategias y calendario:

- Implicación de todos los agentes afectados, en un marco de total consonancia con la sociedad
- Diseñar una estrategia de elaboración e implantación realista, capaz de ser evaluada cuantitativamente.
- Fomento de los procesos de reutilización de la documentación
- Establecer un régimen de responsabilidades
- Elaborar un calendario para diseñar los modelos, implantarlos, estimar su validez, incluir modificaciones y estimar los plazos para aplicarlo de forma universal, dentro de las coordinadas político-administrativas existentes.

10. Financiación:

- Localización de fuentes de financiación interna, externa e, incluso, privada
- Estimación los recursos económicos que podrían obtenerse a través de la puesta en tributación de los inmuebles identificados
- Venta de los productos elaborados.

11. Gestión y conservación:

- Diseño del sistema de conservación de la documentación gráfica y literal elaborada
- Identificación de la información a capturar, en diferentes fases posteriores a la implantación, de forma masiva, automática, económica y fiable, con garantías de permanencia en el tiempo
- Diseño del proceso de gestión coordinada del catastro-registro apoyándose en las instituciones existentes, técnicos especializados y experiencias en otros países
- Diseño de sistemas de difusión y relación con la sociedad
- Búsqueda de alianzas que garanticen el uso y la retroalimentación de la información catastral
- Integración de la sociedad en la búsqueda de una e-administración: hay que hacerla cómplice del proyecto.

Con estos contenidos el catastro se convertirá en la institución de referencia, una infraestructura de información territorial que permitirá el uso del territorio, en su

concepto más extenso, favoreciendo la toma de decisiones sobre datos objetivos, normalizados y fiables. Con un marcado perfil de e-administración se establece un flujo continuado, seguro y eficaz entre las diferentes partes implicadas, garantizando el acceso a los datos catastrales a todos aquellos que gocen los correspondientes permisos. La disponibilidad de esta información y la accesibilidad a las bases de datos catastrales por los titulares, administraciones y empresas para su empleo en todo tipo de actuaciones no es sólo una finalidad catastral, sino que ésta institución también se beneficia de la misma al fomentar la colaboración de todos los agentes que actúan sobre inmuebles para actualizar su base de datos (Figura 1).

Situación actual y necesidad

Para conocer la situación actual hay que actuar en varias líneas complementarias que comienzan por la recopilación de la información catastral disponible (gráfica y literal), la investigación de la normativa técnica, los marcos jurídicos establecidos y el escenario administrativo que esté implantado o en fase de desarrollo; aspectos, todos ellos, que se van a analizar a continuación:

Recopilación de información

Recopilar la información literal y gráfica disponible y, en su caso vigente, no es una de las labores más atractivas; pero es, sin duda alguna, una de las prioridades dado que es imprescindible conocer la situación catastral actual para proceder en consecuencia: “en ocasiones es recomendable dar un paso hacia atrás para tomar fuerzas y poder saltar más lejos”. Por recopilar no debe entenderse recoger masiva e inconscientemente los listados, fotografías, planos, planillas, etc., existentes en las diferentes municipalidades, delegaciones de agricultura, hacienda, reforma agraria, notarías, registros y otras instituciones públicas y privadas; se trata de localizar lo que haya, dónde está, cuál es su estado de actualización, que información contienen y para qué se emplea. De esta manera siempre se podrán rescatar aquellos datos que:

- Puedan servir de referencia para solventar posteriores litigios en materia de titularidad y lindes.
- Emplearse en la cumplimentación de la documentación exigible en los nuevos trabajos pues, sin la existencia previa de un comunicado o una reclamación sobre sus contenidos, formalmente estarán en vigor.
- Utilizarse para intentar localizar al titular que figura, o a sus descendientes, con objeto de conocer los posibles derechos que aún mantengan sobre los bienes.

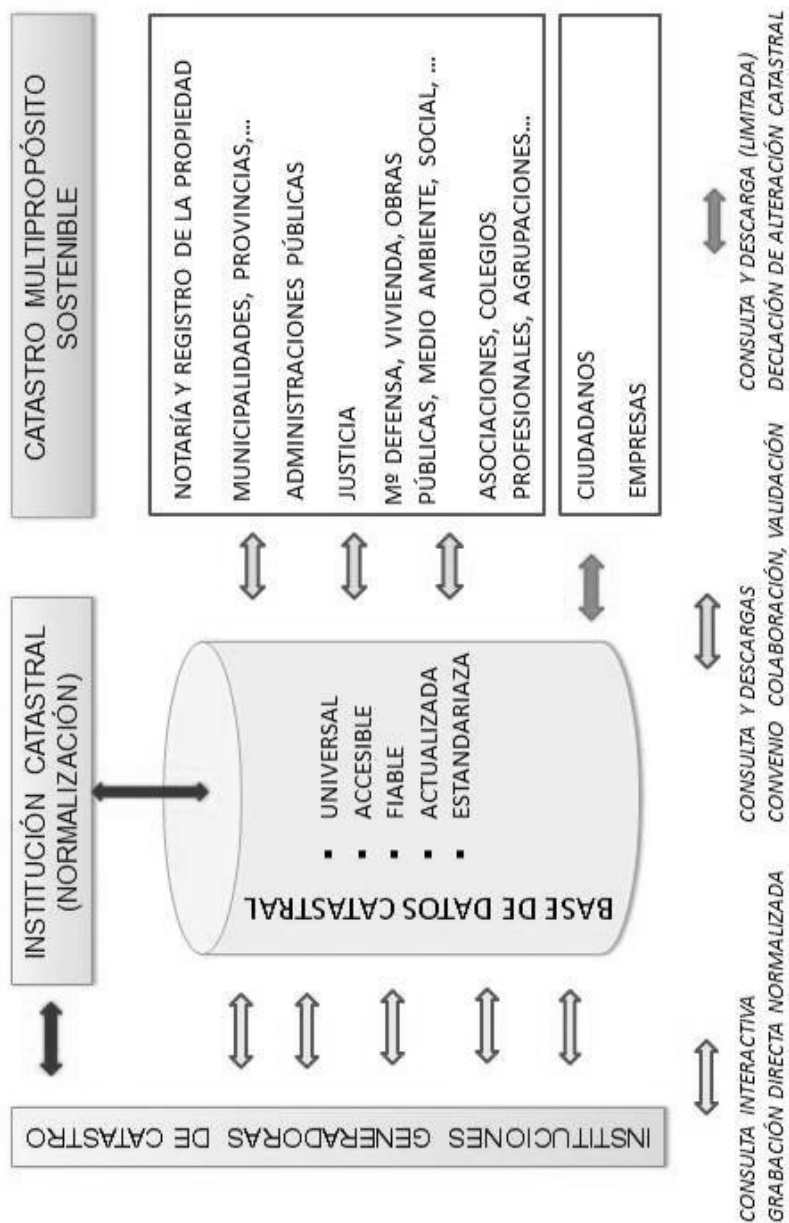


Figura 1. Proceso de creación y conservación de un catastro multipropósito sostenible, a través de clientes-proveedores, empleando procedimientos normados, bien directamente (entidades generadoras de catastro), bien a través de convenios de colaboración, o mediante declaraciones de los interesados.

Normativa técnica

Para conocer la normativa técnica vigente habrá que recabar información de todos los organismos que tengan competencias en la formación, conservación y gestión en materias relacionadas con el catastro y los bienes inmuebles: institutos geográficos; centros estadísticos; instituciones tributarias; ministerios de agricultura, obras públicas y vivienda; municipalidades; registros públicos de diversa índole, etc.

Durante esta fase no será extraño identificar normativas y pliegos de condiciones obsoletos, faltos de rigurosidad e, incluso, que presenten contradicciones entre las atribuciones y exigencias a cada responsable. Tampoco será extraño detectar rigurosas exigencias en algunos procesos que no encuentran su lógica técnica en una segunda fase de los trabajos: precisiones milimétricas en cartografía 1:5,000, y valoración rústica empleando mapas de usos del suelo a 1:500,000; inclusión como variable explicativa el número de cuartos de baño que tiene una vivienda, y valores de suelo generalizados por manzana, que no tengan en consideración las peculiaridades de fachada, esquineros, irregularidades geométricas, etc.

Toda la información debe localizarse y analizarse, sin pretender anular cualquier actuación o decisión anterior sin un conocimiento previo sobre la cualificación profesional del equipo que lo redactó y el contexto social, económico, político y administrativo en el que se adoptó. En ocasiones habrá sido el conocimiento real de la situación lo que motivó que técnicos cualificados dirigiesen sus actuaciones por determinados senderos, que quizá un “ojo experto” foráneo sólo detecte después de años de trabajo sobre el terreno.

Marco jurídico

Por su parte, los marcos jurídicos vigentes en materia catastral suelen proceder de situaciones en las que se tomó conciencia de la necesidad de implantar un catastro y se redactaron rigurosas leyes y reglamentos que, en ocasiones, no se llegaron ni a desarrollar formalmente; pues el impulso catastral se abortó antes de poder hacerlo. En cambio, la legislación en materia de derechos de propiedad sí suele ser más precisa y estar plenamente desarrollada y consolidada: clases de derechos, defensa de los mismos, forma de acceso a la propiedad, sistemas de transmisión, hipotecas, etc., dado que la propiedad es la base de todo estado moderno y su defensa uno de los pilares que lo sustenta.

Cierto es que el marco jurídico puede variar de un estado a otro, y que la reglamentación puede haberse desarrollado durante siglos apoyándose en sistemas tradicionales que, en ocasiones, reflejen y respeten costumbres tribales; pero de lo que no hay duda es de que está regulada y que la Administración fomenta y avala su formalización en la medida en que la misma ofrece numerosas ventajas y reduce el número de litigios.

Hay que resaltar que, aunque todos los implicados son conscientes de esta necesidad, a veces es el propio sistema el que ha convertido la formalización y la defensa de los derechos en un proceso complejo y costoso, del que depende el ejercicio de numerosos juristas y técnicos que sólo buscan favorecer sus intereses personales.

Tan importante como la regulación del proceso técnico es la regulación jurídica de la actividad catastral: contar con una legislación actual, versátil y autónoma que permita ejecutar, gestionar y explotar los catastros. Independientemente de quién tenga las competencias cartográficas, de titularidad, en materia de valoración, o gestione los procesos de coordinación, conservación y actualización; así como la explotación, venta, reutilización o cesión de la información, es imprescindible para tener un catastro universal fiable contar con un marco legal autónomo, en el que queden claramente establecidas las competencias en materia de gestión catastral, tributaria y recaudatoria; fortalezca los procesos de conservación, actualización y coordinación nacionales; tan importantes o más que los de implantación.

Contexto internacional

Coordinación catastral

Todo lo anterior debe de enmarcarse dentro de un contexto internacional en el que numerosos países están inmersos: la descentralización administrativa. En Iberoamérica se detectan numerosos procesos de delegación de competencias y responsabilidades desde los órganos de gobierno nacional hacia las provincias, departamentos, municipalidades, etc.; competencias que pueden no llevar asociadas sistemas de financiación que les permitan asumirlas plenamente.

Por este y otros motivos, la gestión tributaria y recaudatoria de la información catastral (que no debe confundirse con la gestión catastral), han sido delegadas y asumidas por las entidades locales. Pero hay que tener presente que son gestiones diferentes, que no tienen por qué coincidir en la misma administración o institución. El ámbito de la gestión tributaria es más amplio, y utiliza la información catastral para sus actividades en materia de impuesto predial, a la que podrán sumarse: impuesto de alcabalas, recuperación de plusvalías, tasas, contribuciones especiales, etc.

Esta clara tendencia encuentra en cada nación su justificación, y cada vez es más sencillo defender la existencia de una institución de ámbito nacional encargada de regular la integración y unificación de los procesos técnicos de las diferentes entidades que han asumido, o podrán asumir la implantación, conservación, coordinación, actualización, gestión y explotación del catastro. De esta forma conviven coordinadas una institución catastral encargada de normar, asesorar y facilitar los procesos de infraestructuras territoriales, con el resto de administraciones, empresas y particulares, que serán los sujetos pasivos del-los impuesto-s, y sus usuarios fina-

les; a la vez que proveedores de información. Con lo que el sistema que se establece presentará las siguientes características:

- Abierto: permite el intercambio de la información entre quienes la generan y aquellos que la solicitan.
- Desconcentrado: permite el acceso al mismo a través de las distintas entidades públicas del Gobierno Nacional, Gobiernos Regionales y Locales.
- Dinámico: es objeto de actualización permanente por los cambios físicos y legales inherentes al predio.
- Normalizado: permite la uniformidad en los procedimientos de gestión, obtención y tratamiento de la información que genera.
- Estandarizado: contiene estándares técnicos, informáticos, administrativos y legales en los procesos y datos que conforman el Sistema.
- Seguridad: otorga seguridad jurídica a los actos jurídicos referidos a predios y a sus derechos.

Todas estas entidades, públicas o privadas, nacionales o extranjeras, lucrativas o benéficas, deben localizarse e identificarse sus actividades. En ocasiones la creación de una única institución que lidere el catastro, perfectamente coordinada con todas las implicadas, puede ser considerada como un enemigo a los intereses individuales de determinados colectivos; en concreto:

- Algunos abogados que se dediquen a legalizar y titular los derechos sobre los inmuebles. Una institución gubernamental que lo haga de forma rápida, eficaz, segura y gratuita, o con un coste testimonial, puede no ser de su agrado.
- Las entidades financieras podrán ofrecer créditos hipotecarios más económicos cuando el bien inmueble esté identificado e inscrito. En este caso los centros alternativos que ofrecían créditos a más alto interés podrían no ilusionarse con los proyectos catastrales.
- Los custodios de documentación gráfica y literal que, en ocasiones, podrían poner a la venta de forma fraudulenta algunos de estos productos no encontrarán un aliado en una institución que tienda al establecimiento de una relación seria y formal con el ciudadano-cliente a través de la e-administración.
- Los responsables de la estimación de la carga fiscal y de la recaudación, que favoreciesen determinados beneficios fiscales y exenciones en aras de un beneficio propio, encontrarán en las bases de datos automatizadas y confiables una clara oposición a sus intereses.

La relación anterior podría ser una de las más extensas de este texto, pero no es éste su objetivo. Baste decir que la capacidad de invención del ser humano es infini-

ta, y especialmente productiva en aquellos aspectos que le reporten un beneficio importante y rápido, aún a costa de otros conciudadanos menos agraciados. Por este motivo es imprescindible contar con una administración eficaz y rigurosa que se apoye en datos fiables, procesos objetivos y principios consolidados.

Modelo

El conocimiento preciso de la situación actual del catastro de un país no se consigue únicamente con un análisis interno. Es necesario contrastarlo con otro más amplio: preciso, profundo, riguroso, sistemático y exhaustivo, de los modelos catastrales vigentes en el mundo y de los sistemas diseñados para defender los derechos sobre los bienes. Lamentablemente no abundan las referencias bibliográficas sobre modelos catastrales, y son pocos los especialistas que puedan ofrecer un asesoramiento de conjunto y contrastado que complemente la visión local con aportaciones que enriquezcan los proyectos dentro del contexto técnico, económico, social, tributario y legal vigente. Aunque recomendable la consulta de pliegos de condiciones técnicas de otros países, la recopilación de información de empresas especializadas en catastro y la ayuda de instituciones encargadas de ofrecer préstamos para la implantación de catastros, hay que ser conscientes de las limitaciones de cada una de ellas:

- Existen pliegos de condiciones sumamente precisos, rigurosos y completos que permitirían implantar un catastro de gran calidad, pero hay que tener presente que las instituciones que los redactaron se encuentran inmersas en sociedades que no tienen los mismos problemas ni son comparables sus necesidades. La formalización de la propiedad no es una inquietud en Francia, en donde la mayor parte de los inmuebles están ya registrados; en cambio, sí es interesante favorecer la defensa de los derechos inscritos y la gestión automatizada de la información catastral para, por ejemplo, acogerse a las ayudas de la Política Agraria Comunitaria vigente en la Unión Europea.
- El acceso a las empresas encargadas de elaborar documentación gráfica o de vender equipos y programas informáticos es interesante, pero deben tenerse en cuenta los objetivos de las mismas, pues han de responder ante sus accionistas. Es recomendable la búsqueda generalizada y tener los conocimientos suficientes en las respectivas materias como para no dejarse llevar por llamativas presentaciones, buenas palabras o favores personales. Al final estos productos se van a convertir en la herramienta base del catastro, y cuanto mejor diseñados y adaptados a las necesidades propias estén, menor número de problemas y mayor número de aplicaciones presentarán en el futuro.
- No es difícil acudir a algunas de las instituciones que tienen competencias en materia de catastro o desarrollan programas divulgativos sobre el mismo; entre ellas puede citarse: Direcciones Generales de Catastro, Grupo de Trabajo de

Administración del Territorio (WPLA), Banco Interamericano de Desarrollo (BID), Federación Internacional de Geómetras (FIG), etc., pero hay que ser conscientes de que en ninguna de estas se encontrará un modelo catastral trasladable íntegramente; aunque sí información rigurosa y precisa, así como (en ocasiones), experiencias exitosas concretas.

Conocidos los modelos, las ventajas que tienen sobre el propio, las dificultades de implantación y conservación, los litigios que han conllevado, etc., se está en situación de tomar la decisión de diseñar uno nuevo o adecuar el existente a las necesidades actuales y a los requerimientos que se le exigirá en el futuro. En esta fase hay que ser lo suficientemente juicioso, flexible y riguroso para no dejarse influenciar por presiones interesadas y dirigir las actuaciones en la línea de obtener un catastro moderno, fiable, eficaz y simple. Para ello se debe contar con un equipo pluridisciplinar propio, en su caso asesorado por expertos foráneos, que sean capaces de identificar los recursos humanos disponibles para llevar a cabo el proyecto que se va a acometer. No es lógico diseñar un proyecto puntero si no se dispone de técnicos cualificados para elaborar la documentación gráfica, recopilar los datos alfanuméricos, asignar un valor a todos los inmuebles, informatizar los datos e interrelacionarlos, procesarlos y ponerlos en valor, conservarlos, implementar nuevas aplicaciones, etc. Adquirir los equipos físicos y los programas informáticos puede ser un problema económico, de más o menos difícil solución, pero, hasta cierto punto, rápido. En cambio, la formación de un personal cualificado capaz de, no sólo usar aplicaciones, sino de desarrollar los trabajos con conocimientos en materia de Geomática, Valoración, Fiscalidad y Derecho, no es sencillo ni inmediato. Éste es el principal problema (el capital humano) con el que se enfrentará quien decida acometer proyectos de este tipo.

Un problema que, en ocasiones se complica cuando los gestores locales de catastro se ciñen a modelos, también locales. El catastro ha evolucionado enormemente en las últimas décadas, y el padrón de los recibos prediales sigue siendo un objetivo inmediato; pero no es el único producto que puede generar y que pueden demandarle. Los usos y aplicaciones del dato catastral, entendido el catastro como una infraestructura territorial multipropósito, son muy numerosos. Y cada vez son más pues sobre la base de su utilidad se apuntala la concepción, diseño y puesta en ejecución de nuevos servicios.

Usos y aplicaciones

Dato catastral

El dato catastral es la piedra angular de esta infraestructura territorial. El dato, normalizado y fiable, que procederá de su captura en campo, de su declaración por los

titulares, de su inclusión vía convenio, de su consulta a otras administraciones, etc., el que servirá para nutrir, mantener actualizado y útil el catastro multipropósito. Hay que ser conscientes de que una vez finalizada la captura de la información de 50 o 100 millones de unidades inmobiliarias no se pueden volver a visitar para recoger datos relativos a, por ejemplo: estado del acceso, índice de pedregosidad, número de cuartos de baño, cerramientos y carpinterías de las viviendas, etc., para realizar la valoración inmobiliaria. Pero, por otra parte, tampoco hay que ser excesivamente rumboso con los datos a incluir en las fases de campo, pues su captura, procesamiento, comprobación, gestión y conservación cuesta dinero y tiempo; dos aspectos de los que no se suele disponer en abundancia en ningún proyecto. Hay que identificar las demandas de productos y servicios que las administraciones, las empresas y los particulares pueden formular al catastro e intentar, en la medida de lo posible, diseñar un modelo multipropósito que las satisfaga, que vaya creciendo y perfeccionándose a la par que crecen y se perfeccionan las demandas (Figura 2).

Este planteamiento no es filantrópico: tiene una vertiente económica y otra funcional. La primera se sustenta en el hecho de que la información disponible puede ser puesta a la venta y pocas empresas o administraciones elaborarán cartografía o estimarán valores inmobiliarios si ya existe a una escala adecuada a sus necesidades, o se conoce el valor más probable de mercado que alcanzaría el bien si se pudiese en venta. El segundo aspecto es meramente egoísta; el hecho de que existan clientes que soliciten los datos fuerza a la propia administración responsable del catastro a mantenerlo actualizado; pero también son aquellos los que, de manera voluntaria o forzada, suministrará información para realizar una adecuada conservación, convirtiéndose en clientes-proveedores; por ejemplo:

- Las oficinas de notaría necesitan datos sobre el titular catastral de una parcela para formalizar una escritura de compra-venta. Si se les suministran —de forma gratuita o no—, se les exigirá que comunique la alteración al Catastro para que éste actualice su base de datos con la alteración notificada y documentada.
- Los encargados de realizar obras civiles: carreteras, líneas de ferrocarril, embalses, expropiaciones urbanísticas, etc., requieren datos sobre titularidades de fincas, superficies, cultivos, usos y valores para iniciar con las compras de los inmuebles o formalizar los trámites expropiatorios. Se condiciona la venta o cesión de los mismos a cambio de que reflejen las obras nuevas y las mejoras realizadas en la documentación catastral; por ejemplo: regadíos implantados, tramos de carretera ejecutados, terrenos destinados a la construcción de embalses, nuevas calles o polígonos industriales...
- Los padrones de las riquezas rústica y urbana pueden ser utilizados para establecer recargos tributarios sobre: alcantarillado, recogida de residuos sólidos, alumbrado, arreglo de caminos rurales, subvenciones agrícolas, etc. De esta

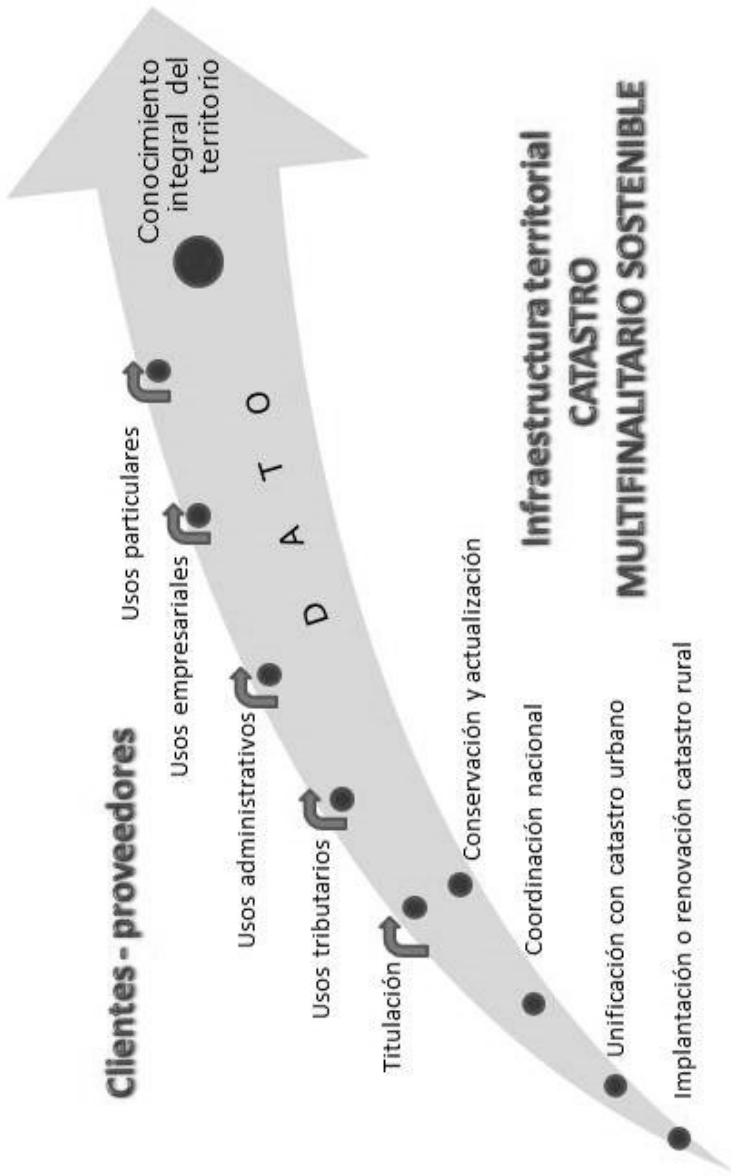


Figura 2. Esquema del proceso, con identificación de los usuarios-proveedores para obtener una infraestructura de datos catastrales que reflejen fielmente el territorio.

forma la administración o empresa encargada de poner al cobro y recaudar las cantidades fijadas se ocupará y preocupará de que los listados de titulares estén actualizados y de que figuren correctamente las direcciones fiscales.

- Las recalificaciones de suelo para usos urbanos, con las consiguientes plusvalías, se podrán repartir y recuperar para usos sociales de la comunidad, a la vez que se actualiza la información (datos catastral): parcelación, nuevos usos y aprovechamientos, nuevos titulares, nuevos valores, y cuantificación objetiva de la plusvalía generada.

En resumen: la venta o cesión de datos es un acicate para que la propia administración responsable mantenga la base de datos actualizada y fiable; pero a la vez sirve para recaudar fondos e información relativa a las alteraciones que se hayan producido y no declarado.

Utilidades

El número y la naturaleza de las aplicaciones que puede tener un catastro multipropósito son enormes, tanto durante sus primeras fases de implantación como en otras posteriores, cuando esté plenamente consolidado. Por otra parte, la experiencia ha demostrado que un catastro “nunca muere”; siempre será una fuente de información (con la fiabilidad que corresponda), que permitirá conocer la realidad inmobiliaria, en una disensión temporal amplia, del territorio y de sus pobladores.

La historia ha demostrado que muchos proyectos catastrales, bien diseñados y desarrollados correctamente, han ido agonizando paulatinamente cuando el gobierno que los heredó bien no comprendía su importancia, bien no estaba interesado en su conservación y mejora, o bien no dotaba presupuestariamente esta actividad. El origen de estas situaciones se suele encontrar en el desconocimiento del alcance de esta herramienta para el desarrollo socioeconómico de la población, o en un interés partidista por ocultar la riqueza inmobiliaria; ambos difícilmente justificables en la actualidad. Para evitar estas situaciones hay que incidir en la capacitación a todos los niveles y en la reseña (y explicación) de todas aquellas necesidades que podrá satisfacer un catastro multipropósito. De esta forma los responsables identificarán los usos inmediatos y futuros, el calendario en que se obtendrán estas metas y qué decisiones, herramientas y procesos deben acometerse para lograrlas. Actividades que no pueden entenderse como independientes, fruto de una única institución, pues el catastro no lo es. Deben interpretarse como un proyecto integral, un catastro único, universal, dinámico y sostenible, que agrupe a todas aquellas administraciones que tienen al territorio, en su concepto más amplio, como elemento de referencia.

Son muy numerosos los usos de esta ingente base de datos georreferenciados; tantos que su mención incrementaría desproporcionadamente este documento, por

lo que es mejor hacer alusión solo a los grandes bloques temáticos en los que se utiliza asiduamente:³ finanzas; agricultura y forestal; propiedad, derechos y limitaciones; plusvalía, expropiación, civil, territorio, social, defensa, medio ambiente, protección civil, usos privados, etc.

Aunque de forma somera es oportuno hacer mención a dos de las utilidades inmediatas, no tributarias, que más han ayudado a que diferentes estamentos de la Administración defiendan no solo la confección de un catastro fiable, sino que han presionado para que se mantenga actualizado, participando activamente a través de procesos de coordinación y colaboración. Estas son la ordenación territorial y la formalización de la propiedad inmobiliaria.

Dentro del ámbito de la ordenación del territorio las actuaciones en las que puede ser utilizada la información gráfica y literal de un catastro son inmensas. Hay que entender la ordenación territorial no sólo como una actuación a nivel de los núcleos urbanos consolidados que se encargue de definir las naturalezas de los inmuebles y aquellos usos prioritarios o preferentes en determinadas zonas de la ciudad. La ordenación territorial es la herramienta cardinal para establecer las grandes líneas de los desarrollos futuros; los criterios para regular la evolución de las ciudades y sus entornos; las inversiones en materia de infraestructuras (transporte, agua, energía, telecomunicaciones, etc.) y espacios productivos; la estimación, cuantificación y modelización de desastres naturales (catástrofes); la protección del patrimonio histórico-artístico; atraer y fomentar la inversión productiva; promover el desarrollo turístico, etc. Hay que conseguir consolidar el país como un territorio articulado, integrado y cohesionado en los ámbitos físico, económico y social dentro de su entorno geográfico natural; de tal forma que ello repercuta en un desarrollo social equilibrado que mejore la calidad de vida de sus ciudadanos, estimulado por una mejor y más eficaz gestión de los recursos públicos.

De una manera muy especial hay que resaltar la importancia de un catastro multipropósito en el desarrollo social y económico de un país en su conjunto. La identificación precisa del bien y de su titular beneficia el crédito hipotecario en diferentes vías complementarias:

- Reduce el riesgo para la entidad financiera
- Incorpora miles-millones de nuevos agentes productivos de crédito
- Favorece la disminución de los tipos de interés aplicables
- Incrementa los plazos de reembolso
- Sustituye el crédito personal por el inmobiliario
- Dinamiza la economía.

³ Un desarrollo más detallado de las utilidades de un catastro multipropósito puede localizarse en el texto *Catastro, propiedad y prosperidad* (2007) o *Catastro inmobiliario* (2011) de M. Alcázar.

La entidad financiera brinda, al empresario agrícola que quiere mejorar su explotación o al ciudadano que intenta acceder a una vivienda digna, mediante el sistema crediticio inmobiliario, una alternativa real y asumible; pero aquella no se quiere encontrar con elevados índices de impagados, inmuebles que pasen a su propiedad o interminables procesos de embargo y subasta: su negocio es la gestión de dinero y no la gestión y venta de inmuebles. Las administraciones podrían apoyar, mediante subvenciones, determinados proyectos, perfectamente definidos y con un calendario preciso; pero para que el mercado se dinamice es imprescindible la entrada del sector privado. Y, para ello, deberán cumplirse los compromisos firmados, en principio fiel reflejo de que se están consiguiendo los objetivos previstos por cada una de las partes: el banco sus cuotas periódicas, el ciudadano su vivienda y el agricultor la mejora de su explotación. En consecuencia, no basta sólo con identificar el inmueble y los derechos de un titular sobre el mismo para la entrega de dinero avalado por el bien; es necesario informar, formar y concienciar a los implicados de los riesgos y las responsabilidades que se asumen.

Hay que ser conscientes de que todo lo expuesto no se puede alcanzar en una primera acometida. Son necesarios muchos años en los que se vaya avanzando, recabando información, creando cultura catastral y, especialmente, confianza en el producto. Si ésta se consigue los demás lo demandarán; en caso contrario, cada particular o administración elaborará su cartografía, indagará los usos, estimará los valores, buscará respaldos para la solicitud de créditos, etc. Si se desea tener un estado moderno, integrado en el marco internacional, se necesita un catastro fiable y multipropósito; pues qué menos saber lo que hay, donde está, cuánto vale y de quién es.

Equipo

El capital humano es, ha sido y, especialmente, será una de las prioridades de cualquier sociedad. Los profesionales no se forman en unos días, ni en unas semanas de cursos intensivos; son meses lo que se tarda en cualificar un especialista capaz de realizar los trabajos, dirigirlos y aportar ideas o sugerencias que sirvan para resolver problemas o desarrollar nuevas aplicaciones. El experto en catastro debe ser, hasta cierto punto, un híbrido de: topógrafo, agrónomo-forestal, arquitecto, jurista, fiscalista, geógrafo, informático y economista; pero todo en su justa medida.

Lamentablemente no suelen existir centros de formación integral en catastro. Lo normal es que en distintos programas reglados de enseñanza universitaria se impartan conocimientos superficiales de algunas de estas materias, y profundos de otras, en la línea del currículo establecido. Obviamente poner en manos de “bien intencionados” técnicos una apuesta de esta índole no es recomendable en ningún sitio; más aún, es francamente desaconsejable en aquellos países en los que los intentos anteriores hayan fracasado con las consiguientes repercusiones en el ministerio de

finanzas, agricultura, institutos geográficos, etc., y la pérdida de prestigio y credibilidad de la administración responsable. Es conveniente, antes de abordar un proyecto de este tipo, identificar los titulados más acordes con las necesidades, contar con la experiencia de técnicos catastrales locales y otros foráneos y, dentro de un marco universitario reglado, capacitar un equipo en:

- Transmitir los conocimientos adquiridos
- Preparar técnicos de campo y gabinete que desarrollen los trabajos
- Fomentar la iniciativa privada local encargada de abordar los proyectos que se liciten
- Favorecer la contratación de técnicos especializados en catastro en las municipalidades para que gestionen la documentación, informen a los contribuyentes y mantengan actualizada las bases de datos
- Obviamente, convertirlos en responsables administrativos con diverso nivel de decisión.

El programa formativo contemplará una parte general, a la que se añadirá otra local que analizará las problemáticas específicas del sector inmobiliario en el que está inmerso; por ejemplo: Costa, Sierra y Selva. Y no solo para “tramitar” el catastro. Deben estar capacitados e incentivados para añadir, de forma progresiva, automática, económica y fiable, información complementaria que favorezca el crecimiento paulatino de las bases de datos territoriales. Con ello se conseguirán nuevos logros que incrementarán los usos y aplicaciones del catastro, con lo que se demandará y todos estarán interesados en conservarlo actualizado, fiable y riguroso.

Una vez formados los equipos directivos y los de trabajo, los centros de enseñanza podrán seguir colaborando en la línea de desarrollar nuevas aplicaciones, poner en práctica proyectos concretos y puntuales, mantener programas específicos en materia de valoración, geomática, fiscalidad, etc., importando o exportando ideas, proyectos, normativas, pliegos de condiciones, a otras instituciones nacionales o internacionales. Por otra parte, la colaboración de las universidades⁴ aporta un marcado grado de credibilidad en el nivel de los técnicos que van a desarrollar los trabajos catastrales, lo que repercutirá en la confianza hacia el producto elaborado, disminuirá el grado de incertidumbre sobre la información y favorecerá el uso del mismo para el respaldo de compra-venta, la solicitud de hipotecas inmobiliarias, la adquisición de cartografía para proyectos específicos, y la entrada de dinero extranjero que tendrá confianza en que lo que compra: “está allí, es de esa forma, tiene esta superficie, era de D. Fulano y vale tanto”.

⁴ <www.mastercv.org> (título propio).

Por último, y abundando en lo desarrollado anteriormente, es interesante resaltar dos aspectos:

- Hay que fomentar la permeabilidad de conocimientos, experiencias y metodologías entre los juristas, los técnicos y los informáticos. Están obligados a entenderse y a coordinarse en aras de obtener un producto útil para la sociedad.
- La Informática y la Geomática son herramientas, y son ellas las que deben adaptarse a las necesidades del catastro; no al contrario.

Marco institucional

La Administración y sus trabajadores tienen que estar al servicio de los ciudadanos, en este caso también contribuyentes: no se crea un organismo y se le asignan competencias; es la demanda de la sociedad o la justificación de una clara necesidad de información, documentación o servicios lo que debe motivar la existencia de una determinada dirección general, secretaría, consejería, ministerio, instituto, etc. Una vez hecha esta reflexión la institución que se cree para realizar un determinado trabajo debe ser: fuerte, eficaz, eficiente, moderna, sencilla, accesible y ambiciosa, situación que se alcanza cuando:

- Existe un apoyo claro y preciso desde las instancias más elevadas del gobierno
- Quedan claramente definidas las competencias y el ámbito territorial de actuación
- Cuenta con un equipo nacional plenamente cualificado, responsable y motivado
- Se plantea metas alcanzables articuladas en programas que puedan evaluarse periódicamente.

Teniendo en consideración estas premisas hay garantías para que el catastro se “construya” y se convierta en una herramienta multifuncional dinámica, útil para la administración, las empresas y los particulares, estimulando la recuperación y el desarrollo económico perseguido.

Para lograr estos objetivos hay que disponer de un escenario adecuado; contexto que no siempre es posible de lograr. Varios son los aspectos a tener en cuenta en gran parte de los países que incluyen entre sus metas inmediatas la implantación de un catastro:

1. Algunos se encuentran inmersos en complicados procesos de descentralización administrativa, que bien diseñados y puestos en la práctica suelen aportar un importante valor añadido al conjunto. En cambio, si han sido impuestos por presiones políticas; se han abordado sin una reflexión y un programa consensuado; se les ha transferido competencias a las administraciones provinciales, departa-

mentales, autonómicas o municipalidades, pero no se las ha dotado de recursos económicos para que las puedan abordar; no se ha definido un nítido marco de atribuciones para que no se dupliquen o tripliquen las mismas sin que se difuminen las responsabilidades; o, simplemente, no se debe este movimiento descentralizador a que: “son pocos los puestos políticos-administrativos de relevancia y demasiados los candidatos”, el proyecto es coherente dentro de una línea de aproximación al ciudadano. Más administraciones y empleados deben servir para reducir los trámites y facilitar las gestiones; no para complicar aún más cualquier iniciativa: la entidad administrativa debe nacer para cubrir una necesidad; no hay que crear una necesidad para justificar la institución.

2. De forma general hay que hacer mención a un hecho de todos conocido, y estudiado por la organización Transparency International,⁵ como es la corrupción. En un último documento, elaborado y publicado se analiza la situación asignándole a cada país un índice que puntúa la corrupción estimada entre un valor de diez, cuando es mínima, y cero, en el caso de que sea máxima. El resultado es francamente desalentador para los países en vías de desarrollo pues cinco de cada diez de éstos no alcanzan un 3 sobre 10; académicamente hablando: “muy deficientes”. Obviamente esta situación complica desmesuradamente cualquier iniciativa a tomar, repercute en su prestigio y en el nivel de credibilidad y crédito que goce en el extranjero —lugar a donde debe recurrir para conseguir financiación externa—. Admitiendo que la corrupción puede estar presente en casi todos los niveles, la existencia de un catastro fiable favorecerá la transparencia en la medida en que no será posible defraudar en el impuesto territorial que se establezca; se reducirán los trámites y los costes en los procesos de formalización y transferencia de la propiedad; se garantizará la misma sobre documentos fiables; se podrán gestionar programas sociales con mayores garantías; se recuperaran las plusvalías que se generen a los actos administrativos; y se dispondrá de una base de datos única, universal y verídica con la que contrastar cualquier actuación de los ciudadanos y de la administraciones.
3. El catastro no es algo nuevo en prácticamente ningún lugar y, aunque deficiente e incompleta, existirá documentación antigua elaborada por alguna-s institución-es nacional o municipal-es. Quien custodia la información puede aprovecharse de la misma y justificar parte de su existencia y del personal adscrito sobre la base de su elaboración, gestión y conservación. La problemática se acrecienta cuando no es un único organismo el que realiza estas actividades, sino que son varios y es necesaria una correcta coordinación; coordinación que la realidad se encarga de poner de manifiesto sus dificultades, aunque esté perfectamente regulada, cada institución tiene sus objetivos, sus prioridades y sus intereses. Por

⁵ <<http://www.transparency.org>>.

lo tanto, la institución catastral ha de tener un papel de coordinación y estandarización de los procesos, que cada institución generadora de catastro desarrolle su actividad conforme a sus criterios y planes, pero que el producto generado, el dato, sea fiable, accesible y estandarizado para ir construyendo, poco a poco, la realidad territorial nacional, tal y como si fuese un *puzle*, en el que cada pieza sea un predio que conforma un catastro único, pues el territorio lo es.

4. Ante la sensación de desamparo que puede ofrecer la administración responsable, y la imperiosa necesidad de recaudación en muchas entidades locales, no es extraño que las municipalidades (o incluso distritos dentro de una ciudad), aborden la confección de un catastro urbano incentivado por “expertos locales” que aportan ideas —más o menos contrastadas—, pero que en la práctica suelen tener buenas intenciones pero escasa experiencia. El resultado, aunque supuestamente válido momentáneamente, no cumple los niveles de universalidad ni integración que deben perseguirse en cualquier iniciativa de este tipo, y los costes suelen incrementarse desproporcionadamente a medida que se desarrollan los trabajos, con la creciente posibilidad de suspenderlos en el momento en que se acaben los recursos económicos destinados a ese fin, cambien el signo político la municipalidad o se compruebe que los resultados no son tan espectaculares como se preveían. Esta reflexión no debe entenderse como una oposición a la iniciativa privada ni al trabajo empresarial, muy al contrario, hay que incentivarla y apoyarla en todos los foros; debe entenderse como una crítica a modelos catastrales “personales” desarrollados de acuerdo con los criterios, intereses o capacidades técnicas y humanas de quien los propone. Los catastros elaborados no podrán ser integrados en un nivel de información superior, y la modernización de los mismos no es una mera informatización de los datos; es algo más: un proceso enfocado al uso pluridisciplinar para alcanzar los objetivos propuestos de forma efectiva y eficiente.

Conclusiones

La existencia de instituciones relacionadas con la agricultura, la propiedad, el urbanismo, la tributación inmobiliaria y la gestión del territorio, etc., en ocasiones plenamente consolidadas y operativas, no debe desaprovecharse. Lo recomendable es establecer o fortalecer la interconexión, apoyada en una estrategia efectiva, entre todas ellas y una única institución catastral que las coordine (no que las absorba o suplante), a la que se pueda exigir responsabilidades sobre la base de procedimientos reglados.

El catastro de hoy día ha de ser percibido como una “infraestructura de información territorial”. De la misma manera que las infraestructuras clásicas —carreteras, ferrocarriles, redes eléctricas, etc.— resultan básicas para la comunicación y el desarrollo de las actividades humanas, es imprescindible que las sociedades moder-

nas desarrollen sistemas de información territorial sobre tecnologías informáticas y telemáticas, comunicados entre sí, que permitan, gracias al conocimiento del territorio, la adopción de decisiones, contribuyendo de manera eficaz al desarrollo de la actividad humana, la economía y la protección del medio ambiente.

La institución catastral debe integrarse, ser el catalizador de modernización de la administración tributaria, geomática y jurídica para el uso múltiple de la información por las diferentes administraciones, particulares y empresas. Pero esta modernización implica un cambio que, conforme se ha indicado, exige un apoyo gubernamental decidido, una línea de actuación definida, un equipo pluridisciplinar cualificado y unos plazos de investigación, desarrollo y generalización perfectamente establecidos. Ciertamente es que casi cualquier iniciativa que se adopte con este planteamiento tendrá éxito pero, en este caso, es especialmente necesario tener presente las consideraciones expuestas pues se tardarán muchos años en elaborar los documentos gráficos y literales necesarios; requerirá cuantiosos recursos económicos a lo largo de varios ejercicios presupuestarios; habrá que vencer numerosas reticencias de aquellos que se han instalado en una situación cómoda que les permite enriquecerse con los trámites administrativos para la legalización de la propiedad, gestión de impuestos, etc.; superar las reticencias de instituciones que pueden considerar mermadas sus atribuciones en materia de cartografía, titularidad pública, y formar un equipo humano capaz de abordar los trabajos. Sin duda alguna estos esfuerzos se verán recompensados con una documentación que la sociedad pueda aprovechar si ella misma colabora en su conservación y actualización. Simultáneamente, no debe olvidarse el aspecto fiscal del catastro, causa de muchas iniciativas abortadas, y por eso es imprescindible fijar un equilibrio entre los deseos —generalizados— de obtener una máxima recaudación a través de una fuerte carga impositiva sobre el inmueble, y la obligación de favorecer la transparencia y la veracidad de los datos que se registren en una primera instancia, y los que se aporten en un proceso de conservación ulterior. Hay que intentar no obsecarse en la captación de recursos procedentes de la tributación inmobiliaria directa, y liberar la imaginación hacia la identificación de productos y servicios útiles para la sociedad que puedan comercializarse; independientemente del enorme valor añadido que aporta conocer el territorio para tomar decisiones objetivas pudiendo, en muchas ocasiones, calibrar los efectos antes de ejecutarlas. Sin duda alguna la puesta en marcha de un catastro multipropósito sostenible es una de las mejores decisiones que puede adoptar un responsable político.

Se ha dejado para concluir este documento la exposición que realizó don Zenón de Somodevilla, Marqués de la Ensenada (promotor del conocido como “Catastro de Ensenada”) al Rey, en 1743: “He dejado para lo último lo que en mi sentir debe ser primero que todo, y es catastrar las Castillas... /... La empresa del Catastro ni es breve ni es fácil, pero no es imposible ni costosa para los pueblos...” .

Bibliografía

- Alcazar, M. (2007). *Catastro, propiedad y prosperidad*, Ed. Universidad de Jaén, España.
- Alcazar, M. (2011). *Catastro inmobiliario*. Editorial Caja Rural, Jaén, España.
- Alcazar, M. (2012). *Manual de valoración inmobiliaria*. Ed. Delta Publicaciones. Madrid, España.
- De Soto, H. (2001). *El misterio del capital*, Ed. Península, Barcelona, España.
- Dirección General del Catastro de España. *Revista Catastro*. Madrid, España, <<http://www.catastro.meh.es/esp/publicaciones.asp>>.
- Ponencias del “Master en Catastro, Urbanismo y Valoraciones” y del “Master Internacional en Catastro Multipropósito y Avalúos”, 2014, Universidad de Jaén, España, <www.mastercv.org>.

Levantamento de limites de imóvel rural a partir de fotografias obtidas por VANT, apoiadas por pontos GNSS

Gilda Maria Dias*
Jeanine Cassini Peter*
Marcelo Pereira*
Ronaldo dos Santos da Rocha*
Mário Reiss*

Recebido el 27 de abril de 2015; aceito el 26 de junho de 2015

Resumen

Con la popularización de los VANT (Vehículos Aéreos No Tripulados), la aerofotogrametría para el mapeamiento de pequeñas áreas, está convirtiendo una alternativa cada vez más viable, proporcionando resolución espacial adecuada para su finalidad. En este trabajo, la georeferenciación de inmuebles rurales, basado en el recubrimiento aerofotogramétrico con VANT, fue desarrollado en un área de aproximadamente 80ha. Esta propuesta de levantamiento indirecto de divisas naturales en regiones de difícil acceso, es presentada como alternativa al levantamiento geodésico con receptores GNSS, y así atender los requisitos de precisión posicional establecidos en el *Manual Técnico de Posicionamiento del INCRA* (Instituto Nacional de Colonizaciones y Reforma Agraria). En la etapa de ejecución, se realizaron levantamientos con el uso de receptores GNSS y levantamiento fotogramétrico con un VANT de pequeño porte para el mapeamiento planimétrico. Como resultado del proceso fotogramétrico, fue generada una ortofoto y una carta planimétrica resultante de la vectorización de características sobre ortofoto. Para el control de calidad, fueron comparadas coordenadas de puntos en la ortofoto y en la carta con coordenadas de puntos homólogos en el terreno, llegando a una exactitud de 0.279m para 90% de las coordenadas extraídas

* Departamento de Geodésia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Av. Bento Gonçalves, 9500, CEP 91501-970, Porto Alegre – RS, Brasil, e-mail: gildinha.dias@gmail.com, jepeter@gmail.com, marcelo.cartografo@gmail.com, ronaldo.rocha@ufrgs.br, mario.reiss@ufrgs.br

de la ortofoto y 0.281m para las coordenadas resultantes del mapa. Estos valores son compatibles con la Norma Técnica del INCRA, que exige precisión de 3.0m para límites naturales y de 7.5m para límites inaccesibles. El control de calidad fue basado en el padrón de exactitud cartográfica para cartografía digital (PEC-PCD) y a través de este control se verificó que el producto fuera catalogado como Clase A para la escala 1:1,000.

Palabras clave: *georeferenciación, VANT, registro rural.*

Abstract

With the popularity of UAVs (Unmanned Aerial Vehicles), the aerial photography method for mapping small areas has become an increasingly viable alternative, providing spatial resolution adequate to its end. In this study, the georeferencing of rural properties, based on aerial photographs covering using UAV, it was developed in an area of approximately 80 ha. Was developed as a proposition of indirect measurement of natural boundaries in areas of difficult access and as an alternative to geodetic survey with GNSS receivers, in order to comply with accuracy requirements set out in *INCRA's Technical Manual of Positioning*. In the implementation stage, data collection was made with use of GNSS receivers and photogrammetric survey with a small UAV for planimetric mapping. As a result of the photogrammetric process, an orthophoto and a planimetric map resulting of the vectoring of the orthophoto were generated. For quality control, a comparison was made with coordinates of the points in the orthophoto and the map with the coordinates of homologous points on the ground, coming to an accuracy of 0.279 m for 90% of the extracted coordinates of the orthophoto and 0.281 m for the resulting coordinates of the map. These values are compatible to INCRA's Technical Standard, which requires precision of 3.0 m for natural limits and 7.5 m for inaccessible limits. Quality control was based on Cartographic Accuracy Standard for Digital Cartography (PEC-PCD) and, through statistical test, it was found that the product can be classified in Class A in scale 1:1,000.

Key words: *geocoding, UAV, rural registration.*

Resumo

Com a popularização dos VANT (Veículos Aéreos Não Tripulados), a aerofotogrametria para mapeamento de pequenas áreas tem se tornado uma alternativa cada vez mais viável, proporcionando resolução espacial adequada ao seu fim. Neste trabalho, o georreferenciamento de imóveis rurais, baseado no recobrimento aerofotogramétrico com VANT, foi desenvolvido em uma área de aproximadamente 80 ha. Esta proposta de levantamento indireto de divisas naturais em regiões de difícil acesso é apresentada como alternativa ao levantamento

geodésico com receptores GNSS, de forma a atender requisitos de precisão posicional estabelecidos no *Manual Técnico de Posicionamento do INCRA* —Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. Na etapa de execução, foram realizados levantamentos com uso de receptores GNSS e levantamento fotogramétrico com um VANT de pequeno porte para o mapeamento planimétrico. Como resultado do processo fotogramétrico, foi gerada uma ortofoto e uma carta planimétrica resultante da vetorização de feições sobre a ortofoto. Para o controle de qualidade, foram comparadas coordenadas de pontos na ortofoto e na carta com coordenadas de pontos homólogos no terreno, chegando-se a uma acurácia de 0,279 m para 90% das coordenadas extraídas da ortofoto e 0,281 m para as coordenadas resultantes da carta. Esses valores são compatíveis com a Norma Técnica do INCRA, que exige precisão de 3,0 m para limites naturais e de 7,5 m para limites inacessíveis. O controle de qualidade baseou-se no Padrão de Exatidão Cartográfica para a Cartografia Digital (PEC-PCD) e, através de teste estatístico, verificou-se que o produto pode ser classificado como Classe A para a escala 1:1.000.

Palavras chave: *georreferenciamento, VANT, cadastro rural.*

Introdução

Grande parte do território brasileiro é ocupada por propriedades rurais. Em 2000, 81,25% dos brasileiros que residiam em áreas urbanas ocupavam apenas 1,1% do território (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística —IBGE, 2014). Grande parte das propriedades rurais não está mapeada ou regularizada em um sistema efetivo de controle territorial. Leis e decretos foram estabelecidos nos últimos anos na tentativa de organizar um sistema eficaz para constituir um apoio a ações administrativas, públicas e de planejamento.

A promulgação da Lei 10.267, de 28 de agosto de 2001, conhecida como a Lei do Georreferenciamento, regulamentou a criação de um sistema de cadastro para regularizar a situação dos imóveis rurais no país. O Cadastro Nacional de Imóveis Rurais (CNIR) é o novo sistema de cadastro de terras que cria uma base de dados única e comum entre o Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), os Registros de Imóveis, a Receita Federal e outras instituições. Os limites e confrontações do imóvel rural ou urbano de uso agrícola passaram a ser caracterizados pelas coordenadas dos vértices que compõem o perímetro, georreferenciadas ao Sistema Geodésico Brasileiro. Antes da Lei, não havia padrão para o registro da geometria e características do imóvel.

Sucessivos atos normativos foram homologados desde então para orientar os serviços de georreferenciamento de imóveis rurais. Técnicas de sensoriamento remoto são permitidas com restrições por estas normas. As precisões para definição dos limites de propriedades foram definidas pela Norma Técnica de Georreferenciamento de Imóveis Rurais. As precisões requeridas para limites

inacessíveis oferecem maior tolerância do que para limites secos. Prazos para regularização de todos os imóveis rurais do país também foram estabelecidos. Com o objetivo de realizar o georreferenciamento de uma área rural, o trabalho foi realizado observando as precisões estabelecidas e aplicabilidade da fotogrametria aérea com uso de Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT). O desenvolvimento do trabalho é composto de levantamentos geodésicos e fotogramétricos em uma área de estudo. A análise da qualidade geométrica dos dados obtidos também se insere nos objetivos propostos para análise posicional planimétrica.

Fundamentação teórica

Aspectos legais e normativos

Algumas leis e normas vigoraram no país com o objetivo de regulamentar o cadastro rural, iniciando-se pela Lei nº 4.504, de 30 de novembro de 1964, cujos objetivos cercavam o aspecto fiscal, análises microeconômicas, planos assistenciais, colonização e regularização de posseiros. A promulgação da Lei nº 10.267 e suas regulamentações alteraram leis anteriores e criou um novo cadastro de imóveis rurais, denominado CNIR (Cadastro Nacional de Imóveis Rurais). Este cadastro constitui-se em uma base comum de dados a ser gerenciada pelo INCRA e a Secretaria da Receita Federal a ser produzida e compartilhada por instituições públicas federais e estaduais produtoras e usuárias de informações sobre o meio rural brasileiro. A descrição dos imóveis passou a ser caracterizada pelas coordenadas dos vértices que compõem o perímetro, georreferenciadas ao Sistema Geodésico Brasileiro, com precisão posicional a ser fixada pelo INCRA. O memorial descritivo deve ser assinado por um profissional habilitado, cabendo ao referido Instituto certificar que as poligonais dos imóveis não se sobreponham (Brasil, 2001).

As atuais normativas para execução dos serviços de agrimensura para fins de certificação, foram homologadas através da Portaria INCRA nº 486, de 02 de setembro de 2013 e compreendem a *Norma Técnica para Georreferenciamento de Imóveis Rurais (NTGIR)*, 3a. edição, o *Manual Técnico de Posicionamento* e o *Manual Técnico de Limites e Confrontações*. A NTGIR estabelece valores de precisão posicional de 0,50 m, ou melhor, para limites artificiais, 3,00 m para limites naturais e 7,50 m para limites inacessíveis. O *Manual Técnico de Posicionamento* define que o levantamento dos vértices do imóvel pode ser realizado por métodos como posicionamento por GNSS e topografia convencional e restringe o uso de métodos de sensoriamento remoto para levantamento de vértices em divisas naturais ou inacessíveis. Estabelece também a utilização do Sistema Geodésico Local (SGL) para o cálculo de área (INCRA, 2013). O *Manual Técnico de Limites e Confrontações* orienta a identificação e descrição dos limites dos imóveis

e os casos de alteração de parcelas certificadas e determina a guarda e manutenção, pelo responsável, de todo o material que subsidiou o levantamento, para dirimir possíveis dúvidas ou divergências futuras quanto à localização de limites (INCRA, 2013).

Posicionamento por satélites artificiais

Neste trabalho utilizou-se o posicionamento por Global Navigation Satellite System (GNSS) em várias etapas, para georreferenciar as informações espaciais ao Sistema Geodésico Brasileiro (SGB). Foram utilizados os posicionamentos relativo estático e RTK (Real Time Kinematic). A precisão alcançada no uso do posicionamento relativo é influenciada por vários fatores, dentre eles o comprimento das linhas base e o tempo de rastreamento. Segundo Prado e Krueger (2003), para linhas de base com comprimento inferior a 1,5 km, o erro planimétrico será menor que 3 cm e para linhas de base, variando de 1,5 a 25 km, esse erro é de 3 a 7 cm.

O IBGE apresenta as precisões aproximadas do posicionamento relativo (Tabela 1), informando que são valores de referência. Outros fatores também interferem na qualidade dos rastreios, e também devem ser observados.

Tabela 1
Precisões aproximadas obtidas com o posicionamento relativo por GNSS

<i>Linha de Base</i>	<i>Tempo de Observação</i>	<i>Equipamento</i>	<i>Precisão</i>
00 – 05 km	05 – 10 min	L1 ou L1/L2	5 – 10 mm + 1 ppm
05 – 10 km	10 – 15 min	L1 ou L1/L2	5 – 10 mm + 1 ppm
10 – 20 km	10 – 30 min	L1 ou L1/L2	5 – 10 mm + 1 ppm
20 – 50 km	02 – 03 h	L1/L2	5 mm + 1 ppm
50 – 100 km	Mínimo 03 h	L1/L2	5 mm + 1 ppm
>100 km	Mínimo 04 h	L1/L2	5 mm + 1 ppm

Fonte: IBGE, 2008.

Qualidade cartográfica

A qualidade posicional de um documento cartográfico pode ser avaliada segundo dois critérios: precisão e acurácia. A primeira está vinculada a efeitos apenas aleatórios (à dispersão das observações), enquanto que acurácia vincula-se a erros aleatórios e sistemáticos. A acurácia posicional indica a qualidade da posição planialtimétrica de uma grandeza medida ou parâmetro estimado, quando comparada com uma grandeza de qualidade posicional superior. De acordo com

Merchant (1982, *apud* Oliveira, 2011), dados utilizados como referência posicional de documentos cartográficos devem ter uma acurácia pelo menos três vezes maior que a do produto analisado.

Conforme o Decreto nº 89.817, de 20 de junho de 1984, que estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional, a classificação de uma carta através de valores de Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) e o Erro Padrão (EP) para planimetria e altimetria é dada pela Tabela 2, onde Ec significa escala da carta e Eq, equidistância.

Tabela 2
Classificação da carta segundo o PEC, de 1984

Classe	Planimetria (*)		Altimetria(**)	
	PEC (mm)	EP (mm)	PEC (mm)	EP (mm)
A	0,5 x Ec	0,3 x Ec	1/2 x Eq	1/3 x Eq
B	0,8 x Ec	0,5 x Ec	3/5 x Eq	2/5 x Eq
C	1,0 x Ec	0,6 x Ec	3/4 x Eq	1/2 x Eq

Fonte: Brasil, 1984.

Tabela 3
Classificação da carta conforme proposto através do PEC-PCD

PEC-PCD	1:1.000		1:2.000		1:5.000		1:10.000	
	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)
A	0,28	0,17	0,56	0,34	1,40	0,85	2,80	1,70
B	0,50	0,30	1,00	0,60	2,50	1,50	5,00	3,00
C	0,80	0,50	1,60	1,00	4,00	2,50	8,00	5,00
D	1,00	0,60	2,00	1,20	5,00	3,00	10,00	6,00

Fonte: Adaptado de CONCAR-EB, 2011.

Segundo Rocha (2002), observa-se que o avanço da informática e os recursos tecnológicos utilizados na elaboração de uma carta resultaram em ganho de qualidade na aquisição das informações, no processamento, no gerenciamento de dados e na forma de representação. Assim, o chamado PEC Digital (PEC-PCD) é uma proposição da Comissão Nacional de Cartografia (CONCAR) em substituição ao PEC. Os valores propostos são apresentados na Tabela 3.

Análise da qualidade geométrica

Na análise da qualidade geométrica, são comparadas as coordenadas do ponto obtidas no mapa com as coordenadas homólogas levantadas em campo, obtidas por técnica de elevada precisão (Rocha, 2002). Na avaliação de mapas digitais, cujo parâmetro considerado é a exatidão cartográfica, é necessário definir o tamanho amostral, os tipos de amostras e os métodos de análise que validarão a qualidade. Numa ortofoto digital, o número populacional pode ser estimado em proporção a quantidade de informações mapeadas ou pela razão entre o tamanho da área mapeada e o tamanho do pixel no terreno. Conforme Rocha, “são exigidos vinte ou mais pontos teste requeridos para conduzir a uma significativa avaliação estatística da exatidão [...]”. Para o Padrão Nacional para Exatidão de Dados Espaciais (NSSDA) dos EUA, 20 pontos proporcionam um processamento ao nível de confiança de 95% e, em sendo menos que isso, não pode ser aplicado (Rocha, 2002).

Análise estatística de tendência e de precisão

Galo e Camargo (1994), baseados em Merchant (1982), apresentaram um método para complementar a legislação e analisar a consistência dos dados. O método consiste na análise estatística das discrepâncias entre as componentes E e N das coordenadas dos pontos de controle, através das análises de tendência e de precisão. A análise de tendência baseia-se no teste de hipótese, onde se verifica se a média das discrepâncias ($\bar{\Delta X}$) é estatisticamente igual ou diferente de zero com base na distribuição *t* de Student (Lima *et al.*, 2014). O valor da estatística amostral *t* é calculado pela equação (1):

$$t_x = \left(\frac{\bar{\Delta X}}{S_{\Delta X}} \right) * \sqrt{n} \quad (1)$$

Onde $S_{\Delta X}$ é o desvio-padrão das discrepâncias.

De acordo com Lima *et al.* (2014):

O intervalo de confiança é definido por $|t_x| < t_{\alpha/2, n-1}$ e, uma vez que a estatística amostral *t* não satisfaz essa desigualdade, a ortofoto não pode ser considerada como livre de tendências significativas na coordenada testada para um determinado nível de significância (α).

A análise de precisão é feita comparando-se o desvio-padrão das discrepâncias com o EP especificado para uma determinada classe. Verifica-se, através de um teste de hipótese, se a variância das discrepâncias ($S^2_{\Delta X}$) é estatisticamente igual ou maior que a variância especificada, de acordo com o EP (σ_x), baseando-se na distribuição Qui-quadrado.

O valor da estatística amostral χ^2 é calculado pela equação (2).

$$\chi_x^2 = (n - 1) \left(\frac{S_{\Delta X}^2}{\sigma_X^2} \right) \quad (2)$$

Ainda conforme Lima *et al.* (2014), “levando-se em conta que o *EP* é fixado para a resultante, pois o desvio-padrão é o mesmo para as coordenadas E e N, a variância para uma determinada classe poder ser calculada pela equação” (3).

$$\sigma_X^2 = \left(\frac{EP^2}{2} \right) \quad (3)$$

O intervalo de confiança é definido por $\chi_x^2 \leq \chi_{\alpha, n-1}^2$. Se a estatística amostral *Qui-quadrado* não satisfizer essa desigualdade, o produto cartográfico não atende a precisão pré-estabelecida (Lima *et al.*, 2014).

Metodologia

Área de estudo

Localiza-se no município de Eldorado do Sul, cuja posição geográfica é 30° 05' 27'' S e 51° 40' 18'' W, no Estado do Rio Grande do Sul (Figura 1). A área de estudo é parte do Assentamento São Pedro, do INCRA, e possui aproximadamente 87 ha. O Assentamento teve seu início em 1986 e sua demarcação topográfica foi realizada, primeiramente, em 1995, por topografia convencional. Em 2011, o Instituto fez um novo levantamento usando receptores GNSS com o propósito de atender aos requisitos de precisão posicional estabelecidos na Norma Técnica do INCRA.

Levantamentos geodésicos

A aquisição dos dados foi realizada em três etapas. Na primeira, levantamento geodésico com receptores GNSS, foram levantados marcos da rede geodésica local e o levantamento das coordenadas de feições na área selecionada. Na segunda etapa, foram feitas a pré-sinalização dos pontos de apoio ao levantamento aerofotogramétrico com a aquisição de coordenadas nos centros geométricos dos alvos, por GNSS, seguida da realização do voo. A terceira etapa foi realizada para aquisição de pontos de checagem necessários ao controle da qualidade geométrica dos produtos gerados. A Figura 3 apresenta a pré-sinalização dos pontos de apoio ao levantamento aerofotogramétrico.

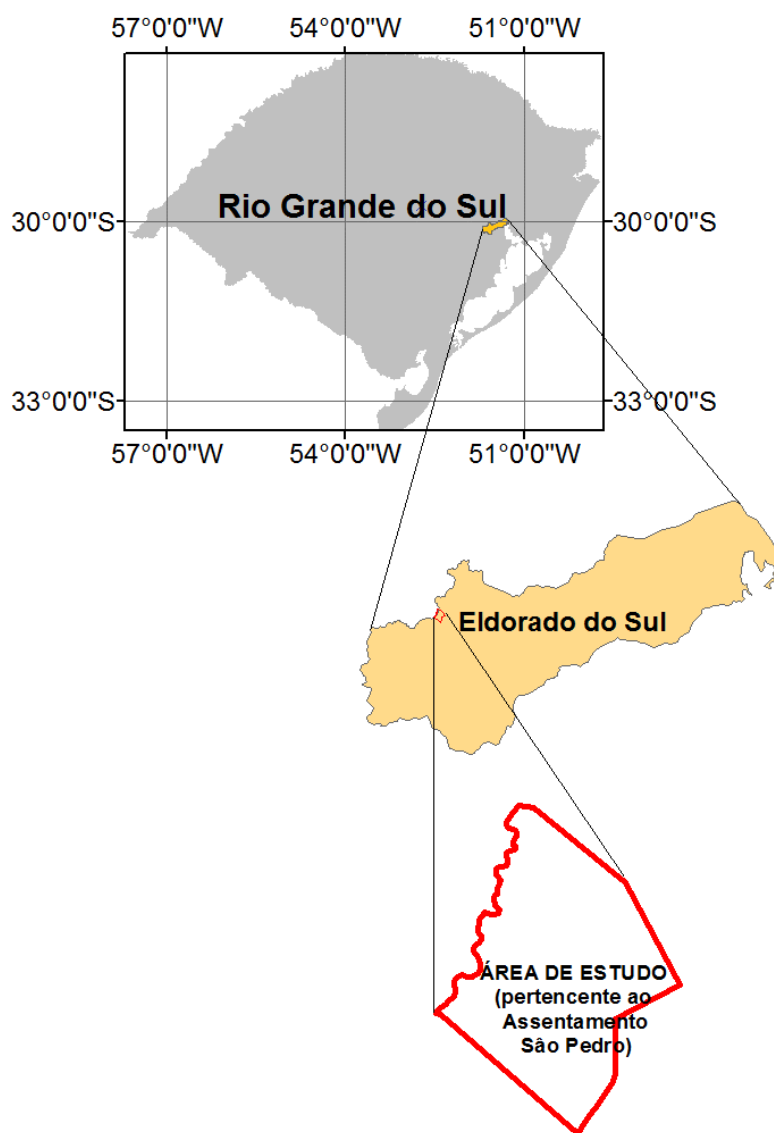


Figura 1. Localização da área de estudo (em vermelho), no município de Eldorado do Sul (em amarelo), no Estado do Rio Grande do Sul (em cinza).

Foram ocupados dois marcos da estrutura geodésica existente em área vizinha à região de estudo com os receptores configurados no método de posicionamento relativo estático. As coordenadas obtidas foram utilizadas como referência para o processamento dos demais levantamentos geodésicos, como do ponto P01, usado



Figura 2. Levantamento de pontos de apoio ao levantamento aerofotogramétrico.

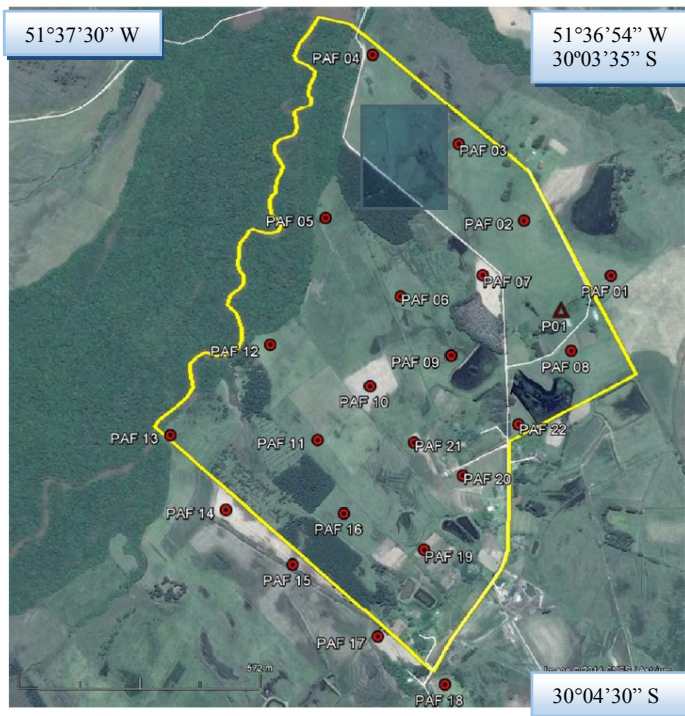


Figura 3. Distribuição de pontos de apoio fotogramétrico.

como base para o levantamento dos pontos de apoio fotogramétrico, das feições no interior da propriedade e dos pontos de checagem para o controle de qualidade geométrica da ortofoto e da carta planimétrica, todos realizados no método de posicionamento relativo cinemático em tempo real (RTK).

Escolheu-se levantar pontos ao longo da mata ciliar, limite natural, que acompanha a margem direita do Arroio. Foram levantados, ainda, trechos de uma estrada vicinal e divisas por cerca de uma parcela do loteamento.

O referencial geodésico adotado foi o SIRGAS 2000. Utilizou-se o *software* TopconTools para o processamento e ajustamento das coordenadas dos marcos M08 e M09 a partir das coordenadas das estações POAL e SMAR da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC). O ajustamento foi realizado de forma simultânea, considerando os três períodos de rastreamento realizados. Para os levantamentos por método RTK, realizou-se um refinamento em escritório para ajustar os valores a partir de dados de estações de monitoramento contínuo.

Levantamento aerofotogramétrico

O recobrimento aerofotogramétrico abrangeu uma área aproximada de 227 ha, considerando uma margem em torno da Área de Estudo. Tendo em vista o princípio de propagação de erros à priori, característico dos processos cartográficos, trabalhou-se com uma expectativa de que a tolerância inicial fosse três vezes melhor que o erro do produto final (Rocha, 2002). Dessa forma, foi determinado que o pixel da fotografia, na escala do terreno deveria ser de 10 cm, pois poder-se-ia classificar o produto na escala de referência de 1/1.000 e ainda ficaria acima da precisão requerida nas normativas do INCRA.

Pontos de apoio aerofotogramétrico

Os pontos de apoio aerofotogramétrico têm a finalidade de fornecer as coordenadas, necessárias no processo de aerotriangulação. Esses pontos foram materializados no terreno por alvos identificáveis nas fotografias (Figura 2). Como se trata de um voo apoiado, pelas especificações do equipamento, não é necessário nenhum ponto de apoio fotogramétrico. O sistema de navegação GNSS acoplado é capaz de determinar as coordenadas aproximadas do centro perspectivo da fotografia, o que facilita o processo de aerotriangulação. Contudo, para fins deste trabalho e maior controle da rigidez geométrica, definiu-se que seriam usados 22 pontos de apoio no terreno. Os alvos usados são quadrados pretos de 60 x 60 cm, contendo um círculo branco de 30 cm de diâmetro no centro. Os dados do centro geométrico de cada alvo foram obtidos pelo método do Posicionamento Relativo Cinemático, análogo ao levantamento das feições, e configurando para coleta de dez épocas em cada ponto. Dos 22 pontos de apoio planejados, foram levantados apenas 21, gravados sob a sigla PAF e numerados de 01 a 21, pois um dos alvos não foi localizado nas fotografias. A Figura 3 apresenta a distribuição dos pontos de apoio fotogramétricos na região de estudo.

Execução

Foram executados dois voos no sentido N-S e outros dois no sentido L-O para garantir um recobrimento sem lacunas. Foi utilizado o VANT modelo Sensefly Swinglet CAM. O veículo tem peso inferior a 500g e possui apenas 80 cm de envergadura. Possui acoplados sistema GPS, sensor de atitude (sistema inercial), transmissor de rádio, bateria para 30 minutos de voo e câmara fotográfica de 12 MP. A câmara possui distância focal nominal de 4,3 mm, quadro focal de 4000 x 3000 pixel e tamanho do pixel de 1,54 micrômetros e é acompanhado de *software* específico para programação do voo. O equipamento suporta ventos máximos de 6 m/s, ou seja, 20 km/h.

Fototriangulação

As imagens registradas e os dados de coordenadas inerciais dos respectivos voos foram armazenados e processados em um programa específico, que associa cada fotografia com seu respectivo parâmetro de orientação exterior oriundo do sistema de navegação e do sistema inercial acoplados ao VANT. Esses parâmetros são aproximados. O processamento das imagens obtidas pelo VANT é baseado na fototriangulação. O PhotoScan foi utilizado para a construção de ortofotocartas e modelos digitais de elevação georreferenciados e de alta resolução.

Controle de qualidade geométrica

A qualidade do aerolevante envolveu a avaliação da exatidão posicional da ortofoto e da carta planimétrica gerada pela vetorização de feições sobre a ortofoto. Comparação-se as coordenadas extraídas no produto gerado com as coordenadas homólogas levantadas no terreno. Para a coleta do conjunto de pontos para o teste, seguiu-se o critério apresentado por Rocha (2002), segundo o qual, a qualidade das coordenadas dos pontos de controle deve ser três vezes melhor que a exatidão cartográfica esperada.

Qualidade da ortofoto

A avaliação da qualidade geométrica da ortofoto serve para verificar se o produto atende aos padrões de qualidade exigidos para os documentos cartográficos, segundo critérios de exatidão pré-estabelecidos para a Cartografia Nacional. A qualidade da ortoimagem (também conhecida por ortofoto) foi avaliada mediante a verificação da exatidão posicional planimétrica, comparando-se as coordenadas de pontos extraídos de feições na ortoimagem com as coordenadas dos pontos homólogos no terreno.

De acordo com Rocha (2002), não sendo possível testar todos os pontos existentes no mapa, considera-se uma amostra que seja representativa dessa

população, dentro de uma margem de aceitação. Para esta avaliação foi considerado um número mínimo de pontos, necessários para uma análise estatística para que fosse possível classificar o produto com um padrão de exatidão. Foram coletadas coordenadas de pontos bem definidos na imagem e de fácil localização no terreno. A amostra constituiu-se de 12 pontos que foram distribuídos na imagem de forma homogênea, ou seja, levando-se em conta a distribuição em quadrantes.

Qualidade da Carta Planimétrica

A qualidade geométrica da carta foi avaliada de forma análoga à da qualidade da ortoimagem, porém, para o cálculo do tamanho da amostra foi aplicada uma fórmula descrita por Pereira e adaptada por Rocha (2002) para uso na cartografia (Equação (4)).

$$n = \frac{Z^2 \gamma^2 N}{(N-1) \varepsilon_r^2 + Z^2 \gamma^2} \quad (4)$$

Onde:

n = Tamanho da amostra
 Z = Intervalo de confiança
 $\gamma = \sigma / \mu$
 σ = Desvio padrão amostral
 μ = Média Amostral
 ε_r = Erro amostral relativo
 N = Tamanho da população
 ε = Erro amostral
 $\varepsilon_r = \varepsilon / \mu$

Para um intervalo de confiança de 90% da tabela de distribuição normal, tem-se que $Z = 1,6994$. Para o cálculo de γ foi considerado valor o desvio-padrão de três vezes menor que o valor da média. O valor esperado para a média amostral foi calculado pela raiz quadrada da soma dos quadrados dos erros, considerando as estimativas de erros envolvidos nas etapas de posicionamento por GNSS (3 cm) e o tamanho do pixel no terreno (10 cm), obtendo-se $\mu = 10,44$ cm.

Para o cálculo do tamanho da população, levou-se em consideração o tamanho da área de recobrimento aerofotogramétrico, estimado em 200 ha. Transformando-se esse valor em m^2 e dividindo pelo valor quadrado do pixel no terreno (10^2), obteve-se o valor de $N = 200.000.000$. O valor do erro amostral relativo (ε_r) considerado foi de 12%, ou 0,12. Assim, obteve-se o tamanho da amostra de $n = 21$ pontos.

Em campo foram, inicialmente, coletadas coordenadas de 21 pontos. Analisando as diferenças entre as coordenadas Este e Norte, obtidas na carta-imagem e na vetorização, observou-se visualmente que dois pontos estariam contaminando as observações e a retirada destes valores das diferenças em N poderia melhorar a qualidade da vetorização. Optou-se, então, pela remoção desses pontos e ir a campo coletar mais quatro, já considerando a possibilidade de algum conter erro grosseiro e precisar ser excluído. Sendo assim, a amostra para o controle de qualidade do mapa gerado, resultou em 23 pontos.

Resultados e análises

Rede Geodésica Local

As coordenadas e respectivos desvios-padrões obtidos para os marcos M08 e M09 e para o ponto P01 são apresentados na Tabela 4. Salienta-se que POAL e SMAR são as estações de referência da RBMC, com coordenadas conhecidas, usadas para a correção diferencial das coordenadas dos marcos M08 e M09.

Verifica-se que as precisões das coordenadas dos marcos M08 e M09 enquadram-se nos padrões de precisão recomendados para o método de posicionamento relativo estático, conforme Tabela 1. Para o ponto P01, usado como base no levantamento RTK, o valor da precisão planimétrica alcançado foi de 6 mm. O recomendado para linhas de base entre 5 e 10 km é de 5 à 10 mm +/- 1 ppm, portanto, a precisão das coordenadas apresenta valores melhores que os parâmetros recomendados.

Tabela 4
Resumo das coordenadas e precisões dos marcos e do ponto de apoio geodésico

Nome	Coordenadas UTM			Desvios padrões			
	Norte (m)	Este (m)	Altitude (m)	N (m)	E (m)	Hz (m)	h (m)
POAL	6673004.053	488457.545	76.750	0.001	0.002	0.002	0.002
SMAR	6709269.527	237205.247	113.110	0.001	0.001	0.001	0.001
M08	6670229.928	434741.180	53.899	0.006	0.006	0.009	0.014
M09	6670607.177	434886.626	55.563	0.006	0.007	0.009	0.014
P01	6673567.621	440718.147	28.176	0.004	0.005	0.006	0.011

Fonte: Elaboração própria.

Pontos de apoio aerofotogramétrico

As coordenadas desses pontos, bem como as precisões obtidas estão apresentadas na Tabela 5. Observa-se que o maior valor do desvio-padrão planimétrico foi de 0,012 m, referente ao PAF_21, portanto, a qualidade dos pontos de apoio apresentou resultados melhores que a tolerância estabelecida, que é de 0,3 m para levantamentos por GNSS.

Tabela 5
Coordenadas e precisões dos pontos de apoio fotogramétrico

<i>me</i>	<i>Norte (m)</i>	<i>Este (m)</i>	<i>Altitude (m)</i>	<i>n (m)</i>	<i>StdDev e (m)</i>	<i>StdDev Hz (m)</i>	<i>StdDev u (m)</i>
P01	6673567.621	440718.147	28.176	0.004	0.005	0.006	0.011
PAF_01	6673651.337	440836.585	24.963	0.006	0.007	0.010	0.015
PAF_02	6673778.705	440631.112	26.344	0.006	0.007	0.009	0.015
PAF_03	6673958.331	440475.280	19.458	0.006	0.007	0.010	0.015
PAF_04	6674168.577	440269.992	17.524	0.005	0.006	0.008	0.013
PAF_05	6673783.585	440163.343	18.248	0.005	0.005	0.007	0.012
PAF_06	6673600.221	440339.576	18.819	0.005	0.005	0.007	0.012
PAF_07	6673651.041	440533.869	24.277	0.005	0.005	0.007	0.012
PAF_08	6673472.330	440743.895	26.940	0.005	0.006	0.007	0.012
PAF_09	6673460.293	440460.215	20.121	0.005	0.005	0.007	0.013
PAF_10	6673387.320	440268.805	20.032	0.006	0.007	0.009	0.018
PAF_11	6673258.420	440147.645	19.981	0.007	0.008	0.011	0.022
PAF_12	6673483.391	440033.857	18.119	0.005	0.006	0.008	0.015
PAF_13	6673268.129	439798.768	18.245	0.006	0.006	0.009	0.015
PAF_14	6673093.831	439932.103	20.738	0.006	0.006	0.008	0.014
PAF_15	6672966.701	440090.375	20.889	0.005	0.006	0.008	0.014
PAF_16	6673087.047	440210.718	20.673	0.006	0.006	0.008	0.014
PAF_17	6672798.140	440291.074	23.507	0.005	0.006	0.008	0.019
PAF_18	6672690.670	440450.452	27.363	0.005	0.006	0.008	0.014
PAF_19	6673003.399	440399.093	24.314	0.006	0.006	0.008	0.014
PAF_20	6673178.060	440490.309	27.269	0.005	0.006	0.008	0.014
PAF_21	6673253.995	440373.845	22.324	0.010	0.008	0.012	0.020
PAF_22	6673298.260	440620.428	25.490	0.006	0.006	0.008	0.013

Fonte: Elaboração própria.

Controle de qualidade geométrica

Avaliou-se a qualidade geométrica da carta planimétrica —produto final— e optou-se também por analisar a qualidade geométrica da ortofoto. Foram levantadas coordenadas de feições bem definidas na carta e na ortofoto e comparadas com as coordenadas das feições homólogas no terreno, levantadas por GNSS. Utilizou-se o método descrito por Galo e Camargo (1994), baseados em Merchant (1982), para complementar a legislação e analisar a consistência dos dados.

Qualidade geométrica da ortofoto

Para o controle de qualidade geométrica da ortofoto, foram considerados 12 pontos. O resultado das discrepâncias entre as coordenadas dos pontos checagem, extraídos do ortofoto e obtidos por GNSS, encontra-se na Tabela 6. Observa-se, que 90% dos pontos bem definidos, quando comparados, apresentam erro RMS (erro médio quadrático) inferior a 0,279 m. A Figura 4 apresenta a ortofotomosaico desenvolvida.

Tabela 6
Diferenças entre coordenadas dos pontos de checagem da ortofotomosaico e coordenadas GNSS

Pto	Coordenadas ortofotomosaico		Coordenadas GNSS		ΔE (m)	ΔN (m)	RMS (m)
	E (m)	N (m)	E (m)	N (m)			
1	440593,263	6673678,88	440593,128	6673678,903	-0,134514	0,02377	0,13659806
2	440428,479	6674047,37	440428,241	6674047,212	-0,238325	-0,15921	0,28661233
3	440762,621	6673472,67	440762,523	6673472,730	-0,097627	0,06265	0,11600023
4	440643,942	6673885,71	440643,715	6673885,655	-0,226535	-0,05267	0,23257737
5	440175,745	6673539,11	440175,713	6673539,101	-0,031515	-0,00645	0,03216827
6	439967,895	6673378,93	439968,174	6673378,948	0,279071	0,01698	0,27958709
7	440154,608	6673224,11	440154,608	6673224,144	-0,000399	0,03312	0,0331224
8	440224,06	6673079,99	440224,047	6673079,874	-0,012899	-0,11143	0,1121741
9	440359,762	6673572,14	440359,737	6673572,148	-0,025316	0,00347	0,02555271
10	440396,752	6672744,60	440396,598	6672744,671	-0,154022	0,07335	0,17059601
11	440568,838	6673121,71	440568,755	6673121,677	-0,082719	-0,02859	0,0875204
12	440211,250	6673960,66	440210,982	6673960,646	-0,267718	-0,01063	0,26792895
Média RMS							0,14836983
Desvio padrão RMS							0,0982928
Qualidade pela soma de três desvios padrões e a média dos erros médios quadráticos							0,44324823

Fonte: Elaboração própria.

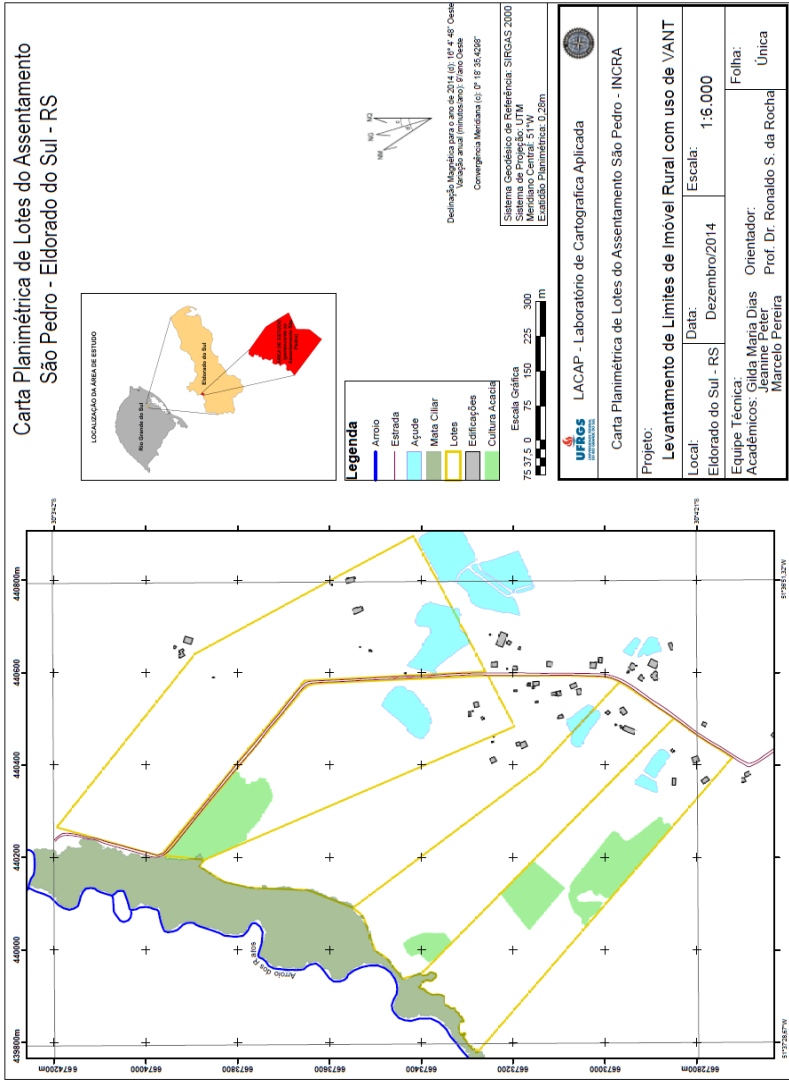


Figura 3. Carta desenvolvida.

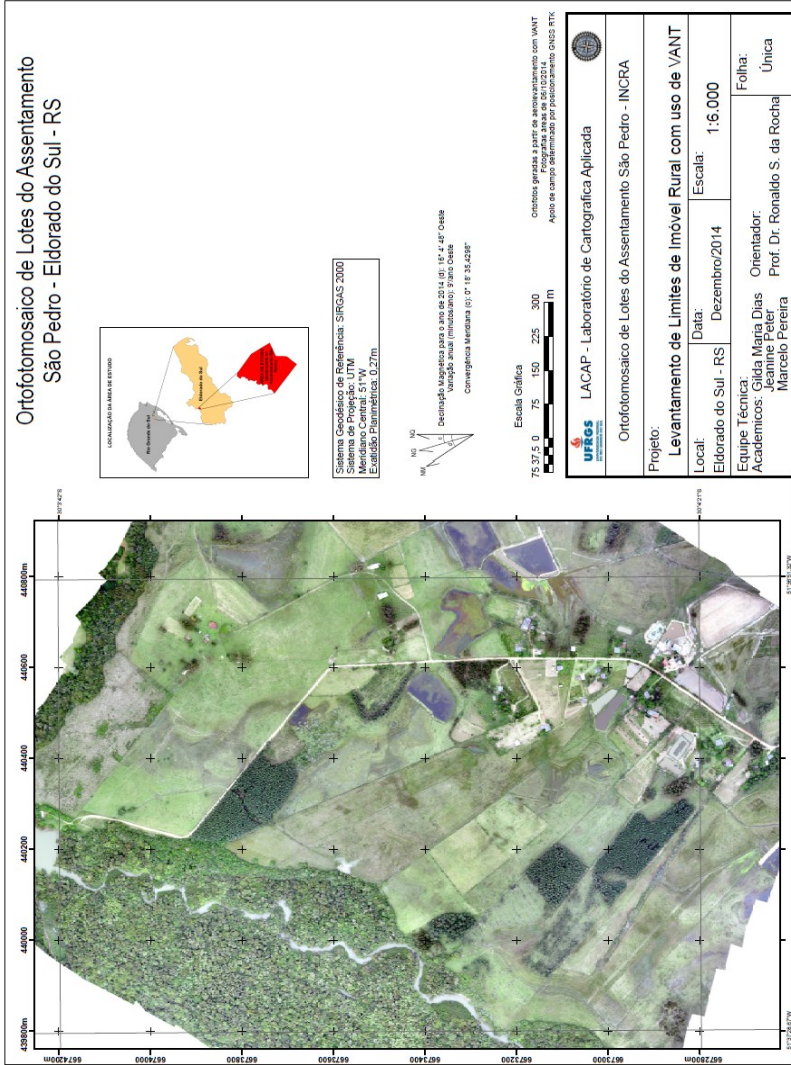


Figura 4. Ortofotomosaico desenvolvida.

Na análise de tendência (Tabela 7), verificou-se que, em módulo, o valor de t calculado para a coordenada E apresenta tendência, uma vez que o valor é superior ao do t tabelado, que é de 1,7959, para $n=12$ ($n-1=11$) e nível de significância de 10% (considerando bicaudal, tem-se 0,05 para cada lado). Já na coordenada N , o valor em módulo é inferior ao t tabelado, ou seja, não há tendência.

As Tabelas 8 e 9 apresentam os resultados das análises de tendência e de precisão, respectivamente. A ortofoto apresentou tendência na componente Este (E). Desta forma tem-se que desenvolver uma análise mais profunda. Provavelmente esta tendência pode ter sido causada por um erro sistemático, ou pelo reduzido tamanho da amostra.

Qualidade geométrica da carta planimétrica

Foram testados 23 pontos para a avaliação da qualidade geométrica da carta. As coordenadas desses pontos foram extraídas da carta elaborada, localizados em cantos de edificações e moirões de cercas. O resultado das discrepâncias entre as coordenadas dos pontos de checagem é apresentado na Tabela 10. Observa-se que todos os pontos apresentam erro RMS abaixo dos 0,50 m exigidos pelo INCRA para precisão em limites artificiais. Pode-se constatar, ainda, que 90% dos pontos bem definidos na carta, quando testados no terreno, possuem exatidões melhores que 0,282 m. A Tabela 11 apresenta os dados obtidos.

Tabela 7
Estatísticas descritivas da ortomagem

<i>Componente</i>	<i>ΔE</i>	<i>ΔN</i>
Número de Pontos	12	12
Média (m)	-0,08270983	-0,01297
Variância (m ²)	0,021415487	0,004614499
Desvio-Padrão (m)	0,146340313	0,067930103
Mínimo (m)	-0,267718	-0,15921
Mediana (m)	-0,090173	-0,00149
Máximo (m)	0,279071	0,07335

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 8
Análise de tendência na ortomagem

<i>Coordenada</i>	<i>E</i>	<i>N</i>
t_{calc}	-1,95786972	-0,66140629
$t_{(12;5\%)}$	1,7959	1,7959
Possui tendência?	Sim	Não

Tabela 9
Análise de precisão da ortofoto

<i>Coordenada</i>	<i>E</i>	<i>N</i>
σ^2_A		0,01445
χ^2 calculado	16,30244701	3,512767355
χ^2 (23,10%)	17,275	17,275
Classe	A	A

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 10
Diferenças entre as coordenadas da carta e as levantadas por GNSS

<i>Nº</i>	<i>Coordenadas Ortofotocarta</i>		<i>Coordenadas GNSS</i>		<i>ΔE(m)</i>	<i>ΔN(m)</i>	<i>Erro RMS</i>
	<i>E(m)</i>	<i>N(m)</i>	<i>E(m)</i>	<i>N(m)</i>			
2	440640,1627	6673892,295	440639,956	6673892,473	-0,206716	0,17786	0,27270
3	440810,3674	6673576,612	440810,341	6673576,692	-0,026446	0,07993	0,08419
4	440895,3838	6673416,764	440895,611	6673416,804	0,227163	0,04014	0,23068
5	440792,9952	6673361,305	440793,076	6673361,501	0,080826	0,19568	0,21171
6	440582,3977	6673653,404	440582,425	6673653,124	0,027336	0,28047	0,28179
7	440787,7064	6673595,53	440787,601	6673595,463	-0,10544	0,06748	0,12518
8	440592,8513	6673254,257	440592,837	6673254,24	-0,014328	0,01696	0,02220
9	440606,6297	6673211,357	440606,492	6673211,413	-0,137731	0,05566	0,14855
10	440558,7465	6673197,346	440558,608	6673197,392	-0,138479	0,04623	0,14599
11	440449,5005	6673241,502	440449,517	6673241,506	0,016536	0,00361	0,01692
12	440391,7933	6673144,809	440391,768	6673144,952	-0,025279	0,14274	0,14496
14	440500,8328	6672849,765	440500,969	6672849,74	0,13625	0,02498	0,13852
15	439786,066	6673270,515	439786,193	6673270,494	0,127033	0,02097	0,12875
16	440397,5677	6673396,209	440397,506	6673396,108	-0,06172	-0,1014	0,11870
17	440429,9293	6672846,737	440429,692	6672846,737	-0,237328	1,0001E	0,23732
18	440265,3407	6673314,22	440265,459	6673314,533	0,118287	0,31307	0,33467
19	440572,7178	6673076,03	440572,67	6673076,35	-0,04783	0,31999	0,32354
20	440499,6477	6673102,44	440499,576	6673102,436	-0,071705	0,00354	0,07179
21	440513,0132	6672997,528	440512,993	6672997,534	-0,020159	0,00602	0,02103
22	440656,1166	6673532,9	440656,074	6673532,976	-0,042648	0,07627	0,08738
23	440792,4524	6673562,18	440792,363	6673562,224	-0,089413	0,04431	0,09979
25	440486,5907	6672789,052	440486,513	6672789,016	-0,077679	0,03595	0,08559
26	440265,0639	6674193,302	440265,182	6674193,067	0,118062	0,23462	0,26265
Média RMS							0,13825
Desvio Padrão RMS							0,10298
Qualidade dada pela soma de 3 desvios padrões e a média dos erros médios quadráticos							0,44720

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 11
Estatísticas descritivas (ΔE e ΔN) da carta

<i>Componente</i>	ΔE	ΔN
Número de Pontos	23	23
Média (m)	-0,019626435	0,031092609
Variância (m ²)	0,013194782	0,020033525
Desvio-Padrão (m)	0,114868543	0,141539835
Mínimo (m)	-0,237328	-0,280470001
Mediana (m)	-0,026446	0,00602
Máximo (m)	0,227163	0,31999

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 12
Análise estatística de tendência na carta

<i>Coordenada</i>	E	N
t_{calc}	-0,819415589	1,053519055
$t_{(23,5\%)}$	1,7171	1,7171
Possui tendência?	Não	Não

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 13
Análise de precisão da carta planimétrica

<i>Coordenada</i>	E	N
σ^2_A	0,01445	0,01445
$\chi^2_{\text{calculado}}$	20,08894161	30,50086818
$\chi^2_{(23;10\%)}$	30,813	30,813
Classe	A	A

Fonte: Elaboração própria.

Pelo resultado do teste t , verifica-se que a exatidão planimétrica não apresenta tendência em nenhuma das componentes (E e N), conforme Tabela 12. Quanto à precisão (Tabela 13), verifica-se, pelo teste baseado na distribuição *Qui-quadrado*, que o produto pode ser classificado no PEC-PCD como sendo da Classe A para a escala 1:1.000. A Figura 5 apresenta a carta gerada.

Conclusão

Através do controle de qualidade geométrica, observou-se uma exatidão de 0,279 m para 90% das coordenadas extraídas da ortofoto e de 0,282 m para as coordenadas resultantes da carta planimétrica. Esse resultado se mostrou coerente, uma vez que a qualidade da ortofoto é melhor do que a da base cartográfica gerada (carta). Por outro lado, observou-se que houve tendência na componente Este (E) das coordenadas da ortofoto, fato que não se detectou nos testes com a carta. Este resultado suscitou uma aparente contradição, tendo em vista que uma tendência deveria ser também evidenciada no teste da carta. Uma possibilidade para este resultado pode estar no menor número de pontos para a checagem da qualidade da ortofoto (12). Outra possibilidade pode ser devido à distribuição não homogênea dos pontos de controle de qualidade da carta.

A partir dos objetivos propostos e dos resultados obtidos, conclui-se que a técnica usada é compatível com os requisitos e precisões exigidos pelas normativas vigentes. A técnica mostrou-se uma alternativa viável para levantamento em limites naturais, onde as precisões podem ser de 3,0 m ou de até 7,50 m em regiões inacessíveis, conforme preconiza o *Manual Técnico de Limites e Confrontações*. Embora o referido manual não permita o uso desse método em vértices de limites secos, verificou-se que as precisões requeridas para essa categoria de vértice, 50 cm ou melhores, também podem ser alcançadas com o uso do método.

O uso de VANT, por ser um equipamento que apresenta forte crescimento no uso atualmente, carece de normas de segurança e utilização para diferentes fins. Esse método pode ser uma alternativa quando a disponibilidade de tempo e de recursos é limitada. Melhores resultados podem ser obtidos com voos programados para maior resolução espacial no terreno. Deve-se considerar também o custo-benefício do método, uma vez que a quantidade de fotografias aumenta significativamente com o aumento da resolução espacial e, conseqüentemente, o processo fotogramétrico se torna mais oneroso e exige maior capacidade computacional para armazenamento e processamento. Estudos mais detalhados podem ser observados em Ruy (2008).

Por fim, alerta-se que o uso do VANT para obter fotografias aéreas para mapeamento deve ser utilizado com critério, seguindo todos os preceitos científicos e técnicos da cartografia topográfica.

Bibliografia

- Andrade, J.B. (1998). *Fotogrametria*, SBEE, Curitiba.
- Brasil (1984). “Decreto nº 89.817, de 20 de junho de 1984”. Estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional, disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/D89817.htm>, acesso em: 03 nov. 2014.

- , (2001). “Lei nº 10.267, de 28 de agosto de 2001”. Altera dispositivos das Leis nº 4.947, de 6 de abril de 1966, 5.868, de 12 de dezembro de 1972, 6.015, de 31 de dezembro de 1973, 6.739, de 5 de dezembro de 1979, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e dá outras providências, disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/110267.htm>, acesso em: 03 nov. 2014.
- Comissão Nacional de Cartografia —CONCAR (2011). *Padrão de Exatidão Cartográfica Digital*. Exército Brasileiro. Brasil.
- Galo, M. e Camargo, P. (1994). “O uso do GPS no controle de qualidade de cartas”, COBRAC-1994, 1º Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário, tomo II, Florianópolis, p. 41-48.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística IBGE. (2008). Recomendações para levantamentos relativos estáticos – GPS, disponível em <ftp://geofp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/pdf/recom_gps_internet.pdf>, acesso em: 12 nov. 2014.
- , 2014. “Cidades”, disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br>>, acesso em: 25 nov. 2014.
- Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária —INCRA (2013). *Norma Técnica para Georreferenciamento de Imóveis Rurais*, 3a. ed., Coordenação Geral de Cartografia, Brasília, disponível em <http://www.incra.gov.br/media/institucional/norma_tecnica_para_georreferenciamento_de_imoveis_rurais_3_edicao.pdf>, acesso em: 06 set. 2014.
- , 2013. *Manual Técnico de Posicionamento*, 1a. ed., Coordenação Geral de Cartografia, Brasília, disponível em <http://www.incra.gov.br/media/institucional/manual_tecnico_de_posicionamento_1_edicao.pdf>, acesso em: 06 set. 2014.
- , 2013. *Manual Técnico de Limites e Confrontações*, 1a. ed., Coordenação Geral de Cartografia, Brasília, disponível em <http://www.incra.gov.br/media/institucional/manual_tecnico_de_limites_e_confrontacoes1_edicao.pdf>, acesso em: 06 set. 2014.
- Lima, D.L. et al. (2014). *Restituição e Geração de Ortoimagem a partir de um Estereopar EROS*”, UNESP, disponível em <https://www.ufpe.br/cgtg/ISIMGEO/CD/html/Fotogrametria_e_Sensoriamento_Remoto/Artigos/f038.pdf>, acesso em: 30 nov. 2014.
- Oliveira, L.F. “Análise de Modelos Digitais de Superfície gerados a partir de imagens do sensor PRISM/ALOS”, 184 f. Dissertação (Mestrado). Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa (UFV), 2011.
- Prado, A. e Krueger, C.P. (2003). “Análise da Acurácia nos Posicionamentos Diferenciais aplicando as técnicas DGPS e RTK”, *Revista Brasileira de*

Cartografia, 1, (55), 29-38, disponível em <<http://www.lsie.unb.br/rbc/index.php/rbc/article/view/179>>, acesso em: 20 nov. 2014.

Rocha, R. dos S. (2002). “Exatidão Cartográfica para as cartas digitais urbanas”, Tese (Doutorado), Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção, (UFSC), Florianópolis, disponível em: <http://www.ufrgs.br/engcart/tese_RochaRS.pdf>, acesso em: 01 dez. 2014.

Ruy, R.S. (2008). “Desenvolvimento e validação geométrica de um sistema para mapeamento com câmaras digitais de médio formato”, Tese (Doutorado), Programa de Pós Graduação em Ciências Cartográficas, UNESP, Presidente Prudente [s/n], 2008.

Catastro 3D: sistemas de referencia altimétrica para parcelas y objetos territoriales

Diego Alfonso Erba*
Gustavo Noguera**
Aldo Mangiaterra***

Recibido el 28 de abril de 2015; aceptado el 16 de agosto de 2015

Abstract

This paper describes the distinct existing systems to reference the height of objects and its possible applications in the structuring of 3D cadastre. It discusses advantages and inconveniences in the utilization of each one of them for the positioning of terrestrial objects in space.

Hypotheses based on similar studies of cases in 3D cadastre are analyzed, without the pretension of covering the totality in the same manner. The developed theory is applied to position apartments that are part of private residential buildings (3D parcels) and elements of road work (3D land objects), demonstrating the correlations between the distinct systems of heights.

It is possible to conclude from the results that the ellipsoid of revolution is the most appropriate reference surface for 3D parcels and generally all 3D land object heights. Furthermore, for certain territorial 3D objects, it may be necessary to utilize an equipotential surface to reference their heights.

Regarding the precisions required for the positioning and sizing of the plots and 3D objects, it is concluded that both must be carefully analyzed and defined in the cadastral legislation. It is not possible to set a single precision for all, parcels and land objects, since the accuracies depend of the function of the cadastral object.

Key words: 3D cadastre, high for 3D parcel, high for 3D territorial objects.

* Centro de Vinculación de Estudios Territoriales, Universidad Nacional de Córdoba, Sede Ciudad Universitaria, Av. Vélez Sarsfield 1611, Córdoba, Argentina, correo electrónico: diegoerbalac@gmail.com

** Universidad Nacional de Rosario, Av. Pellegrini 250, Rosario, Argentina, correo electrónico: agrim.noguera@gmail.com

*** Grupo de Geodesia Satelital de Rosario, Vélez Sarsfield 281, Rosario, Argentina, correo electrónico: aldomangiaterra@gmail.com

Resumo

O presente trabalho descreve os diferentes sistemas existentes para referenciar alturas de parcelas e objetos territoriais, bem como as possíveis aplicações na estruturação de cadastros 3D. Discute vantagens e inconvenientes derivados do uso de cada um para o posicionamento no espaço.

Hipóteses baseadas em estudos de casos similares de cadastro 3D são analisadas, sem ter a pretensão de cobrir a totalidade dos mesmos. A teoria desenvolvida é aplicada para posicionar apartamentos que fazem parte de prédios de moradias privadas (parcelas 3D) e elementos de uma ponte (objeto territorial 3D), mostrando as correlações entre os diferentes sistemas de alturas.

A partir dos resultados é possível concluir que o elipsoide de revolução é a superfície mais apropriada para referenciar as alturas das parcelas 3D e a maioria dos objetos territoriais 3D, sendo que para determinados objetos pode ser necessário utilizar, além do elipsoide, uma superfície equipotencial para referenciar as alturas.

Em relação às precisões requeridas para o posicionamento e o dimensionamento das parcelas e objetos territoriais 3D, se conclui que ambas devem ser analisadas cuidadosamente e definidas na legislação cadastral. Não é possível fixar uma única precisão para todos, dado que estas devem ajustar-se em função de cada objeto cadastral.

Palavras chave: *cadastro 3D, altura para parcela 3D, altura para objeto territorial 3D.*

Resumen

El presente trabajo describe los distintos sistemas existentes para referenciar las alturas de parcelas y objetos territoriales, y sus posibles aplicaciones en la estructuración de catastros 3D. Discute ventajas e inconvenientes en la utilización de cada uno de ellos para el posicionamiento en el espacio.

A lo largo del desarrollo se analizan las hipótesis en estudios de casos propios del catastro 3D, sin la pretensión de cubrir la totalidad de los mismos. La teoría desarrollada es aplicada para posicionar departamentos que forman parte de edificios de viviendas privadas (parcelas 3D) y elementos de una obra vial (objetos territoriales 3D), mostrando las correlaciones entre los distintos sistemas de alturas.

A partir de los resultados es posible concluir que el elipsoide de revolución es la superficie más apropiada para referenciar las alturas de parcelas 3D y de la mayoría de los objetos territoriales 3D, siendo que para determinados objetos territoriales 3D puede ser necesario utilizar, además del elipsoide, una superficie equipotencial para referenciar sus alturas.

En relación a las precisiones requeridas para el posicionamiento y dimensionamiento de las parcelas 3D y de los objetos 3D, se concluye que ambas deben ser

analizadas cuidadosamente y definidas en la legislación catastral. No es posible fijar una única precisión para todos, puesto que estas deberán ajustarse a la función de cada objeto catastral.

Palabras clave: *catastro 3D, alturas para parcela 3D, alturas para objeto territorial 3D.*

Introducción

El Catastro 3D debe registrar los objetos territoriales con precisión en el espacio y en el tiempo, identificándolos y ubicándolos geoméricamente como volúmenes en un determinado momento. Un registro 3D permite relacionar objetos territoriales, o parte de ellos, reposicionarlos retrospectivamente, proyectar modificaciones y analizar la influencia de nuevos objetos aún antes de que existan a través de la construcción de escenarios prospectivos.

El Catastro 3D, más allá de las medidas del objeto territorial, debe contar con las tres coordenadas de un número suficiente de puntos que permitan ubicarlo espacialmente como bloque en el marco de referencia y a la fecha de medición. El número de puntos de georreferenciación dependerá de cada caso y será definido por el profesional de acuerdo a su criterio y experiencia, de manera que se garanticen los parámetros de precisión establecidos por la norma catastral.

El posicionamiento planimétrico de los objetos territoriales no presenta mayor dificultad una vez que se establece el sistema de referencia geodésico, no obstante, la definición de la superficie de referencia más adecuada para determinar las alturas, está aún en discusión.

El presente trabajo describe distintos sistemas existentes para referenciar las alturas de parcelas y objetos territoriales, y sus posibles aplicaciones en la estructuración de catastros 3D. Discute ventajas e inconvenientes en la utilización de cada uno de ellos para el posicionamiento en el espacio.

A lo largo del desarrollo se analizan las hipótesis en estudios de casos propios del catastro 3D, sin la pretensión de cubrir la totalidad de los mismos. La teoría desarrollada es aplicada para posicionar departamentos que forman parte de edificios de viviendas privadas (parcelas 3D) y elementos de una obra vial (objetos territoriales 3D), mostrando las correlaciones entre los distintos sistemas de alturas.

Los resultados alcanzados en esta investigación permiten afirmar que el elipsoide de revolución es la superficie más apropiada para referenciar las alturas de parcelas 3D y de la mayoría de los objetos territoriales 3D, siendo que para determinados objetos territoriales 3D puede ser necesario utilizar, además del elipsoide, una superficie equipotencial para referenciar sus alturas. También permiten afirmar la posibilidad de construir modelos “locales” de geoide que permitan convertir diferencias de alturas elipsoidales en diferencias de alturas geoidales (y viceversa).

Lo aquí desarrollado cobra mayor importancia a partir de la aplicación del nuevo Código Civil y Comercial y la consecuente ampliación de derechos reales en Argentina.

Sistemas de alturas para Catastro 3D

Una superficie de referencia es aquella a partir de la cual se definen las alturas de puntos en el espacio. Para establecerla es necesario fijar diferentes parámetros, siendo los planos, los elipsoides de revolución y las superficies equipotenciales las más comúnmente usadas.

Un plano horizontal es la superficie de referencia más simple en términos geométricos y de más fácil comprensión para los usuarios. Su posición espacial se define como normal a la vertical en un punto origen y las alturas de los demás puntos se miden a lo largo de rectas perpendiculares a ese plano. Desde que, en términos generales, se considera vertical de un punto a la dirección de la fuerza de gravedad terrestre que pasa por él, las rectas perpendiculares al plano de referencia que se adopte y las verticales no necesariamente coinciden. Por otra parte las alturas resultan válidas sólo para extensiones reducidas puesto que a 1 km de distancia del punto origen el error altimétrico ya es del orden de los 8cm debido a la curvatura terrestre.

Un elipsoide de revolución es una superficie de referencia de carácter matemático; su centro, orientación, semieje mayor y aplastamiento son elegidos de tal forma que su aproximación al geoide sea máxima.

Una superficie equipotencial o superficie de nivel es siempre perpendicular a la vertical, y dado que la dirección de las verticales es influenciada por la distribución de masas y por el movimiento terrestre, esta superficie resulta ser irregular. Se adopta como superficie equipotencial de referencia al geoide que es la que mejor se adapta al nivel medio del mar a escala global.

Las distancias de los puntos en el espacio hasta las superficies de referencia se denominan alturas, aun cuando en el lenguaje geodésico frecuentemente son denominadas cotas.

Dado que las superficies equipotenciales no son paralelas, el resultado de una nivelación geométrica dependerá del camino recorrido.

La Figura 1 muestra que la distancia a lo largo de la vertical entre las superficies equipotenciales W_A y W_B no es la misma si se mide en A que si mide en B o si se recorre el camino por medio de sucesivas estaciones de nivel siguiendo determinado itinerario.

Al variar el itinerario puede variar el resultado. La ambigüedad de las cotas obtenidas de tal forma conduce a la denominación de *alturas brutas*.

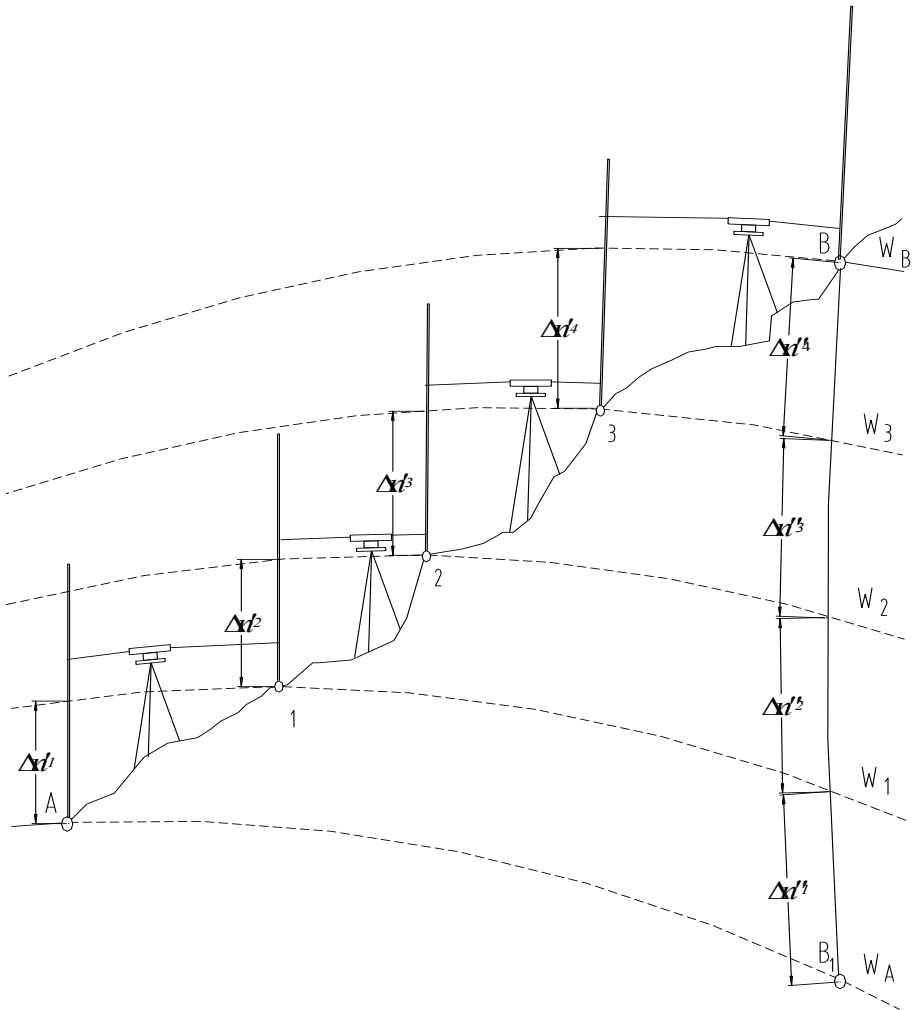


Figura 1. Distancias entre superficies equipotenciales.

El concepto de nivel se puede asociar también al concepto de potencial gravitatorio, puesto que puntos ubicados a mayor altura tienen un potencial gravitatorio menor. Considerando como superficie equipotencial de referencia al geode de potencial W_0 (origen del mareógrafo), se define como *cota geopotencial* del punto P a la diferencia entre el potencial en W_0 y el potencial de la superficie de nivel que pasa por P (W_P) (Figura 2).

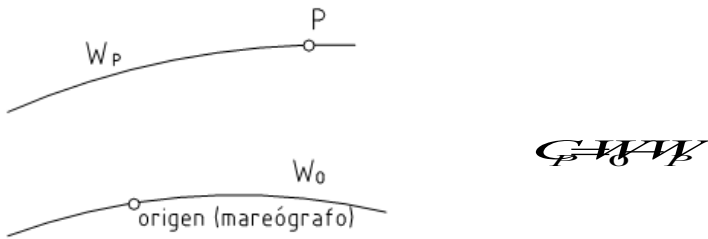


Figura 2. Cota geopotencial.

Las cotas geopotenciales determinan rigurosamente la dirección de escurrimiento del agua entre los puntos y el valor que se obtiene para cualquier punto es independiente del camino utilizado, razón por la cual en todos los casos se obtendrá un resultado único. Cabe señalar que las cotas geopotenciales no representan una longitud sino el trabajo necesario para trasladar una masa unitaria desde el origen 0 hasta un punto P . Esta última característica hace que, en la práctica, su utilización no sea conveniente en levantamientos terrestres.

Para evitar esta limitación, Huerta (2001) nos recuerda la definición de las *cotas dinámicas (CD)* como el cociente entre la cota geopotencial y un valor de gravedad constante. De esta manera los valores resultantes se expresan como distancias. Normalmente se utiliza el valor de gravedad normal sobre el elipsoide a altitud $0m$ y latitud de 45° .

$$CD = C_P^{din} = \frac{C_P}{\gamma_0^{45}} \quad (1)$$

Así, las cotas dinámicas tienen una característica común con las cotas geopotenciales: los puntos de igual cota pertenecen a la misma superficie equipotencial. Esta característica hace que, aunque se expresan en unidades de distancia, resulten insensibles a la convergencia de las superficies de nivel. Para determinar la cota geopotencial o la dinámica se debe realizar una nivelación geométrica midiendo a la vez la aceleración de la gravedad (g).

Entendiendo claramente los conceptos de cotas, pasamos a los conceptos de alturas, las cuales son utilizadas para el posicionamiento de las parcelas y los objetos 3D (Figura 3).

La *altura ortométrica (H)* de un punto ubicado en la superficie terrestre es la distancia entre él y la superficie equipotencial de referencia (geoide), medida a lo

largo de la dirección de la vertical. Esta altura se obtiene a partir de la cota geopotencial considerando un valor medio de g , lo que implicaría conocer la distribución de masas entre el punto en cuestión y su proyección (según la vertical) sobre el geoides. Esto en rigor resulta imposible, pero se puede suplir satisfactoriamente por un cálculo utilizando parámetros conocidos.

La *altura normal* es determinada a partir de la gravedad normal en vez de un valor medio de g , es decir, surge de un cálculo que considera un modelo adoptado para el campo gravitatorio terrestre. La altura normal es un valor que poco difiere de la altura ortométrica (en general pocos centímetros), y define una nueva superficie de referencia denominada *cuasi-geoide*. Se puede afirmar que la separación entre el geoides y el cuasi-geoide varía (tomando casos extremos) de algunos centímetros a poco más de un metro. Para la superficie de los océanos el geoides y el cuasi-geoide son coincidentes.

La *altura elipsoidal* (h) es la distancia entre un punto en el espacio y la superficie del elipsoide, medida a lo largo de la normal al elipsoide. El Sistema Global de Navegación Satelital (por su sigla en inglés Global Navigation Satellite Systems —GNSS) permite conocer esta altura con la precisión que fuere necesaria, inclusive de hasta pocos milímetros.

Al vincular h y H de un mismo punto es posible relacionar el geoides con el elipsoide a través de la *ondulación del geoides* (N), donde: $N = h - H$. En rigor, aun cuando la vertical del punto y la normal al elipsoide no son exactamente coincidentes, son tan próximas que su desvío no influye en el cálculo de N . Navratil y Unger (2011) afirman que para utilizar nivelación geométrica en la estimación de

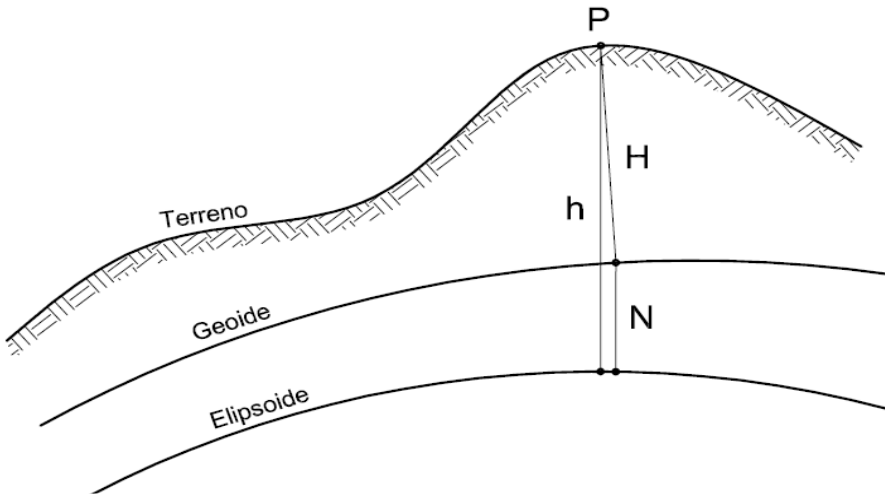


Figura 3. Alturas.

diferencias de alturas elipsoidales es necesario conocer el desvío de la vertical. Esta afirmación es verdadera pero tiene un carácter muy general pues en la práctica depende de la precisión requerida y de la extensión que se quiere abarcar.

En zonas de llanura y en áreas cuyo radio no exceda algunas decenas de kilómetros es posible obtener modelos locales de geoide que permitan correlacionar las alturas ortométricas con las alturas elipsoidicas. Esta estrategia puede ser aplicada tanto en la construcción de un túnel, con posicionamiento satelital solamente en los extremos y nivelación geométrica en su interior, cuanto en la construcción de obra vial sobre superficie acuática que imposibilita la nivelación geométrica (salvo en los extremos). Apelando a una combinación inteligente de nivelación geométrica, posicionamiento satelital y modelización geoidal, los resultados pueden ser satisfactorios para el posicionamiento espacial de esos objetos territoriales.

En este caso, la expresión a utilizar para calcular desniveles es: $(H_2 - H_1) = (h_2 - h_1) - (N_2 - N_1)$.

Esa solución fue aplicada durante la construcción de la obra vial que une las ciudades argentinas de Rosario y Victoria, atravesando el delta del río Paraná de 60km de ancho (Figura 4). Al comenzar la obra hubo una creciente extraordinaria del río que cubrió de agua toda el área, lo que hacía casi imposible realizar una nivelación geométrica.

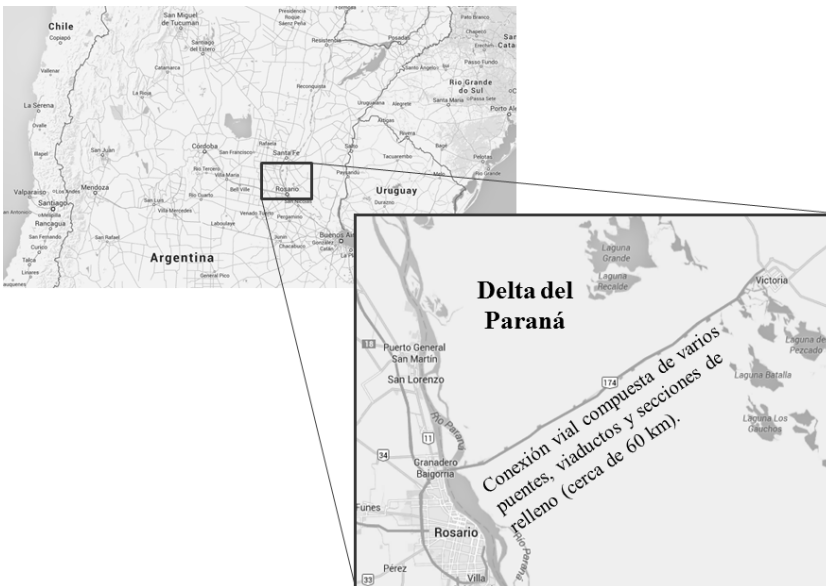


Figura 4. Ubicación del área de estudio, Rosario, Argentina.
Fuente: adaptada de Google Maps.

En ambas cabeceras se midieron las alturas elipsóidicas y sobre el nivel del mar y se determinaron los respectivos valores de N. Se midió también la gravedad en diversos puntos y, apelando a un modelo de geoide global, se pudo calcular la variación de N a partir del trazado de un perfil geoidal a lo largo de la traza de la obra. Siguiendo esta estrategia se pudieron obtener alturas sobre el nivel del mar en cualquier punto de la obra tomando como base el posicionamiento satelital, satisfaciendo una tolerancia de 10cm, lo cual se verificó una vez finalizada la construcción.

Modelos de geoide y estaciones permanentes GNSS

Para relacionar alturas elipsoidales y ortométricas se utilizan modelos de transformación de alturas denominados modelos de geoide, de los cuales es posible obtener N para la zona en estudio. Estos modelos pueden obtenerse a partir de la información de puntos geodésicos con ambas alturas (h y H), que se encuentran en la zona, generalmente de extensión limitada. Un ejemplo de este tipo es el Modelo de geoide de la ciudad de Rosario (MGR06) presentado en la Figura 5.

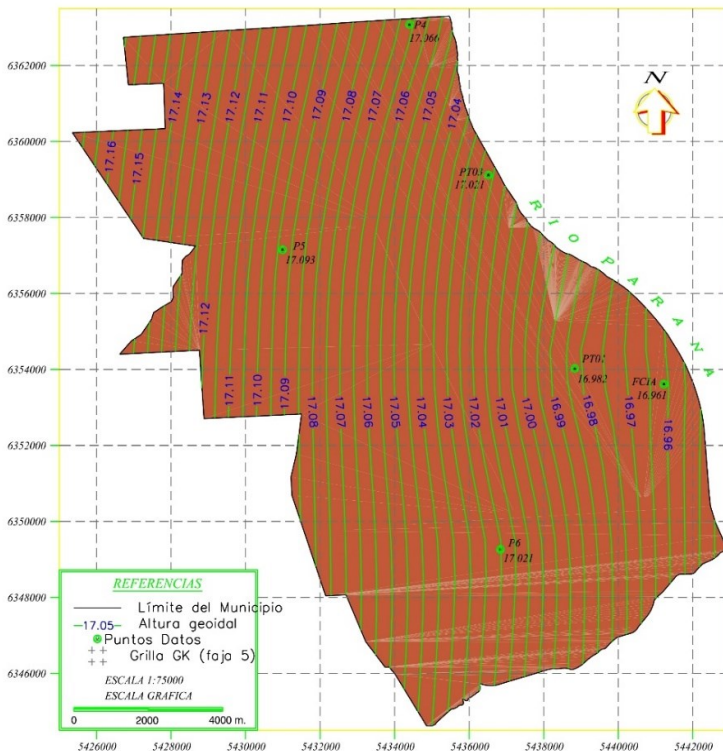


Figura 5. Modelo de geoide de la ciudad de Rosario, Argentina (MGR06).
Fuente: Balbarani *et al.* (2006).

La relación de alturas elipsoidales y ortométricas puede determinarse también a partir de modelos globales como el EGM2008 (Earth Gravitational Model) y EIGEN (European Improved Gravity Model of the Earth by New Techniques), los cuales se construyen generalmente a partir de datos de observaciones de satélites específicos para este fin, y suelen tener como limitante la definición del “origen”. Si se cuenta con uno (o varios) puntos con la doble información (h y H) en la zona, es posible calibrar el modelo global a partir del N de una estación permanente siendo el resultado útil para una zona amplia en estudio.

En la ciudad de Rosario y zonas aledañas, el EGM2008 fue calibrado con el N de la estación permanente denominada UNRO, el resultado de este trabajo está representado en la Figura 6.

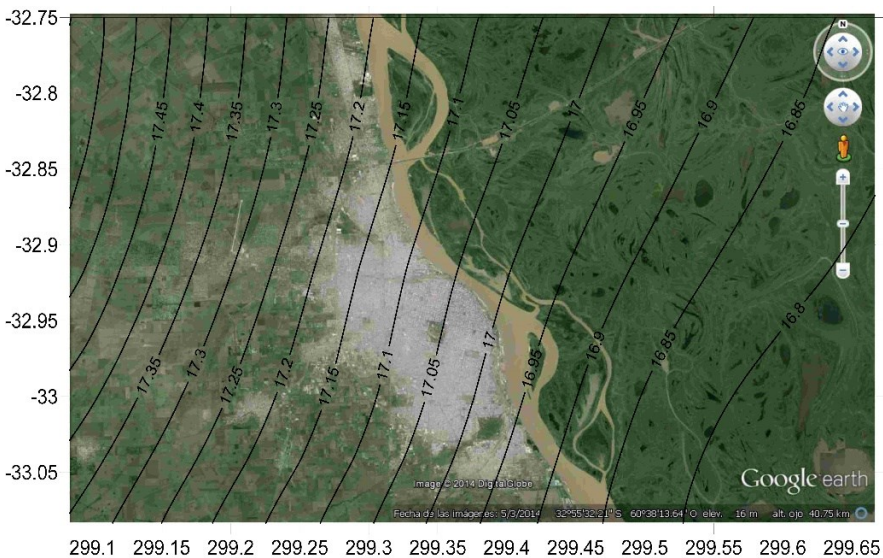


Figura 6. EGM2008 calibrado con el N de estación permanente UNRO.

Una estación permanente consiste en un receptor GNSS rastreando todos los satélites visibles, en forma continua las 24 horas, junto con un sistema de almacenamiento y publicación de los datos (generalmente a través de Internet, en tiempo real o en forma diferida) de forma que esos datos estén a disposición de los usuarios.

El conjunto de las estaciones permanentes conforman una red. En Argentina, la Red Argentina de Monitoreo Satelital Continuo (RAMSAC) está compuesta por algo más de 70 estaciones y es administrada por el Instituto Geográfico Nacional (IGN). Para que los datos de las estaciones permanentes resulten de utilidad a la georreferenciación, las coordenadas geodésicas (latitud, longitud y altura elipsóidi-

ca h) de la estación deben ser conocidas y publicadas. Si todas las estaciones permanentes contaran con esta información (h y H) se podría desarrollar de forma bastante simple un modelo geoidal de alcance regional o bien utilizar el valor de N en la estación para calibrar un modelo global para la zona de la estación. Contar con la coordenada H en el mismo punto de la estación sería altamente relevante para el posicionamiento de objetos territoriales y parcelas 3D.

En la actualidad muy pocas estaciones cuentan con esa doble altura (h y H) en América Latina. Se hace una especial recomendación a los Institutos Geográficos de los países de la región para que traten de determinar y publicar los H de las estaciones permanentes así como para que obtengan y publiquen g.

Casos de estudio

Se presentan a continuación dos casos correspondientes a aplicaciones de la teoría desarrollada los que corresponden a la ciudad de Rosario.

Complejo de edificios “Ciudad Ribera”, Rosario, Argentina

De acuerdo con la legislación vigente en Argentina, el dominio público en cursos navegables se extiende hasta la llamada *línea de ribera*, la cual corresponde a la que determinan las aguas del río en su máxima crecida ordinaria. Para la ciudad de Rosario esa cota está oficialmente establecida en 4.16 metros. Lo singular es que esa altura está referida al cero del hidrómetro del puerto de Rosario, es decir la superficie de referencia es estrictamente local.

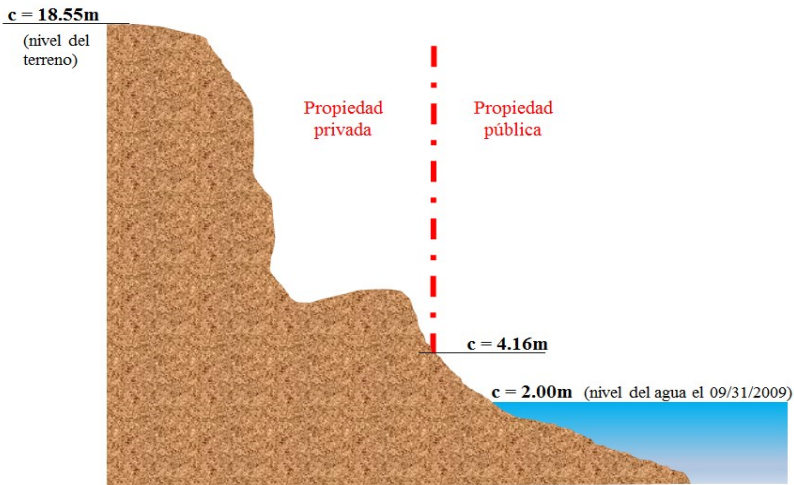


Figura 7. Perfil de los alrededores del emplazamiento del complejo de edificios “Ciudad Ribera”. Localización del límite público-privado y alturas locales.

La Figura 7 fue elaborada con base en datos que constan en el plano de mensura elaborado en 2009 correspondiente al terreno en que se emplaza el complejo de edificios “Ciudad Ribera” ubicado a orillas del río Paraná. En el corte es posible ver las alturas referidas al hidrómetro, y la representación del plano límite entre el dominio privado y el dominio público.

La línea que representa la intersección de la superficie vertical que divide el dominio privado del público con el terreno puede ser referenciada bajo tres superficies diferentes, tal como muestra la Tabla 1.

Tabla 1
Alturas de la línea que divide el dominio público del privado

<i>Sistema</i>	<i>Altura</i>
Local	4.16m
Nacional (altura sobre el nivel del mar)	7.75m
Global (altura elipsóidica según modelo de geoide local)	24.71m

Fuente: Elaboración propia.

Tomando estas referencias, el terreno natural en los alrededores del Complejo de edificios “Ciudad Ribera” presenta las alturas local, elipsoidal y ortométrica descritas en la Tabla 2.

Tabla 2
Relación de alturas en el sitio de emplazamiento de los edificios de “Ciudad Ribera”

<i>Sistema</i>	<i>Altura</i>
Local	18.55m
Nacional (altura sobre el nivel del mar)	22.14m
Global (altura elipsóidica según modelo de geoide local)	39.10m

Fuente: Elaboración propia.

Edificio “Embarcadero”, Rosario, Argentina

Este edificio fue sometido al régimen de Propiedad Horizontal (Ley Nacional No. 13512). El caso fue elegido pues evidencia una situación singular en términos legales: el subsuelo está destinado a cocheras (dominio privado), pero una parte de la planta baja, la que no tiene edificación, está sometida a una servidumbre destinada al uso público, regulado por la Municipalidad de Rosario.

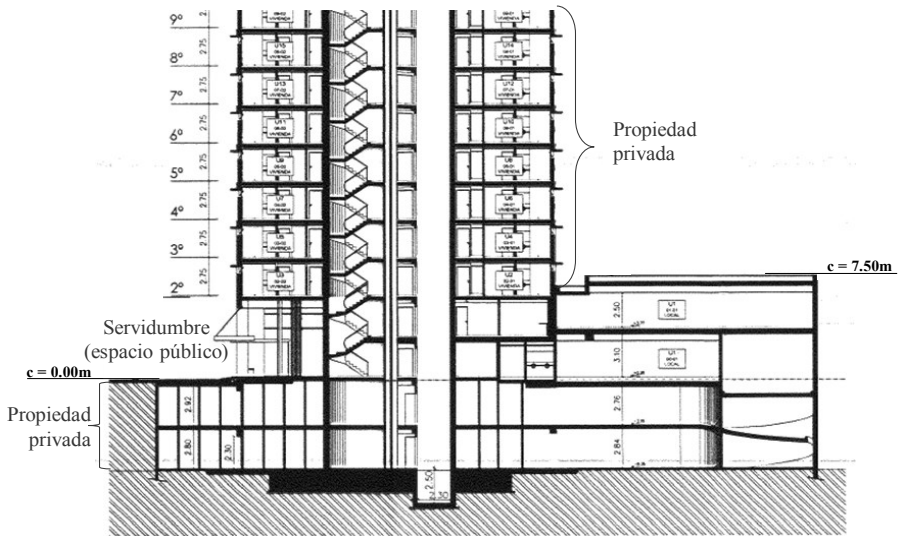


Figura 8. Corte longitudinal del edificio “Embarcadero” y alturas locales de los objetos.

Como muestra la Figura 8, el agrimensor estableció un plano local como referencia, atribuyendo 0.00m de altura en la planta baja, la cual constituye la referencia de altura para cada parcela (pública o privada). Aplicando la teoría desarrollada anteriormente, se determinaron las relaciones entre las alturas local, elipsoidal y ortométrica, expresadas en la Tabla 3.

La altura de la base del edificio “Embarcadero” se obtuvo por nivelación geométrica, partiendo del punto fijo VI ubicado a unos 200 metros del mismo. El VI corresponde al Relevamiento Costa Norte de Rosario y su altura sobre el nivel del mar es 23.51m (fuente: Catastro de la Municipalidad de Rosario). La altura elipsoidal se obtuvo utilizando el valor de $N = 16.96m$ proporcionado por el modelo geoidal de Rosario MGR06.

Tabla 3
Relación de alturas en el sitio de emplazamiento del edificio “Embarcadero”

<i>Sistema</i>	<i>Altura</i>
Local	0.00m
Nacional (altura sobre el nivel del mar)	23.07m
Global (altura elipsoidal según modelo de geoide local)	40.03m

Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones y recomendaciones

El Catastro 3D es un registro que contiene la posición espacial de los objetos territoriales y parcelas en el espacio, definida con precisión adecuada y en un momento determinado (el de la medición). El principal problema de un catastro 3D es la definición de las alturas de las parcelas y los objetos puesto que la cultura de catastros 2D ya ha desarrollado diferentes métodos para posicionamiento de las proyecciones de las parcelas.

Un plano sería eficiente como superficie de referencia vertical para estructurar un catastro 3D de áreas cuyas extensiones no superen 1km, pero esta superficie no es global y tiene aplicaciones limitadas, no se podría usar con eficiencia en la mayoría de las jurisdicciones latinoamericanas.

La altura elipsoidal es más apropiada puesto que no presenta ambigüedades y puede obtenerse con precisión adecuada al catastro en un momento determinado. Los movimientos tectónicos no constituyen un problema puesto que, como sus efectos son conocidos a partir de las mediciones, es perfectamente posible correlacionar las coordenadas de un mismo objeto en el espacio en dos épocas distintas. En otras palabras, las coordenadas elipsoidales brindan información más confiable que el más robusto de los mojones que materializan límites.

Definitivamente la altura elipsoidal es la que resuelve la necesidad esencial de registrar Parcelas 3D, pero no es suficiente para atender otras necesidades. En los casos en que sea menester conocer el desplazamiento de las aguas debe utilizarse, junto a la elipsódica, la altura ortométrica para posicionar los objetos territoriales.

Se puede concluir que no es posible fijar una única precisión para las referencias de alturas, sino que ésta varía con el carácter mismo de los objetos catastrales. Además vale una aclaración: este trabajo se refiere solamente a las tolerancias en el posicionamiento espacial, considerado al objeto catastral como un bloque, excluyendo del análisis las precisiones requeridas en las medidas internas del objeto territorial.

Cada repartición a cargo del Catastro 3D deberá estipular, en el ámbito de su jurisdicción, cuales son las tolerancias que se deben respetar. Consideramos que para inmuebles urbanos la tolerancia espacial para la georreferenciación puede estar en el orden de los 10 cm. Una tolerancia similar correspondería para los conductos subterráneos de servicios públicos, por ejemplo los cloacales, las redes de gas o energía eléctrica, siempre en el ámbito urbano. Para propiedades rurales la tolerancia dependerá de la zona en cuestión.

Agradecimientos

A los colegas y amigos por sus contribuciones: Pascual Calvo, Director de Catastro y Raúl Álvarez, Presidente Servicio Público de la Vivienda y el Hábitat, ambos de

la Municipalidad de Rosario, Argentina, y Eduardo Huerta, ex profesor de la Universidad Nacional de Rosario.

Bibliografía

- Balbarani, Sebastián; Banchio, Ulises y Piancatelli, Federico (2006). “Modelo geoidal para la ciudad de Rosario”, Universidad Nacional de Rosario, trabajo final de la carrera de Agrimensura, Rosario, Argentina.
- Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Departamento de Astrometría, Informe técnico para usuarios de tdaGEOBA, Universidad Nacional de La Plata, disponible en: <<http://geoweb.fcaglp.unlp.edu.ar/static/tdaGEOBA.pdf>>.
- Huerta, Eduardo (2001). *Sistemas de alturas, Georreferenciación. Revista Temas de Geociencia*, núm. 7, Editorial de la Universidad Nacional de Rosario, Rosario, Argentina.
- Huerta, E.; Mangiaterra, A. y Noguera, G. (2005). *GPS Posicionamiento Satelital*, Editorial de la Universidad Nacional de Rosario, Rosario, Argentina.
- Leick, Alfred (2004). *GPS Satellite Surveying*, Ed. John Wiley and Sons, New Jersey, USA.
- Mônico, João Francisco Galera (2008). *Posicionamento pelo GNSS, descrição, fundamentos e aplicações*, Editora UNESP, São Paulo, Brasil.
- Navratil, Gerhard and Unger, Eva-Maria (2011). “Height Systems for 3D Cadastres”, in 2nd International Workshop on 3D Cadastres, Delft, the Netherlands.
- , 2013. “Requirements of 3D cadastres for height systems”, in *Computers, Environment and Urban Systems*, vol. 38, March 2013, pp. 11-20, disponible en: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0198971512001184#>>.
- Nikolaos K. Pavlis; Simon A. Holmes; Steve C. Kenyon and John K. Factor (2012). “The development and evaluation of the Earth Gravitational Model 2008 (EGM2008)”, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth (1978-2012)*, vol. 117, Issue B4, April, 2012.
- Sánchez, Laura (2014). “Vertical datum standardisation in South America”, Simposio SIRGAS 2014, La Paz, Bolivia, 24 al 26 de noviembre 2014, disponible en: <http://www.sirgas.org/fileadmin/docs/Boletines/Bol19/12_Sanchez_2014_VerticalDatumStandardization_SouthAmerica.pdf>.
- Santacruz Jaramillo, A.G.; de Freitas S.R.C. and Sánchez, L. (2014). “Towards a unified vertical reference frame for South America in view of the GGOS specifications”, in The 3rd International Gravity Field Service (IGFS) General Assembly. Shanghai, China. June 30-July 6, 2014, disponible en: <http://www.sirgas.org/fileadmin/docs/Boletines/Santacruz_et_al_SIRGAS-GTII_IGFS_Shanghai_20143A_Section_SIRGAS_GGOS_1_.pdf>.

SIRGAS-WGIII activities for unifying height systems in Latin America

Silvio R.C. de Freitas*

Received May 10, 2015; accepted August 16, 2015

Resumen

Desde 1997, SIRGAS (Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas) está actuando para establecer la unificación del Sistema de Referencia Vertical SIRGAS (SRVS) en América Latina y el Caribe. Los estándares, procedimientos y actividades que buscan la definición y realización del SRVS están actualmente dirigidos a cumplir los requerimientos internacionales modernos de integración dentro de un Sistema de Referencia Vertical Global (SRVG), con la finalidad de apoyar las necesidades de los Sistemas de Observación Terrestres. Estas aseveraciones implican la unificación de los Sistemas de Referencia Vertical Nacionales (SRVN) existentes, cada uno con su respectivo Marco (MRVN) y Datum Vertical (DVN) realizados en el espacio geopotencial. El estudio de algunas nuevas posibilidades para conectar los SRVN en una base global está en el contexto de las principales actividades de la Asociación Internacional de Geodesia (IAG por sus siglas en inglés). Sin embargo, muchos de los nuevos requerimientos para la construcción del SRVS no son aplicables aún, debido a las diferencias de definición y realización de cada SRVN en la región SIRGAS. En este trabajo es presentada una revisión acerca del estado de los SRVN, MRVN y DVN en Sudamérica. Los aspectos más importantes para la unificación de los SRVN en un contexto global como también los principales problemas relacionados son presentados. Algún énfasis es dado a las actividades del SIRGAS-Grupo de trabajo III, dirigidas a solventar los problemas de integración en Sudamérica. La pobre disponibilidad de datos, discrepancias desconocidas entre SRVN, diferentes estrategias para levantamiento y procesamiento de datos en el establecimiento de las redes, y otras fuentes de error son discutidas. En este contexto las posibilidades provenientes de nuevas estrategias y herramientas modernas son dis-

* PhD. Full Professor in the Federal University of Paraná at Curitiba, Brazil, CNPq Researcher; SIRGAS-WGIII Chair, e-mail: sfreitas@ufpr.br

cutidas, principalmente considerando las nuevas misiones, bases de datos y herramientas modernas de la Geodesia.

Palabras clave: *SIRGAS, SIRGAS-GTIII, Marcos y Sistemas de Referencia Vertical.*

Resumo

Desde 1997 o SIRGAS (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas) atua para o estabelecimento de um Sistema Vertical de Referência para o SIRGAS (SVRS) na América Latina e Caribe. Os padrões, procedimentos e atividades visando à definição e realização do SVRS estão agora dirigidos de encontro aos requisitos internacionais de integração em um Sistema Vertical de Referência Global (SVRG) para suportar as necessidades dos Sistemas de Observação da Terra. Estas condições implicam na unificação de Sistemas Verticais de Referência Nacionais (SVRN), cada qual com sua Rede (RVRN) e *Datum* Vertical (DVN) realizado no espaço do geopotencial. O estudo de novas possibilidades para conectar os SVRN em bases globais está no contexto das principais atividades da Associação Internacional de Geodésia (IAG para sua sigla em inglês). No entanto os requisitos mais modernos para estabelecer o SVRS não são imediatamente aplicáveis devido as diferenças nas concepções e realizações de cada SVRN na região do SIRGAS. Neste trabalho é apresentada uma visão geral acerca das características dos SVRN, das RVRN e respectivos DVN na América do Sul. São apresentados os preceitos mais importantes para unificação dos SVRN em base global bem como os problemas mais importantes a serem encarados. É dada alguma ênfase às atividades do Grupo de Trabalho III do SIRGAS voltadas para a solução dos problemas de integração referidos. A pobre disponibilidade de dados, o desconhecimento das discrepâncias entre os SVRN, as diferentes estratégias para aquisição e processamento de dados utilizados no estabelecimento das RVRN e outras fontes de erros são discutidos. As possibilidades advindas das novas estratégias e ferramentas modernas são discutidas principalmente com base nas novas missões e bases de dados globais da Geodésia.

Palavras chave: *SIRGAS, SIRGAS-GTIII, Marcos e Sistemas de Referência Vertical.*

Abstract

Since 1997 SIRGAS (Geocentric Reference System for the Americas) is acting for establishing a unified SIRGAS Vertical Reference System (SVRS) in Latin America and the Caribbean. The standards, procedures and activities aiming the definition and realization of the SVRS are now directed to meet the modern international requirements of integration into a Global Vertical Reference System (GVRS) to

support the needs for Earth Observation Systems. These statements imply in a unification of the existing National Vertical Reference Systems (NVRS), each one with its respective Frame (NVRF) and Vertical *Datum* (NVD) realized in the geopotential space. The study of new possibilities for connecting NVRS in a global basis is in the context of the International Association of Geodesy (IAG) main activities. However, most of modern requirements are not immediately applicable for building the SVRS because the differences in the conception and realization of each NVRS in the SIRGAS region. In this work an overview about the status of NVRS, NVR Fand NVD in South America is presented. The most important characteristics for unifying NVRS in a global context as well as the main related problems are presented. Some emphasis is given on the activities of SIRGAS-Working Group III directed for facing the integration problems in South America. The poor data availability, unknown discrepancies among NVRS, different data collecting and processing strategies for establishing the networks, and other error sources are discussed. The possibilities coming from new strategies and modern tools are discussed mainly by considering new missions and global data basis of Geodesy.

Key words: *SIRGAS, SIRGAS-WGIII, Vertical Reference Systems and Frames.*

Introduction

Among the main Geodesy activities in the present global context are those for supporting spatial databases directed for Earth Observing Systems. This is the central purpose of the Global Geodetic Observing System (GGOS) inside of IAG structure. In the GGOS/IAG kern there is the global geodetic infrastructure formed by the terrestrial geodetic reference systems, frames, platforms and models, associated data and activities. In this infrastructure there are the continuous observing stations for several parameters as well as the dedicated spatial missions based on artificial satellites, data centers, analysis and combination centers, and international cooperation projects. Several planetary monitoring processes in the GGOS context present relative precision requirements on the spatial referencing tasks in the order of one part per billion —1ppb (Plag *et al.*, 2009). This is the case of needs related to a Global Vertical Reference System (GVRS). The GVRS became fundamental for monitoring the physical process related to the changes in Earth's System, mainly because masses redistribution effects. In general these effects must be described by their vertical movements in the geopotential space in association with the related level surfaces. However, more than a hundred of independent National Vertical Reference Systems (NVRS) exist in the world. Each NVRS has its own Vertical Datum (NVD) and Frame (NVRF) realized with different methods and standards, and, in general, without physical meaning. These facts impose an implicit requirement related to gravity field information for realizing and integrating each NVRS to a GVRS. Considering these aspects, conventions and standards for definition and

realization of GVRS are now under consolidation in the GGOS/IAG context (Kutterer *et al.*, 2012; Sánchez *et al.*, 2013; IUGG, 2015).

According to the SIRGAS web page <www.sirgas.org>

The 26th of February, 2015 General Assembly of the United Nations adopted its first Resolution on the Global Geodetic Reference Frame for Sustainable Development. With this Resolution, it is recognized the importance of a globally-coordinated approach to Geodesy: the science focused on accurately measuring the shape, rotation and gravity field of planet Earth. SIRGAS, as the responsible for the reference frame in Latin America and the Caribbean, contributes to this initiative together with the International Association of Geodesy (IAG), the Pan-American Institute for Geography and History (PAIGH), the Regional Committee of the United Nations Global Geospatial Information Management for the Americas (UN-GGIM: Americas) and GeoSur.

SIRGAS is part of IAG through the Sub-Commission 1.3b -“Regional Reference Frames” and it is a Working Group of the PAIGH Cartography Commission. SIRGAS has as one of its objectives to define a geocentric reference system for the Americas with the vision of standardizing its realization and maintenance, and therefore, its continuous modernization. Within SIRGAS there are three Working Groups, which are essential for developing its activities: SIRGAS-WGI-Reference System; SIRGAS-WGII-SIRGAS at National Level; and SIRGAS-WGIII-Vertical Datum. Nowadays, SIRGAS-WGIII is looking for the definition of a modern unified SIRGAS Vertical Reference System (SVRS) and for establishing their corresponding reference frame (SVRF) based on geopotential numbers related to a GVRS. The regional integration of NVRS considering their respective NVRF and each corresponding Vertical Datum must be based on a GVRS. To perform this integration, it is necessary to know the characteristics of each local network at different countries in the SIRGAS region. To align to this purpose, SIRGAS-WGIII is looking for the standards related to the SVRS by considering the integration of its geometric and physical components. The geometrical component corresponds to ellipsoidal heights referred to the SIRGAS GNSS Continuous Network (SIRGAS-CON) and the physical component is given in terms of geopotential numbers for assuring physical meaning for heights and in accordance with a GVRS. This means the choice of an equipotential surface expressed by its geopotential value W_0 as a reference level and geopotential numbers as primary coordinates given by (Hofmann-Wellenhof and Moritz, 2005):

$$C_P = W_0 - W_P \quad (1)$$

Where W_P is the geopotential value in the considered point P . Heights with physical meaning could be obtained from geopotential numbers in a general way by:

$$H_P^K = \frac{C_P}{G_m} \tag{2}$$

Where G_m is a mean value of gravity. Considering the reference surfaces in the geopotential space in the Figure 1, the three main kinds of heights with physical meaning are (De Freitas and Blitzkow, 1999): *Orthometric* is the distance P_0P along the plumb line (simplified by the ellipsoid normal in the Figure 1) from the geoid to the point at the surface. G_m is equal to the mean value of gravity g_m between the point P and the geoid - the reference surface is the geoid and points at the same level surface in general have differences in orthometric heights. The distance $Q_0P_0=N$ is called geoid height; *Dynamic* is the distance obtained when G_m is equal to the mean value of normal gravity¹ $\gamma_{\varphi m}$ (e.g. for a mean latitude $\varphi=45^\circ$) – it is not represented in the Figure 1 because there is no reference surface to it and points on the same level surface have the same dynamic height; *Normal* is the distance Q_0Q along the normal from the level ellipsoid to the telluroid Σ or the distance $Q'P$ from the quasigeoid to the point P . G_m is equal to the mean value of theoretical gravity γ_m between a point Q where the normal potential U_Q is defined to be equal to the geopotential at W_p in a point P at the surface² – the reference surface is the quasigeoid and points at the same level surface in general does not have the same normal height.

At most of NVRF in the SIRGAS context, it is only possible to determine geopotential differences among small quantity of points where gravity data exists and because each NVD is on a local equipotential surface W_{0i} , in general different of a global adopted value W_0 . The NVD are, in general, associated with local Mean Sea Level affected by local disturbances, and referred to an arbitrary epoch t_0 . Besides, each NVRF has its own characteristics and internal distortions along with leveling lines (De Freitas *et al.*, 2002).

Considering these precedent aspects, the main present objective of SIRGAS-WGIII is to establish a unified gravity-field related SVRS that meets the GGOS requirements on long-term stability and homogenous high-reliability. In this manuscript the foundations of modern Vertical Reference Systems and the activities developed by the SIRGAS-WGIII for establishing the SVRS as well as the obtained results until now are presented.

¹ Theoretical value of gravity produced by the normal Earth based on the level reference ellipsoid.
² The set of points which accomplish this property form a surface Σ in the Figure 1 (telluroid). The distance ζ from the telluroid to the surface is called height anomaly. The quasigeoid is the surface determined by the corresponding height anomalies over the level ellipsoid.

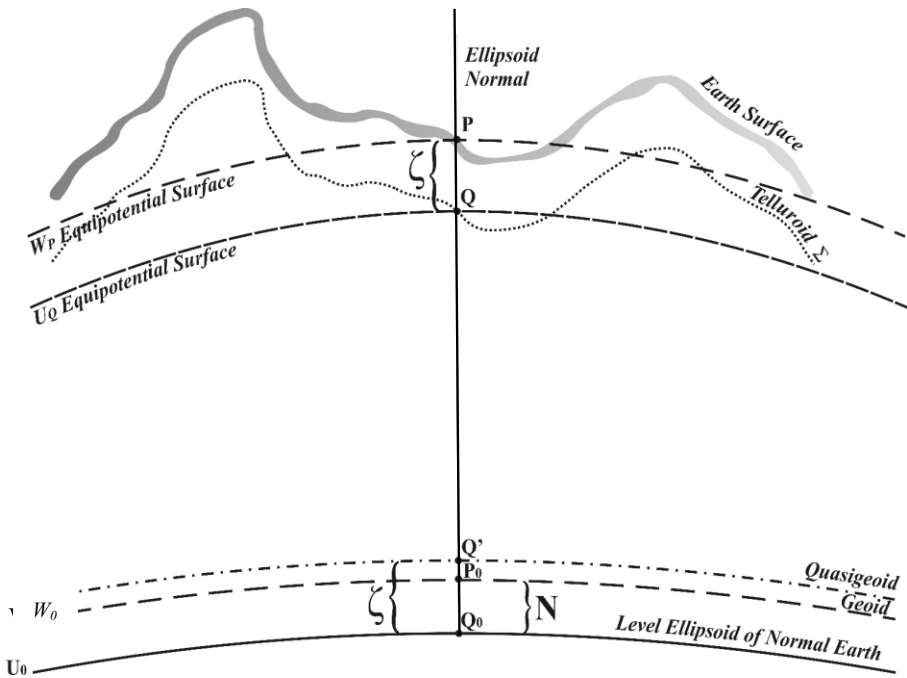


Figure 1. Reference surfaces for heights in the geopotential space

The GGOS/IAG Global Vertical Reference Systems and the SVRS

According to (Sánchez *et al.*, 2013):

The GGOS/IAG established in 2010 its Theme 1: Unified Height System. The main purpose is to provide a global gravity field-related vertical reference system that (1) supports a highly-precise (at cm-level) combination of physical and geometric heights worldwide; (2) allows the unification of all existing local height datums; and (3) guarantees vertical coordinates with global consistency (the same accuracy everywhere) and long-term stability (the same order of accuracy at any time). The primary coordinates of this height system are geopotential numbers referring to one and the same reference level realized globally by its geopotential value W_0 .

Studies developed since the creation of the SIRGAS-WGIII pointed out some singular characteristics of NVRF and available gravity data in Latin America and the Caribbean. Each of these networks has specific features related to their definitions and realizations as well different approaches for their maintenances. These aspects implies in some important distinctions such as: differences in the NVD due the variability of the mean sea level at different locations and the reference epoch of the tide gauge records or arbitrary reference levels for land-locked countries; the

partial or complete lack of correction from gravity field effects on leveled heights; the no-consideration for geodynamics effects. Because of these aspects, the heterogeneity of the information obtained is evident, and generates height discrepancies between neighboring countries. As main consequence the NVRF do not permit data exchange neither in continental nor in global scale. In short, the present networks in the SIRGAS region do not allow the exchange of consistent vertical geographic information. They are not able to support practical height determination with Global Navigation Satellite System (GNSS) techniques in combination with existing tailored geoid or quasi geoid models in the continent, usually affected by non-modeled indirect effects coming from each NVD (Gatti *et al.*, 2012) as well as effects coming from implicit deformations in the networks by disregarding local gravity field effects. With this, a new challenge for SIRGAS arises, which is the vertical data interoperability through the creation and updating of standards and conditions mainly by taking into account gravity field effects on vertical networks. Along with this big challenge there is another important point to be considered: the modernization of the employed techniques and new existing tools in a global context for obtaining spatially referenced information. Considering these two important referred precedent aspects, the present objective of SIRGAS-WGIII is establishing a unified gravity-field related SVRS that meets the GGOS requirements on long-term stability and homogenous high-reliability, as previously pointed out in this manuscript.

Basic concepts on geopotential numbers in local and global systems

Classical NVRF were by more than a century established based on spirit leveling in general along roads or railroads because the limitations of the technique. Even considering the modern digital levels and rods, the spirit leveling remains a very expensive technique in terms of time and efforts for accomplishing results. However, considering the modern spring gravimeters, it is possible to easily associate gravity observations with classical leveling. Nowadays other possibilities for leveling with physical meaning appear. This happened after the full operation of the Global Positioning System (GPS) and other Global Navigation Satellite Systems (GNSS). They allow new possibilities for leveling associated with gravity observations elsewhere. The present possibilities are reinforced by new products of Geodesy like modern Global Geopotential Models (GGMs) and Digital Elevation Models (DEMs) improved in accuracy, consistency and spatial resolution by satellite-based observations.

Geopotential numbers in local Systems

The geopotential numbers C_{Pi} along with conventional leveling lines in NVRF could be determined with basis on equation (1) by:

$$C_{Pi} = W_{0i} - W_P = \int_{0i}^P g dn \cong \sum g_{mj} \Delta n_j \quad (3)$$

In equation (3) g is the gravity value, g_{mj} is the mean value of gravity in a leveling section j (e.g. $\sim 3\text{km}$) and Δn_j is the observed level difference between the extremes of the section.

Geopotential numbers in a global System

In a modern approach, other possibilities coming from the solution of the Geodetic Boundary Value Problem (GBVP) can be considered, when the geometry of the Earth's surface is known. This possibility arises from the modern tools of Geodesy for positioning and gravimetry (Ferreira and De Freitas, 2011). It is possible in this case to assume that in each point the only unknown is the geopotential W_P if the Earth's surface is used as a contour surface (Heck, 2011). In this case, it is important to consider the possibilities coming from gravity observations associated with GPS/GNSS positioning for determining gravity disturbances:

$$\delta g_P = g_P - \gamma_P \quad (4)$$

In equation (4) g_P is the observed gravity in P and γ_P is the normal gravity reduced to P by considering the observed ellipsoidal height and by applying the gradient of the normal gravity which is discussed in the next section.

Normal gravity

According Clairaut's formula, the normal gravity for the latitude φ at the level ellipsoid is given by (Hofmann-Wellenhof and Moritz, 2005):

$$\gamma = \gamma_e (1 + \beta \sin^2 \varphi + \beta' \sin^2 2\varphi) \quad (5)$$

In the equation (5) γ_e is the normal gravity at the equator and the other involved parameters are:

$$\beta = \frac{5}{2}m - f - \frac{17}{14}mf \quad (6)$$

$$\beta' = \frac{f^2}{8} - \frac{5mf}{8} \quad (7)$$

$$m = \frac{a\omega^2}{\gamma_e} - \frac{3}{2}m^2 \quad (8)$$

In the previous equations ω is the angular velocity of the Earth, $f = (a - b)/a$ is the geometrical flattening with a and b being respectively the major and minor semi-axes of the level ellipsoid.

Other equivalent possibility for computing the normal gravity is to consider the Somigliana formula:

$$\gamma = \frac{a\gamma_e \cos^2 \varphi + b\gamma_p \sin^2 \varphi}{(a^2 \cos^2 \varphi + b^2 \sin^2 \varphi)^{1/2}} \tag{9}$$

In the equation (9) γ_p is the normal gravity at the pole. In Table 1 numerical values for associated parameters related to the Geodetic Reference System 1980 (GRS1980) are presented.

The normal gravity above the level ellipsoid is obtained by considering the gradient of the normal gravity above the level ellipsoid as proposed by Bruns (details in Hofmann-Wellenhof and Moritz, 2005, p. 81-82). Considering the ellipsoidal height h in a rigorous form, the normal gravity above the level ellipsoid is given by:

$$\gamma_h = \gamma - \frac{2\gamma_e}{a}(1 + f + m - 2f \sin^2 \varphi)h + \frac{3\gamma_e}{a^2} h^2 \tag{10}$$

By considering a simplification given by the mean value for the gradient of normal gravity, the normal gravity above the level ellipsoid is given by:

$$\gamma_h = \gamma - 0.3086h \tag{11}$$

Table 1
Numerical values for GRS1980

<i>Parameter</i>	<i>Symbol</i>	<i>Value</i>
Major semi-axis	a	6378137 m
Minor semi-axis	b	6 356 752.3141 m
Flattening	f	1:298.257222 101
Angular velocity	ω	7 292 115 x 10 ⁻¹¹ rad/s
Geocentric gravitational constant	GM	398 600.5 x 10 ⁹ m ³ s ⁻²
Equatorial rate of specific forces	m	0.00344978600308
Tide free Earth dynamic form factor	J_2	108 263x 10 ⁻⁸
Normal gravity at the equator	γ_e	9.7803267715ms ⁻²
Normal gravity at the pole	γ_p	9.8321863685 ms ⁻²
Normal potential at the level ellipsoid	U_0	62636860.850 m ² s ⁻²

Source: Hofmann-Wellenhof and Moritz (2005, pp. 84-86).

The geopotential at a point P in the Earth' surface is given by:

$$W_P = U_P + T_P \quad (12)$$

In the equation (12) U_P is the normal potential at P given by:

$$U_P = U_0 + \frac{\partial U_0}{\partial h} h_P \quad (13)$$

Then, considering equation (1), the gravity disturbance could be used for solving the GBVP and obtaining the disturbing potential T_P at Earth's surface points. The knowledge of T_P allows the direct computation of C_P in a GVRs as:

$$C_P = W_0 - W_P = W_0 - (U_P + T_P) \quad (14)$$

For this, it is necessary to consider the fundamental limit condition:

$$\frac{\partial T}{\partial h} = -\delta g \quad (15)$$

In consequence, the disturbing potential could be determined from the formula based on a Brovar type solution for the GBVP fixed at the Earth's surface and considering the Brun's equation $\zeta = T_P/\gamma$ (Heck, 2011):

$$T_P = \zeta\gamma = \frac{R}{4\pi} \iint_s (\delta g + g_1 + \dots) H(\psi) \cdot ds \quad (16)$$

where R is the mean Earth's radius, ζ is the height anomaly, γ is the normal gravity and $H(\psi)$ is the Hotine-Koch's function based on the geocentric angular distance ψ (Hofmann-Wellenhof and Moritz, 2005, p. 115) given by:

$$H(\psi) = \frac{1}{\sin\left(\frac{\psi}{2}\right)} - \ln \left(1 + \frac{1}{\sin\left(\frac{\psi}{2}\right)} \right) \quad (17)$$

And the contribution from anomalous elements in terrain is:

$$g_1 = \frac{R^2}{4\pi} \iint_s \left(\frac{h - h_P}{\ell_0^3} \right) \delta g \cdot ds \tag{18}$$

In equation (18) ℓ_0 is the Euclidian distance from the computation point P to the disturbing element at the Earth’s surface given by (Hofmann-Wellenhof and Moritz, 2005, p. 115):

$$\ell_0 = 2R \sin\left(\frac{\psi}{2}\right) \tag{19}$$

An equation like (16) is adequate to be solved with basis on the Fast Fourier Transform (FFT) technique (Sideris and Schwarz, 1986). This approach allows the spectral decomposition of the disturbing potential in the so called Remove-Restore process (Forsberg and Tscherning, 1981). The solution by spectral decomposition allows using related gravimetric information coming from different sources. It is the case where it is possible to integrate observed gravity disturbances, predict values from modern Global Geopotential Models (GGM) and values for gravity disturbances deduced from terrain effects like in the Residual Terrain Model (RTM) based on Digital Elevation Models (Forsberg, 1984; Hirt *et al.*, 2010). In this sense it is possible to consider by spectral decomposition (Ferreira and De Freitas, 2011):

$$\delta g_{RES} = \delta g_{OBS} - \delta g_{GGM} - \delta g_{RTM} \tag{20}$$

The integral (16) is solved by using only the small residual gravity disturbance given by equation (20). Then, it is possible to compute T_{RES} and the whole disturbing potential is obtained in a composition process by:

$$T = T_{RES} + T_{GGM} + T_{RTM} \tag{21}$$

In equation (21) the terms at the right side are all known.

In a preliminary approach, it is possible to obtain the discrepancy between the Global Vertical Datum (GVD) and the National Vertical Datum (NVD) in terms of the geopotential number. The difference between equations (14) and (3) at the same point results:

$$C_P - C_{Pi} = W_0 - W_{0i} = \delta W_i \cong (U_P + T_P) - \sum g_{mj} \Delta n_j \tag{22}$$

Indeed, the difference between the geopotential numbers at any point must represent the discrepancy between the global and local vertical datums (GVD and LVD) represented by δW_i . The discrepancy between the GVD and LVD in units of length could be given by:

$$\delta H = \frac{\delta W_i}{\gamma_i} \quad (23)$$

However, there are implicit observation errors in leveling, positioning and gravimetry, as well as commission and omission errors in GGM and DEM associated to the determination of parameters in the right-hand side of equation (22). Hence estimations of δW_i must be done by a least square adjustment of observed geopotential differences along the NVRF on a large number of points where T_P was determined in the GVRS or by solving the GBVP at the vertical datum region where distortions in the leveling lines could be considered under the intended precision.

Activities of SIRGAS–WGIII and the present status of the SVRS

The SIRGAS–WGIII was established in 1997 during the IAG General Assembly at Rio de Janeiro aiming to define a modern unified vertical reference system for SIRGAS, to establish the corresponding reference frame, and to transform the existing classical height datums to the new system. Since its foundation most of activities have been directed to inventory and diagnostic tasks, and attempts to form a database. The present status of database in South America consisting of leveling lines associated with existing gravity observations is displayed in Figure 1. This database is essential for a first attempt to adjust geopotential numbers.

There are some activities developed by the SIRGAS-WGIII which support the determination of the geometric and physical components of the SVRS. In the SIRGAS observing campaign of 2000 the basis of the geometric component were established by GPS observing stations associated with NVD, points on benchmarks of NVRF and connection points at national borders. Nowadays, most of these stations are in the SIRGAS Continuous GNSS network (SIRGAS-CON). Following the SIRGAS 2000 campaign, there was an expressive participation of people involved in the SIRGAS-WGIII in the IAG Symposium “Vertical Reference System” (VeReS) that happened in Cartagena, 2001. From this participation resulted eight scientific papers published in the IAG Symposia Series, vol. 124 (VeReS, 2002). The scientific foundations of the SVRS were established there (Drewes *et al.*, 2002).

A first formal diagnosis of the NVRS and NVRF status in the SIRGAS-WGIII context was generated in 2005. It resulted in a detailed report which emphasizes

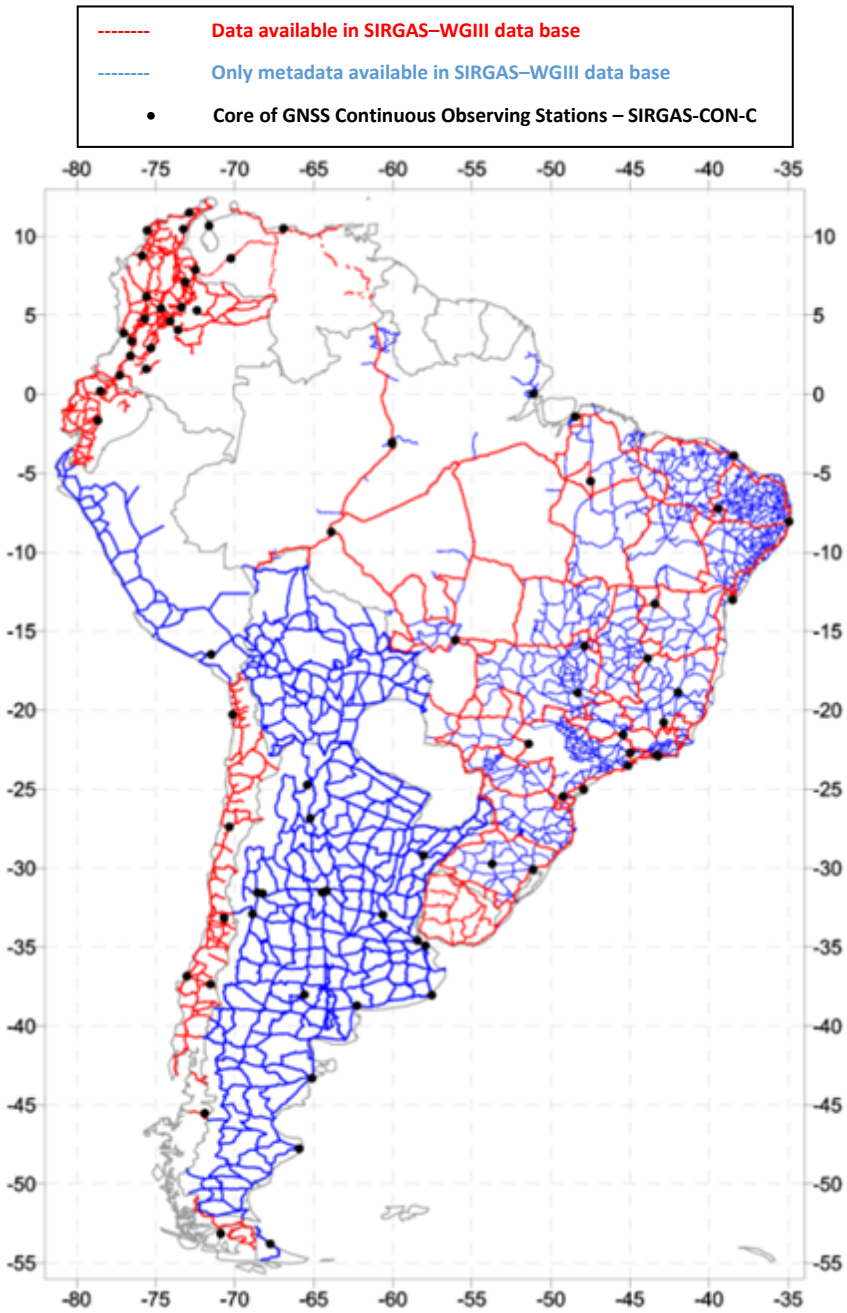


Figure 2. Leveling lines with gravity observation in South America available for SIRGAS-WGIII (Brunini *et al.*, 2011).

that NVD in Latin America refer to different reference levels and different epochs; besides, in most of the countries the vertical networks were established and adjusted without considering information coming from gravity reductions of the leveled heights. It is possible to observe large discrepancies among heights in the same point considering the NVRS of neighboring countries. A serious implication is that the mentioned discrepancies coming from datums referred to different reference surfaces and distortions along leveling lines do not permit data exchange neither in continental nor in global scale. Another aspect inside the problem is that the NVRS do not take care of the height and reference level variations with time. In general, the adopted standards for system, vertical datum and frame realization differ from country to country. A synthesis of the main problems related to SVRS was presented in the Report 2010-2011 of SIRGAS (Brunini *et al.*, 2011).

It is possible to note in Figure 2 that the vertical data distribution in South America is heterogeneous, with large regions without related information like in the Amazon. If considered only the Brazilian case, there are more than 65 thousand benchmarks linked by about 160 000 km of leveling lines. It is clear that it is almost impossible to cover the empty regions with leveling lines using a conventional leveling approach.

As result of several discussions, mainly during the SIRGAS 2011 meeting (see Sánchez and Luz, 2011), the SIRGAS-WGIII concluded that there are other implicit problems associated with the establishment of the SVRS based on the unification of NVRS by adjusting geopotential numbers. Among them there is the heterogeneity in knowledge by people involved in the respective national institutions responsible for NVRS with respect to the scientific foundations of modern vertical reference systems and modern tools for realizing the frames. Also, it is possible to observe a general deficiency related to the organization of consistent databases needed for data interchanges and use in common multinational projects. A first attempt of SIRGAS-WGIII for overcoming these problems was the organization of the SIRGAS Workshop on Vertical Datum Unification, held in 2012 in Rio de Janeiro, Brazil. This workshop was focused on basic concepts about vertical reference systems and strategies for data processing. The first SIRGAS School on Vertical Reference Systems happened in La Paz, Bolivia, in 2014, in conjunction with the SIRGAS 2014 meeting. This school covered scientific and practical aspects related to modern height systems, GVRS, least square adjustment, gravimetry, geopotential numbers, data inventory and databases, new tools of Geodesy and modern approaches for solving the GBVP. The implications of connecting networks, determination of conversion parameters and vertical datum unification were also discussed. The school was repeated in Curitiba, Brazil, in May 2015, as part of the SIRGAS-WGIII Workshop on Consolidation of strategies for unifying NVRS of SIRGAS Member Countries. In this workshop a first attempt for least square adjustment of

geopotential numbers in the SIRGAS region has been tried. However, because the different status of countries data bases development and people capabilities this first solution was not achieved in full.

In synthesis, the main statements for SVRS up dated until now can be extracted from <www.sirgas.org/index.php?id=56&L=2>. They are:

- To refers to a unified global reference level W_0
- To be realized by proper physical heights (derived from spirit levelling in combination with gravity reductions)
- To be connected to the SIRGAS geometrical reference system; and
- To be associated to a specific reference epoch, i.e. it should consider the coordinate and frame changes with time.

The official recommendation of SIRGAS about the physical heights is to adopt normal heights. However, since some countries want to use orthometric heights, it was decided to define the new vertical reference system in terms of geopotential quantities (W_0 as a reference level and geopotential numbers as primary coordinates), and then, in the realization, each country can introduce the desired physical heights with their respective reference surface: the geoid or the quasi geoid.

Conclusions

This manuscript described the main foundations and some steps considered fundamental for integrating the National Vertical Reference Systems (NVRS) into the SIRGAS Vertical Reference System (SVRS). The main developed activities of SIRGAS-WGIII for establishing the SVRS were presented. A basic conclusion is that SVRS and its realization can be obtained from the integration of each NVRS into a Global Vertical Reference System (GVRS) under the Global Geodetic Observing System (GGOS)'s Global Vertical Reference System (GVRS) conventions.

There is a lack of height and gravity information in large areas in Latin America. Where such kind of data exist, they are in part misorganized and, in consequence, inadequate for determining physical heights consistent with a GVRS. One of SIRGAS-WGIII aims is training people as protagonist in database organization and processing following the specifications of the Regional Committee of the United Nations Global Geospatial Information Management for the Americas (UNGGIM: Americas) for building a future Spatial Data Infrastructure for the Americas, base for spatial data interchanging among countries and of GGOS/IAG. The continuous inventory of data in each country is fundamental for establishing solution strategies in regional integration of NVRS and a link to a GVRS.

It is almost impossible to fill in vertical and gravity data gaps in the SIRGAS region by the expensive conventional leveling methods. As other possibilities for

obtaining height with physical meaning based on satellite based systems exist, SIRGAS-WGIII has established activities for training involved people for using such new possibilities.

References

- Brunini, C.; Sánchez, L.; Martínez-Díaz, W.A. and Luz, R.T. (eds.) (2011). “Reporte 2010-2011”, *Boletín Informativo SIRGAS No. 16*. Available from <www.sirgas.org/fileadmin/docs/Boletines/Boletin_SIRGAS_No_16.pdf>
- De Freitas, S.R.C. e Blitzkow D. (1999). “Altitudes e Geopotencial” (in portuguese). *IGeS Bulletin* No. 9, pp. 47-62, International Geoid Service, Milan.
- De Freitas, S.R.C.; Medina, A.S. and Lima, S.R.S. (2002). “Associated problems to link South American Vertical Networks and possible approaches to face them”, in Drewes, H.; Dodson, A.H.; Fortes, L.P.S.; Sánchez, L. and Sandoval, P. (Eds.). “Vertical Reference Systems”, *IAG Symposium 124*, Cartagena, Colômbia. Berlim, Springer-Verlag, pp. 318-323.
- Drewes, H.; Sánchez, L.; Blitzkow, D. and De Freitas, S.R.C. (2002). “Scientific foundations of the SIRGAS vertical reference system”, in Drewes *et al.*, (Eds.) *IAG Symposia*, 124, 297-301, Springer.
- Ferreira, V.G. and De Freitas, S.R.C. (2011). “Geopotential numbers from GPS satellite surveying and disturbing potential model: a case study of Parana, Brazil”, *J. Applied Geod.*, 5, 155-162.
- Forsberg, R. and Tscherning, C.C. (1981), “The use of height data in gravity field approximation by collocation”, *J. Geophys. Res.*, 86, 7843-7854.
- Forsberg, R. (1984). “A study of terrain reductions, density anomalies and geophysical inversion methods in gravity field modelling”, *Report No. 355*, Ohio State University.
- Gatti, A.; Reguzzoni, M. and Venuti G. (2012). “The height datum problem and the role of satellite gravity models”, *J. Geod.*, pp. 1-8.
- Heck, B. (2011). “A Brovar-type solution of the fixed geodetic boundary-value problema”, *Stud. Geophys. Geod.*, 55, 441-454.
- Hirt, C.; Featherstone, W.E. and Marti, U. (2010). “Combining EGM2008 and SRTM/DTM2006.0 residual terrain model data to improve quasi geoid computations in mountainous areas devoid of gravity data”. *J. Geod.*, 84(9), 557-567.
- Hofmann-Wellenhof B. and Moritz H. (2005). *Physical geodesy*, Springer Wien New York.
- Kutterer H.; Neilan R.; Bianco G. (2012). Global Geodetic Observing System (GGOS), in Drewes H., H. Hornik; J. Ádám and S. Rózsa (Eds.). “The geodesist's handbook 2012”. *J. Geod.*, 86(10), 915-926.

- Plag, H-P. and Pearlman, M. (Eds.) (2009). *Global Geodetic Observing System, meeting the requirements of a global society on a changing planet in 2020*, Springer, Berlin.
- Sánchez, L. (2005). “Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas, Grupo de Trabajo III: Datum Vertical SIRGAS-GTIII”. *Reporte 2005*. Available from <www.sirgas.org/fileadmin/docs/Boletines>.
- Sánchez, L. and Luz, R. (2011). “Requerimientos para la unificación de los sistemas de alturas existentes en la Región SIRGAS”, in *SIRGAS 2011 meeting*, Heredia, Costa Rica. Available from: <http://www.sirgas.org/fileadmin/docs/Boletines/Bol16/Sanchez_Luz_Unificacion_sistemas_de_alturas.pdf>.
- Sánchez, L.; Dayoub, N.; Čunderlík, R.; Mikula, K.; Minarechová, Z.; Šíma, Z.; Vátrt, V. and Vojtíšková, M. (2013). “Conventional reference level for a global unified height system On behalf of the WG on Vertical Datum Standardization”, *IAG General Assembly: IAG 150 years*, Potsdam, Germany. Available from: <https://www.researchgate.net/publication/263465350_Conventional_reference_level_for_a_global_unified_height_system_On_behalf_of_the_WG_on_Vertical_Datum_Standardization>.
- Sideris, M.G. and Schwarz and K.P. (1986). “Solving Molodensky’s series by fast Fourier transform techniques”, *J. Geod.*, 60, 51-63.
- VeReS. (2002). “IAG Symposium on Vertical Reference System”, Cartagena, Colombia, 2001. Drewes, H.; Dodson, A. H.; Fortes, L. P. S.; Sánchez, L. and Sandoval, P. (Eds.). *IAG Symposia 124*, Springer.

Cadastro Territorial como instrumento de desenvolvimento de projetos de requalificação urbana

Ricardo J. Bonilla*
Andrea F.T. Carneiro**

Recebido el 21 de abril de 2015; aceito el 16 de agosto de 2015

Resumen

La importancia de las informaciones territoriales integradas generadas por el Catastro Multifinanciar para acciones de planeamiento urbano, motivó la realización de esta investigación, cuyo objetivo principal es analizar el contenido y la aplicación del Catastro Multifinanciar como instrumento para la recalificación urbana. A través de un experimento realizado con el apoyo de geotecnologías, se buscó identificar y seleccionar inmuebles que atiendan a parámetros predefinidos para sugerir su recalificación. La zona elegida para el análisis propuesto fue la colonia Boa Vista y alrededores, ubicada en la zona central de la ciudad de Recife-PE, Brasil, que posee una gran variedad de inmuebles y servicios, una ocupación caracterizada por zonas en franca expansión inmobiliaria que contrasta con zonas de abandono y deterioro urbano. Como resultados, se presentan en este artículo la metodología y las conclusiones de los análisis efectuados para la identificación de terrenos con la finalidad de ocupación por reemplazo y terrenos cuyo potencial constructivo pueda ser transferido a otro inmueble.

Palabras clave: *cadastro multifinanciar, recalificación urbana, planeamiento urbano.*

Abstract

The importance of the integrated territorial information generated by the multipurpose cadastre for urban planning actions motivated the realization of this

* Alumno del Programa de Maestría y Doctoramiento en Desarrollo Urbano de la Universidade Federal de Pernambuco, Brasil (UFPE), e-mail: ricardobonilla@gmail.com

** Profesora del Departamento de Ingeniería Cartográfica de la Universidade Federal de Pernambuco, Brasil (UFPE), e-mail: aftc@ufpe.br

research, whose principal objective is to analyze the content and the application of the multipurpose cadastre as an instrument for urban requalification. Through the analysis, carried out with the aid of geotechnologies based on Geographic Information Systems, the aim was to identify and select properties that attend predefined parameters, with the purpose of suggesting their requalification. The area chosen for the proposed analysis was the Boa Vista district and adjacent areas. Localized in the central region of Recife city, Brazil, which have a great variety of properties and services, whose occupation is characterized by areas that are in real state expansion, in contrast with abandoned zones and urban deterioration. As a result. As a result, we present in this article the methodology and results of analyzes for the identification of land for the position for replacement and land whose constructive potential can be transferred to another property.

Key words: *multipurposecadastre, urbanrequalification, urbanplanning.*

Resumo

A importância das informações territoriais integradas geradas pelo Cadastro Multifinalitário para ações de planejamento urbano motivou a realização desta pesquisa, cujo objetivo principal é analisar o conteúdo e a aplicação do Cadastro Multifinalitário como instrumento para a requalificação urbana. Através de um experimento realizado com o apoio de geotecnologias, procurou-se identificar e selecionar imóveis que atendam a parâmetros predefinidos, a fim de sugerir a sua requalificação. A área escolhida para a análise proposta foi o bairro da Boa Vista e adjacências, localizado na região central da cidade de Recife-PE, Brasil, que possui uma grande variedade de imóveis e serviços, e uma ocupação caracterizada por áreas em franca expansão imobiliária, contrastadas com zonas de abandono e deterioração urbana. Como resultados, apresentam-se neste artigo a metodologia e os resultados das análises realizadas para a identificação de terrenos com o fim de ocupação por substituição e terrenos cujo potencial construtivo possa ser transferido para outro imóvel.

Palavras chaves: *cadastro multifinalitário, requalificação urbana, planejamento urbano.*

Introdução

Segundo Erba (2005), o Cadastro Multifinalitário urbano se presta como ferramenta fundamental para o planejamento das cidades, à medida que fornece informação precisa (dados físicos situados em um sistema cartográfico) associada a parâmetros como localização geográfica de todos os imóveis da cidade, ocupação ou finalidade de cada imóvel, uso atual do solo dentro de cada imóvel, entre outros.

O trabalho desenvolvido procurou estabelecer o papel do cadastro multifinalitário como uma das principais ferramentas para o planejamento urbano. Através do uso dos dados pertencentes a diversos cadastros territoriais de Recife, esta pesquisa buscou identificar imóveis com as seguintes características, importantes para projetos de requalificação urbana:

- I. Lotes que permitam o uso comercial para estacionamento;
- II. Edificações que permitam a recuperação/reutilização, com a finalidade de uso habitacional;
- III. Imóveis para a ocupação por complementação, com a finalidade de uso habitacional;
- IV. Terrenos para a ocupação por substituição, sem finalidade pré-determinada;
- V. Terrenos cujo Potencial Construtivo possa ser transferido para outro imóvel baseado no instrumento da TDC – Transferência do Direito de Construção, descrito no Estatuto das Cidades (Brasil, 2005).

Neste artigo, baseado em Bonilla (2007), são apresentados os resultados das análises realizadas para atender aos itens ‘IV’ e ‘V’.

O Cadastro Territorial Multifinalitário (CTM)

Já nos primórdios da civilização, surge a necessidade de identificar a porção territorial possuída por cada cidadão, seja para fins de tributação, seja para garantia da posse ou propriedade. Independentemente do modelo cadastral atualmente desenvolvido em cada país, pode-se identificar uma função comum: todos os cadastros visam a identificar unidades territoriais (que podem ser imóveis ou parcelas) e seus ocupantes (ou proprietários). Por outro lado, a concentração das populações em áreas urbanas vem aumentar a complexidade das relações do homem com a terra, de tal forma que, a eficiência da gestão territorial urbana passa a depender das informações territoriais integradas que podem ser proporcionadas por um cadastro multifinalitário moderno.

Sistemas cadastrais eficientes apoiam mercados imobiliários efetivos, aumentam a produtividade da agricultura, facilitam o desenvolvimento sustentável, o gerenciamento ambiental, a estabilidade política e a justiça social (Williamson, *Apud* Carneiro, 2003).

Um CTM caracteriza-se como uma base oficial de dados físicos/geométricos, jurídicos e econômicos, metodicamente organizados, referentes a unidades territoriais. A multifinalidade pressupõe a utilização dessa base única por diferentes usuários e, segundo Águila e Erba (2006), esta multifinalidade se consegue

mediante a ‘coordenação’ e não a partir da ‘centralização’ de dados e informações. Alcázar (2007) lembra que a ordenação territorial é a ferramenta fundamental para estabelecer as grandes linhas de desenvolvimentos futuros, os critérios para regular a evolução das cidades e seu entorno, os investimentos em infraestrutura e espaços produtivos e muitas outras utilizações que se poderiam citar.

Para que o CTM possa cumprir a sua finalidade original, devem ser considerados aspectos administrativos, que promovam a integração entre instituições e o compartilhamento das informações, legais, que proporcionem um marco jurídico para ações cadastrais e técnicas atribuindo responsabilidades e direitos sobre a sua implementação e gerenciamento, e técnicas, para um melhor uso das geotecnologias disponíveis bem como a identificação única de imóveis e uma perfeita compilação de levantamentos e plantas produzidos pelos diferentes provedores da informação.

O CTM no Planejamento Urbano

É impossível administrar uma propriedade sem conhecê-la em sua essência, pois seu valor advém de sua exploração segundo a sua aptidão (Dresbach, *Apud* Erba, 2005).

O cadastro técnico multifinalitário urbano fornece informação precisa associada a parâmetros como:

- Ocupação ou finalidade de cada imóvel;
- Uso atual do solo dentro de cada imóvel;
- Áreas de litígio entre imóveis confrontantes;
- Regularização de títulos segundo as áreas;
- Base para a implementação de infraestrutura;
- Avaliação do imóvel para desapropriação, visando obras públicas;
- Base para o gerenciamento da construção civil, entre outros.

Para Erba (2005), os cadastros temáticos mais importantes inseridos no ambiente urbano são:

- Cadastro da rede viária urbana
- Cadastro da rede de drenagem natural (córregos, riachos e rios): permite uma série de correlações lineares com o saneamento básico, a saúde e a educação
- Cadastro imobiliário: correlaciona a parcela e o imóvel construído às leis vigentes que atuam nesta;
- Cadastro planialtimétrico urbano: fundamental para o planejamento dos serviços de infraestrutura urbana;

- Cadastro tributário: base para o lançamento de tributos, impostos e taxas de serviços. Sua atualização é fundamental;
- Cadastro de áreas verdes e de lazer;
- Cadastro de serviços de infraestrutura;
- Cadastro de glebas: provê de dados a planta de valores genéricos (base do sistema tributário urbano da cidade).

Mais do que o desafio contínuo de gerar informação territorial confiável e atualizada para a formação do CTM, constata-se a necessidade de padronizar processos e produtos relacionados à informação territorial no Brasil, a fim de que se possa disponibilizar o seu uso por parte das instituições públicas e privadas, dos profissionais interessados e da população em geral.

As Geotecnologias e o CTM

O uso de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) em aplicações urbanas é destacado por Piumeto (2006), como uma ferramenta que permite analisar, documentar, modelar, desenhar, implementar e gerir todas as situações do território que requerem uma adequada intervenção do estado local, desde seu estudo até a definição das políticas:

- Permitem modelar o espaço geográfico (ou território) integrando os dados cartográficos com fotos aéreas, imagens de satélites e bases de dados alfanuméricas, possibilitando a construção e manutenção de “modelos” precisos para o estudo, análise e a tomada de decisões sobre o território;
- Integram dados de distintas fontes, estruturas e formatos, armazenam informação descritiva (atributos) dos dados geográficos, bem como seus metadados, são capazes de trabalhar com distintos níveis de detalhe da informação geográfica segundo a escala de análise (generalização cartográfica) e possuem funções profissionais para a produção cartográfica;
- Realizam análise espacial, a partir do modelo construído do espaço geográfico permitem o desenvolvimento de análise de redes, análise sobre o relevo, superposição de dados, avaliação multicritério para a escolha de locais específicos, interpolação e obtenção de modelos, cálculo de geoestatísticas, etc;
- São capazes de apoiar análises multitemporais de dados geográficos, analisando processos de câmbio, degradação de zonas naturais, crescimento urbano, etc;
- Possibilitam e facilitam o trabalho multidisciplinar, disponibilizando acessos multiusuários organizados segundo o tipo de usuário (manutenção de dados, análise ou simples consultas) e proporcionando a cada um as ferramentas específicas para o trabalho em equipe.

Graafland (1999) define um sistema para a infraestrutura de geoinformação (*GI-infrastructure* ou em português SIG corporativo), trata-se de uma organização estruturada e uma rede integrada de conhecimentos e ferramentas técnicas para uso comum e múltiplo na organização como um todo. Destaca como elementos importantes desta infraestrutura: uma política de informação estratégica e tomada de decisão; redes computacionais e *data warehouse*.

Outra tendência de sistemas cadastrais modernos é a disponibilização de seus dados via internet, o *e-cadastro*, o que permite a democratização da informação cadastral promovendo uma maior transparência no processo. Os desafios e implantação destes sistemas são discutidos em publicações recentes, como Dang (2007), Hawerk (2006) e Riecken (2007).

Cartografia e Cadastro do Recife

Em Recife, a SEFIN (Secretaria de Finanças da Prefeitura do Recife) possui o Departamento de Tributos Imobiliários (DTI), o qual é responsável pela tributação imobiliária, ou seja: a manutenção do cadastro imobiliário e a administração e lançamentos do IPTU (Imposto Sobre a Propriedade Predial e Territorial Urbana), do ITBI (Imposto sobre a Transmissão de Bens Imóveis) e os direitos relativos, a Taxa de Limpeza Pública, a Contribuição para Custeio da Iluminação Pública e a Contribuição de Melhorias (Sarubbi Neto, 2005). A partir deste fato pode-se entender a necessidade fundamental de se ter um cadastro consistente e preciso que, além de atualizado, seja capaz de acompanhar a dinâmica do crescimento urbano.

De acordo com Sarubbi Neto (2005), a Prefeitura conta hoje com as seguintes bases de informações oficiais:

- Base Cartográfica Unificada, UNIBASE, resultado de convênio celebrado em 1984 por 14 prefeituras da região metropolitana do Recife, a FIDEM (Fundação Instituto de Desenvolvimento Municipal e Metropolitano), as concessionárias de serviços públicos, órgãos de trânsito e a EMTU (Empresa Metropolitana de Transporte Urbano), disponível em meio digital e planejada na escala 1/1.000. A UNIBASE encontra-se desatualizada em função da demora ocorrida na sua elaboração, na falta de investimentos para a sua atualização temporal e na falta de feedback por parte de todos os conveniados (os quais restringiram as atualizações por eles feitas ao uso interno) que proporcionasse uma diversificação das informações contidas;
- Cadastro Imobiliário Fiscal, descritivo e com as inconsistências de informações, localização ou, até mesmo, de inexistência de imóveis cadastrados;
- Mapa Urbano Básico, com informações de quadras e suas faces. Encontra-se desatualizado e possui uma base gráfica que diverge da UNIBASE;

- Recadastramento Predial 1997-2000. Realizado nesse período, levantou cerca de 50% dos imóveis cadastrados do Recife;
- Cadastro de Logradouros. Plantas analógicas de referência em escala 1/5.000;
- Plantas de Quadra, disponíveis em meio analógico, encontram-se no Departamento de Tributos Imobiliários da Secretaria de Finanças. Além de desatualizadas, têm o seu acervo incompleto;
- Imagens de satélite de alta resolução. Imageadas no 2º Semestre de 2000 pelo satélite Quickbird, apresentaram problemas de referenciamento em relação à UNIBASE. A SEPLAM também possui os cadastros de Infraestrutura e os de Regularização do Uso do Solo, com a finalidade de prestar suporte às ações de planejamento, controle e gestão urbana. Estes são compostos da seguinte forma:
 - Cadastros de Infraestrutura. Base de endereçamento da Prefeitura tem o registro atual e histórico das denominações, das delimitações (distrito, bairro e Regiões Político Administrativas —RPAs) e é a base de cálculo para o IPTU e de informações para o Planejamento Urbano. Composto por: Cadastro de Logradouros e de Serviços Públicos;
 - Cadastros de Regularização de Uso. Controla os processos de licenciamento modificação e uso das parcelas urbanas bem como a aprovação de projetos de edificações. Composto de: Cadastros de Zoneamento, de Plantas Oficiais – loteamentos e projetos viários, Cadastros de Interferência Urbanística, Cadastros de Processos Urbanísticos.

O acervo cartográfico na Prefeitura do Recife foi elaborado a partir de um mosaico de fotos aéreas de épocas diferentes (1983, 1987, 1988 e 1997) que foi restituído e nunca atualizado. Os trabalhos de levantamento, quando realizados, na maioria das vezes são feitos com o uso de trenas e com o método de contorno de quadra, a fim de localizar entidades. O referido acervo é composto por:

- Ortofotocartas em escalas 1:10.000 e 1:2.000;
- Carta de Nucleação na escala 1:25.000;
- Carta de traço na escala 1:1.000 (UNIBASE);
- Carta de traço do Cadastro de Logradouros, nas escalas 1:10.000 e 1:5.000;
- Foto quadras na escala 1:1.000;
- Carta Imagem, do satélite Quickbird;
- Plantas de Projetos Setoriais, em várias escalas;
- Mapas Temáticos em várias escalas;
- Plantas de Regularização do Uso do Solo em várias escalas: Loteamentos, Projetos viários, Desmembramento e remembramento, Desapropriações.

Apesar de se ter mais de uma década do recebimento das Plantas UNIBASE, ainda não se conseguiu institucionalizar o seu uso.

Metodologia

O experimento realizado fundamenta-se na coleta dos dados cadastrais, na utilização de um programa de SIG para a parametrização dos dados, e na análise e interpretação dos resultados pelo usuário. Procurou-se o seu desenvolvimento de forma que fosse facilmente reproduzido, modificado e/ou adaptado por um novo usuário a fim de incentivar a sua reprodução.

O marco legal se caracteriza pelas seguintes Leis: O Plano Diretor do Recife, Lei nº 15.547/91 que, entre outros, estabelece a TDC (Transferência do Direito de Construção); A Lei de Uso e Ocupação do Solo (LUOS), Lei nº 16.176/96 que define os parâmetros urbanísticos reguladores da ocupação do solo urbano (a TSN (Taxa de Solo Natural), o μ (Coeficiente de Utilização); a Lei de Edificações e Instalações, 16.292/97 que, entre outros, estabelece as dimensões e áreas mínimas dos ambientes e regulamenta o número de vagas. O Decreto Lei nº 25, de 30.11.1937 que institui o tombamento em nível federal e que sugere o polígono de preservação do entorno destes imóveis; A Lei Estadual 7.970/79 que institui o tombamento em nível estadual; A Lei 16.284/97 que relaciona e normatiza os Imóveis Especiais de Preservação (IEPs), regulamentando a TDC que os proprietários destes imóveis podem requerer.

Coleta dos dados

A área escolhida localiza-se na região central do Recife, próxima a centros financeiros, administrativos, comerciais e de serviços da cidade. Apesar do centro da cidade sofrer com o processo de esvaziamento e migração de atividades e serviços para outras regiões, notado nas grandes capitais, a área se caracteriza por ter um pólo médico de caráter nacional em franco desenvolvimento. Outro fato é o interesse do poder municipal e estadual na recuperação da RPA1 com o desenvolvimento de estudos que buscam a requalificação urbana da região como o Projeto do “Complexo Turístico Recife – Olinda”. A área escolhida também tem sido objeto de estudos desenvolvidos pela SEPLAM, o que propiciou a disponibilidade de dados utilizados nesta pesquisa.

A escolha da área de estudo foi condicionada à disponibilidade de dados que viabilizassem a análise pretendida. A intenção foi a de escolher uma área que se caracterizasse por possuir zonas subutilizadas, que fosse provida de infraestrutura e serviços urbanos, mas que não fosse centro de atenção da especulação imobiliária. Os dados cadastrais foram obtidos na sede da Prefeitura do Recife, através da SEPLAM, que disponibilizou um levantamento do estoque imobiliário disponível na RPA1, concluído em Setembro de 2006.

Base cartográfica

A cartografia foi originada do projeto UNIBASE, que se utilizou das fotografias aéreas tomadas em voos realizados entre 1997 e 1998, na escala 1:6.000, para proceder à sua restituição analítica. As cartas utilizam a projeção UTM (Projeção Transversa de Mercator), no sistema geodésico de referência SAD-69 (South American Datum) com o vértice planimétrico em Chuá (Arruda, 2003).

Levantamento do estoque imobiliário da RPA1

Foram utilizados dados de trabalho realizado para a SEPLAM, que levantou em campo informações relativas ao uso do imóvel, estado de conservação, condições de ocupação e atividade instalada. As informações foram associadas ao Cadastro de Imóveis da Prefeitura – CADIMO, de onde foram obtidas as áreas de construção e do terreno para cada imóvel, a fim de dimensionar e relacionar o estoque imobiliário existente com os parâmetros pesquisados. Desse cadastro também foi adotada a chave de identificação de cada imóvel, denominada DSQFL: Distrito, Setor, Quadra, Frente, Lote.

Caracterização da área de estudo

A RPA-1 encontra-se na área central do Recife, concentrando as mais importantes funções da região metropolitana: Porto, centros financeiros, centros administrativos, comerciais e de serviços, escolas, faculdades, equipamentos de turismo e lazer, além de ser o principal ponto de convergência do transporte público da cidade. Portanto, é natural que se pense na sua recuperação e na consolidação do seu desenvolvimento. Na RPA1 localiza-se o centro principal da cidade, composto pelos Bairros do Recife, São José, Santo Antônio, Boa Vista, Soledade, Santo Amaro e, segundo Recife (2005), há a predominância de imóveis destinados a atividades comerciais (atacadistas e de varejo) e de serviços.

Tratamento dos dados

Dados analíticos

Dados gráficos compostos por: plantas das ZEPHs (Zonas Especiais de Preservação do Patrimônio Histórico Cultural), obtidas na DPPC (Diretoria de Preservação de Patrimônio Construído, da Secretaria de Cultura da Prefeitura do Recife); relação de IEPs obtida no site da Prefeitura do Recife; relação dos imóveis de preservação em nível Estadual, obtida na FUNDARPE (Fundação do Patrimônio Histórico e Artístico de Pernambuco); relação dos imóveis de preservação em nível Federal, pesquisados em bibliografia e consultas na 5ª SR do IPHAN (Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional); e Plantas dos polígonos de preservação existentes na área de estudo obtidos junto ao IPHAN.

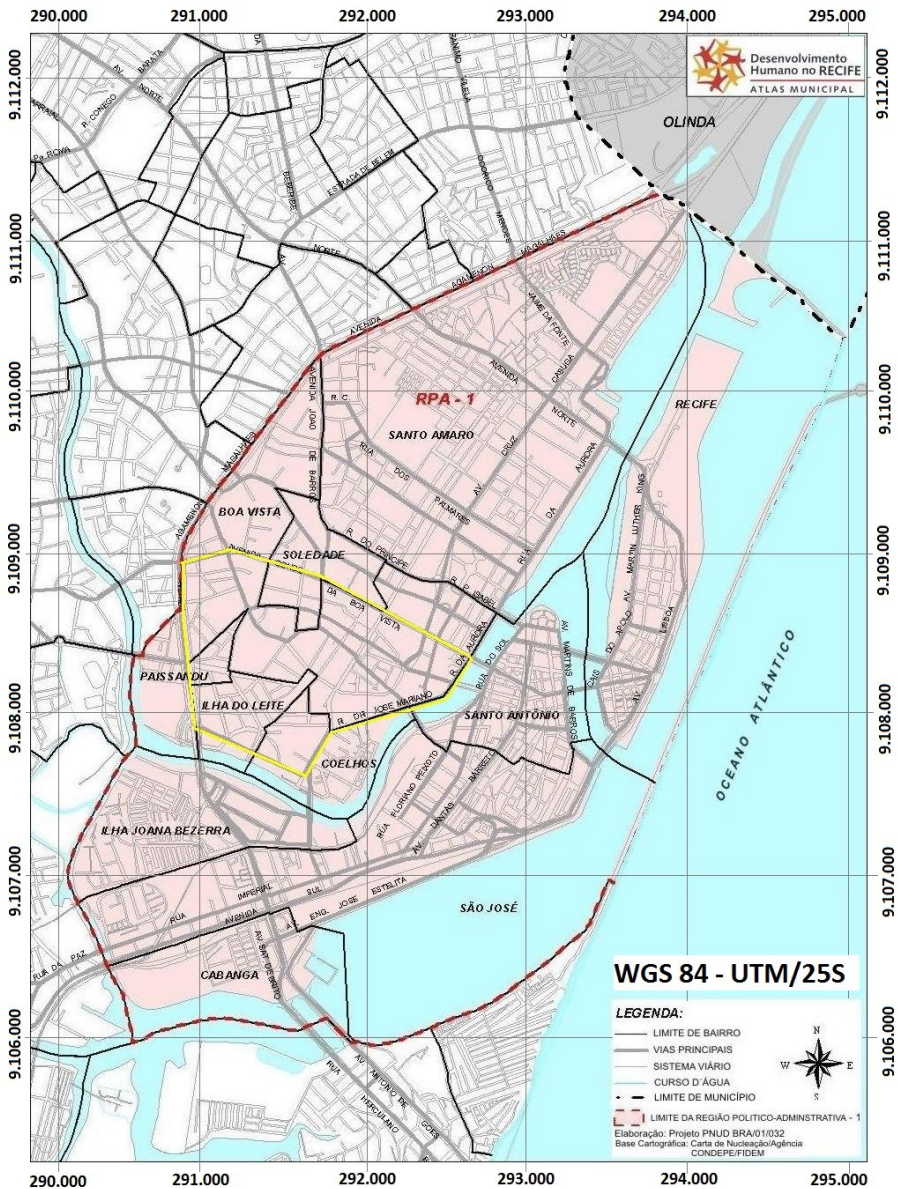


Figura 1. RPA1 com a área de estudo em amarelo.
 Fonte: Atlas Municipal do Recife.

Dados em meio eletrônico

Dados descritivos do CADIM, da SEFIN e do Levantamento de Imóveis, obtidos na SEPLAM; dados gráficos por arquivos eletrônicos DXF, baseadas nas plantas da UNIBASE; shapes com os temas tratados no levantamento de imóveis da RPA1 (referenciados aos dados tabulares pelo campo “DSQFL”); arquivos digitais das plantas ZEPH-08, ZEPH-18 e ZEPH-20, obtidas na DPPC; arquivos digitais DWF dos polígonos de preservação “Palácio da Soledade / casa de Oliveira Lima” e “Igreja das Fronteiras”, contidos na área de estudo, obtidos no IPHAN; arquivos digitais DXF das plantas da UNIBASE, correspondentes à área de estudo, obtidas junto à FIDEM.

Tratamento dos dados descritivos

As tabelas CADIMO e SEFIN e Dados Gerais, foram comparadas para uma rápida verificação e foi constatado que a tabela CADIMO não continha o campo DSQFL, mas sim um campo individual de cada número da chave (Distrito, Setor, Quadra, Frente e Lote) sendo necessária a criação deste campo para prosseguir na comparação. Para a montagem da tabela de dados a ser utilizada no SIG, foram utilizados os campos das tabelas coletadas, conforme mostrado na Tabela 1.

Tabela 1
Esquema de coleta de dados

<i>Campo</i>	<i>CADIMO</i>	<i>SEFIN</i>	<i>Dados Gerais</i>
Código DSQFL		X	X
Área total de construção	X		X
Nº de pavimentos	X	X	X
Formato do terreno	X		
Testada fictícia	X		
Testada principal	X		
Recuos		X	
Condição de ocupação		X	X
Tipologia da edificação	X		X
Estado de conservação	X	X	
Patrimônio	X		
Atividade instalada		X	

Fonte: Elaboração própria.

Uma vez montada a tabela de dados, procedeu-se à exclusão das chaves repetidas. Como um lote possui subunidades (apartamentos) há uma grande repetição de eventos para uma mesma chave. Após a exclusão, a tabela original que possuía em torno de 10.000 linhas, ficou reduzida a 2.300 linhas com a eliminação das subunidades.

Tratamento dos dados gráficos

Foram utilizados os shapes da RPA1: Hidrografia Principal, Bairros, Quadras, Lotes, Edificações e Sistema Viário e com a intersecção do shape criado da delimitação da área de estudo, foram produzidos shapes dos temas citados, para a área de estudo. Os shapes coletados continham os polígonos identificados com a chave DSQFL, mas sem atributos. Após a delimitação da área de estudo iniciou-se uma verificação quadra a quadra para:

- Identificar e visualizar os setores componentes da área de estudo: 1550, 1555, 1560 e 1585, passando-se a identificar a numeração das quadras por cada setor;
- Identificar os setores de levantamento 4, 5 e 6 e demarcar a área de estudo;
- Conferir a compatibilidade entre o código dos polígonos registrados no shape e a existência dos mesmos nas tabelas do CADIMO; para tanto, foram escolhidos 04 lotes, de forma aleatória, em cada quadra, e verificados na tabela CADIMO.

Para a realização das análises pretendidas, foram criados os temas *Poly_iphan*, *Poly_spr*, *Poly_spae* *Poly_zecp* correspondendo aos polígonos de preservação do IPHAN, do Setor de Preservação Rigoroso (SPR), do Setor de Preservação Ambiental (SPA) e à Zona Especial de Centro Primário, respectivamente (ZECP). A partir destes temas, em intersecção com o tema lotes, foram atribuídos os valores 0 – não contido e 1 – contido pelo tema correspondente, nos campos criados: *iphan*, *spr*, *spae* *zecp*.

A seguir, os shapes de edificações foram complementados com o campo: Área de Construção, correspondendo à área ocupada pela edificação existente e o campo Restrição, com o preenchimento dos valores Livre – IEP – FUNDARPE – Monumento, correspondendo à inscrição como imóvel sem matrícula, Imóvel Especial de Preservação (IEP), imóvel Tombado pela FUNDARPE e Imóvel Tombado pelo IPHAN, respectivamente. Através da planta das ZEPH's, foi feita a identificação visual dos imóveis cadastrados, conferida com as listas obtidas, e inseridos os valores correspondentes no campo referido.

O tema *Aest_lotes* recebeu os dados da tabela de dados montada, através da comparação entre os campos DSQFL comuns à tabela montada e à tabela de dados do programa, sendo criados os campos correspondentes: Área total de Construção, número de Pavimentos, Forma do Terreno, Testada Principal, Testada Fictícia,

Recuos, Condição de Ocupação, Tipologia da edificação, Estado de Conservação, Patrimônio e Valor Venal.

O tema *Aest_lotes* foi completado com os campos: *área_lotes*, com área calculada a partir do polígono de cada lote; *área_ocupada*, a partir da área encontrada no tema edificações; *área_livre*, da diferença calculada entre os dois campos anteriores; *área_lâmina*, estimada a partir da divisão da área total de construção pelo número de pavimentos, *coef_util*, calculado da divisão da área total de construção pela área encontrada do lote, *TSN*, correspondendo à estimativa da taxa de solo natural, calculada a partir do percentual de área livre em relação ao terreno.

Desenvolvimento do SIG

Imóveis para a ocupação por substituição

Procura-se por Lotes que permitam uma ampliação da área construída através da substituição de imóveis subutilizados para se chegar à área de construção máxima permitida para a zona. Tenta-se identificar lotes vazios ou subaproveitados, edificações abandonadas ou em ruínas procurando otimizar o uso do solo urbano. São discutidas as áreas mínimas em função do empreendimento buscado, podendo-se chegar a mais de uma solução de faixa de renda, mas não se propõe um uso específico uma vez que a intenção é a de se oferecer estes lotes à iniciativa privada. Na análise realizada se toma como exemplo o uso comercial para estabelecer parâmetros que auxiliem na escolha dos lotes.

Estudo da área mínima do lote

A escolha de um terreno para a locação de um empreendimento imobiliário passa principalmente pela análise de sua área: é esta que define a área máxima de construção permitida, através do Coeficiente de utilização/Aproveitamento estabelecido na Lei de Uso do Solo (LUOS) de uma cidade. Outro fator fundamental é a sua largura, uma vez que será necessária uma largura mínima para poder respeitar os afastamentos legais e manter uma lâmina mínima aproveitável, p. ex. o código municipal do Recife prevê um acréscimo de 25cm nos afastamentos a cada pavimento acrescido, na altura do edifício, a partir do 4º pavimento.

Para a definição da largura mínima do lote, foi estabelecida a posição da escada transversal ao terreno onde é acrescentada a largura da circulação, as espessuras de paredes resultando em uma largura de lâmina de 6,40 m, acrescentando-se o afastamento de 3,00m para cada lado (conforme a legislação municipal para a zona) se chega a uma largura mínima de lote de 12,50 m, ilustrado pela Figura 2.

O que resulta em uma lâmina antieconômica, pela sua pouca largura. Se reduzimos a altura para 6 pavimentos, teremos (com o uso da Equação 1):

$$A_{\text{frontal}} = 5,00 + (6 - 4) 0,25 \Rightarrow A_{\text{frontal}} = 5,50 \text{ m}$$
$$A_{\text{lateral e fundos}} = 3,00 + (6 - 4) 0,25 \Rightarrow A_{\text{lateral e fundos}} = 3,50 \text{ m}$$

Resultando numa lâmina de:

Largura: $12,50 \text{ m} - 3,50 \text{ m} - 3,50 \text{ m} = 5,00 \text{ m}$
Comprimento: $25,00 \text{ m} - 5,50 \text{ m} - 3,50 \text{ m} = 16,00 \text{ m}$

Uma lâmina de 5,00 m nos permite o uso de uma área com largura de 3,35m (são subtraídas a circulação e espessuras de paredes), o que é perfeitamente viável para salas comerciais, escritórios, consultórios médicos e outros mais, porém a área construída será, aproximadamente, de 480,00 m², ou coeficiente de utilização = 1,3 (Figura 3).

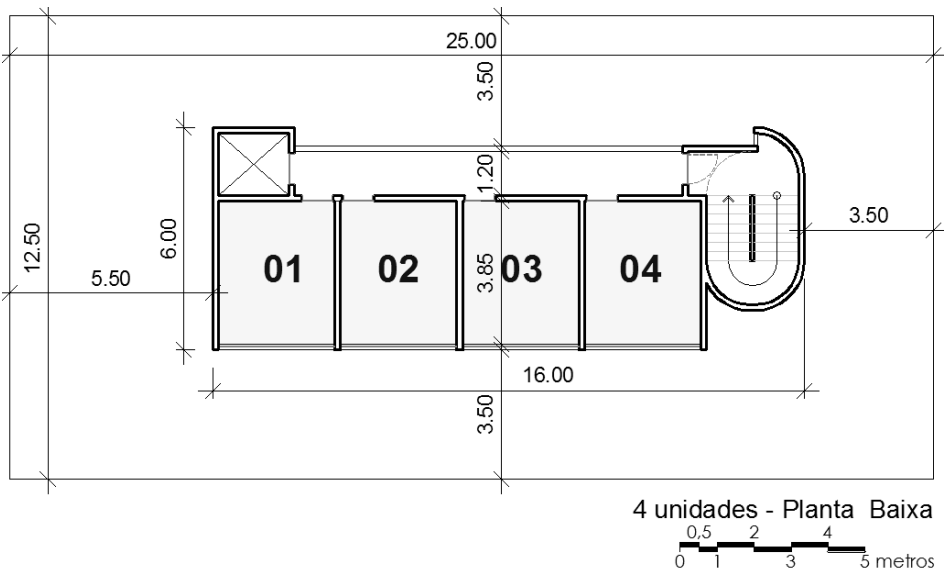


Figura 3. Exemplo de planta para prédio comercial (largura da lâmina).

Como pode ser visto, o aproveitamento total do coeficiente de utilização nem sempre é possível, dependendo do projeto arquitetônico a ser implantado pode-se maximizar o seu uso, mas pode-se verificar que um lote padrão mínimo teria 12,50m x 25,00m, com uma área de 312,50 m².

Parâmetros analisados para a escolha dos lotes

Área dos Lotes

Conforme visto anteriormente, serão selecionados os lotes com área mínima de 300,00 m².

Largura dos lotes

Como também foi visto anteriormente, os lotes terão que ter largura mínima de 12,50 m². A tabela do CADIM possui o dimensionamento da frente do lote, denominada Testada Principal, a qual representa a largura do lote na divisa da rua. Deve-se pensar na existência de lotes que tenham a sua largura, na divisa com a rua, mais estreita que a dimensão procurada porém que tenham maiores larguras no meio e fundos. Para tanto será analisado, também, o próximo item para estes casos.

Formato do lote e Testada Fictícia

No caso do lote ter uma largura abaixo daquela procurada, será verificado o formato do mesmo e, sendo este classificado como “IRREGULAR”, será analisada a “TESTADA FICTICIA”. Esta é mostrada no CADIM e é um reajuste da metragem medida quando ela é muito estreita, mas o lote possui grandes áreas de terreno no seu interior e vice-versa. O Código Tributário Municipal (CTM) da Cidade do Recife (Recife, 1991), no seu Art. 24, §1º, estipula o seu cálculo como sendo (Equação 2):

$$TF = (2 \times S \times T) / (S + (T \cdot P)) \quad (2)$$

Sendo:

S= área do Terreno

T= Testada Principal

P= Profundidade Padrão*

* Em Recife é considerada como sendo 30,00 m, de acordo com o CTM.

A Testada Fictícia será considerada por ser um indicativo de que o lote poderá ser escolhido. Com o fim de determinar um valor de referência para a Testada Fictícia, a partir do qual o lote será escolhido, adotou-se o seguinte raciocínio:

- i. Foram escolhidos aleatoriamente 3 lotes com Testada Principal de 12,50 m e verificou-se o valor para a Testada Fictícia aplicando a fórmula do CTM (2):

Lote A: área do lote de 621,87 m²

$$TF = (2 \times 621,87 \times 12,50) / (621,87 + (12,50 \times 30,00)) \Rightarrow TF = 15,60 \text{ m}$$

Este mesmo lote teria, caso fosse de formato 'REGULAR', dimensão de 12,50 m x 49,75 m.

Lote B: área do lote de 194,00 m²

$$TF = (2 \times 194,00 \times 12,50) / (194,00 + (12,50 \times 30,00)) \Rightarrow TF = 8,52 \text{ m}$$

Caso fosse de formato 'REGULAR', a dimensão seria de 12,50 m x 15,52 m

Lote C: área do lote de 375,00 m²

$$TF = (2 \times 375,00 \times 12,50) / (375,00 + (12,50 \times 30,00)) \Rightarrow TF = 12,50 \text{ m}$$

As dimensões caso fosse 'REGULAR', seriam de 12,50 m x 30,00 m

Assim, pode-se verificar que a Testada Fictícia, para uma mesma Testada Principal, aumenta com o aumento do comprimento ou da área do lote.

- ii. Calculou-se a Testada Fictícia para a Testada Principal (largura) e área de lote desejadas:

$$TF = (2 \times 300,00 \times 12,50) / (300,00 + (12,50 \times 30,00)) \Rightarrow TF = 11,11 \text{ m}$$

Dessa forma, adotou-se a Testada Fictícia com 11,20 m, ou maior, como sendo a medida de referência.

Estado de conservação da edificação contida no lote

Neste item houve a procura por imóveis classificados como "RUINA" para proceder na ocupação por substituição da edificação existente, sendo assim os lotes selecionados neste quesito serão encaminhados ao item 'Polígonos de Preservação' e os que não, para o item a seguir.

Condição de ocupação

Neste item os imóveis que foram classificados como "FECHADO", "VAZIO", "PARCIALMENTE OCUPADO" ou "NÃO EDIFICADO" serão selecionados e encaminhados ao próximo item.

Polígonos de Preservação

Se o lote estiver contido por algum Polígono de Preservação, do IPHAN ou Setor de Preservação Ambiental (SPA) ou Setor de Preservação Rigoroso (SPR) municipais será descartado, senão é encaminhado ao próximo item.

IEPs e Imóveis Tombados

Caso o Lote selecionado contenha um Imóvel Especial de Preservação (IEP) ou um Imóvel Tombado será encaminhado ao item seguinte, caso contrário será escolhido.

Afastamentos laterais

Os Lotes encaminhados no item anterior serão checados com a intenção de averiguar se possuem recuos classificados como “FRONTAL/LATERAL” e/ou “LATERAL” sendo descartados os que não atenderem este item.

Verificação dos recuos laterais

Analisando as plantas coletadas procura-se dimensionar os afastamentos laterais encontrados no item anterior, com o fim de verificar se possuem afastamentos em uma das laterais, com 3,00 m ou mais, que permitam a circulação para seu interior sendo selecionados em caso positivo e descartados em caso negativo.

Esquema de seleção de lotes para a Ocupação por Substituição

A Figura 4 apresenta um esquema gráfico ilustrando a linha de raciocínio adotada para a análise realizada.

Análise espacial

Inicialmente foram selecionados 612 eventos atendendo à condição de área de lote $> 300,00 \text{ m}^2$ e $TP \geq 12,50 \text{ m}$ e acrescentados 162 eventos de lotes que atendem à condição de área mínima mas não atendiam à condição de TP mas classificados de forma “IRREGULAR” e atendendo o critério de $TF \geq 11,20 \text{ m}$.

Foram selecionados os lotes que continham edificações em estado de conservação classificado como “RUINA” e descartados os lotes com a condição de ocupação diferente de “OCUPADO”, restando 278 lotes na seleção inicial.

A seguir foram descartados os lotes contidos pelos polígonos de preservação do IPHAN, SPR e SPA existentes na área de estudo, devido à limitação de gabarito, ficando a seleção com 217 lotes.

Como na seleção obtida não houve a incidência de IEPs e imóveis tombados pela FUNDARPE, a seleção continuou a mesma, ficando o total de 88 lotes selecionados.

Resultados obtidos

Durante a realização da análise verificou-se 1 evento no qual a área total de construção era muito superior à área do lote (coeficiente de utilização acima de 1) e que era mostrado no cadastro municipal como um imóvel de 23 pavimentos, enquanto que na Planta da Unibase apresentava um lote contendo uma pequena edificação, sendo portanto excluído da seleção.

Outra situação verificada foi a de uma inscrição de lote no Cadastro Municipal que foi descartada quando na Planta Unibase verificou-se tratar de um canteiro central de avenida.

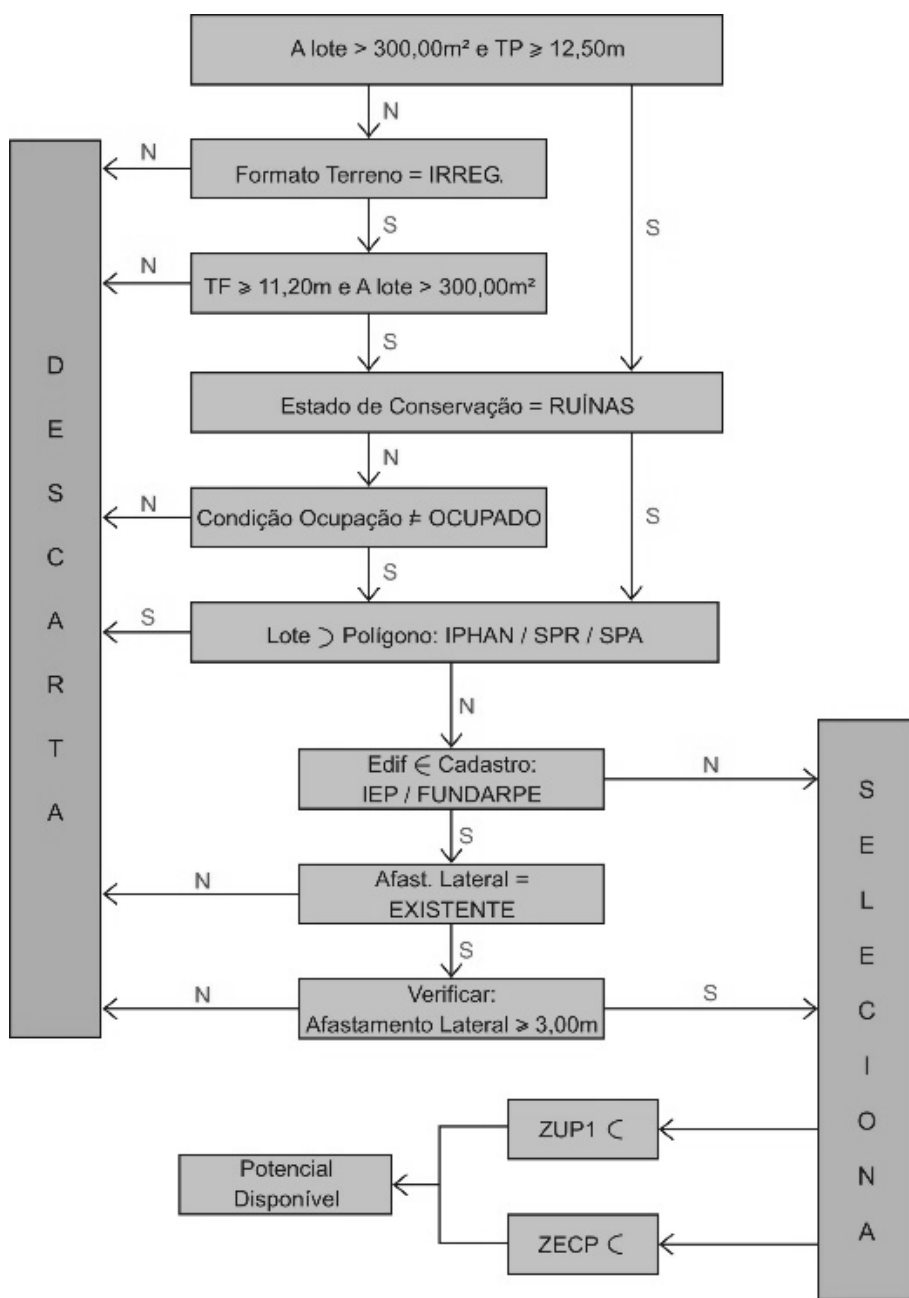


Figura 4. Esquema gráfico da seleção “SUBSTITUIÇÃO”. S – Sim e N – Não.

No total foram selecionados 86 lotes com a área mínima exigida que foram examinados em relação à sua TP sendo menor que a largura mínima estabelecida. Nesse grupo, 26 lotes foram identificados com TP menor mas atendiam o critério estipulado para a TF cuja TP variavam de 9,25 m a 12,00 m.

A análise procurou verificar se a o lote classificado como de forma “IRREGULAR” aumentava de largura permitindo acomodar a lâmina mínima proposta e foi encontrado que:

- 1 lote com TP= 9,25 m foi descartado pois sua largura diminuía para dentro;
- 2 lotes com TP= 10,00 m que não aumentavam de largura, sendo descartado um e mantido o outro por se encontrar junto a outro lote da amostra selecionada, o que poderia permitir uma operação de remembramento de lotes com a finalidade de implantar um grande empreendimento;
- 4 lotes com TP= 11,00 m, sendo descartados 02 e mantidos os outros 02 que eram vizinhos e que também se encontram juntos à um terceiro que fazia parte da seleção;
- 19 lotes com TP= 12,00 m nos quais 08 foram descartados e forma mantidos 09 que se encontravam lado a lado e 02 que eram vizinhos a outros lotes pertencentes à seleção.
- A amostra resultante identificou 74 lotes somando 70.400 m², mostrados na Figura 5, que se utilizados os parâmetros urbanísticos para a Zona de Urbanização Preferencial 1 (ZUP1) e da Zona de Especial de Comercio Principal (ZECP), conforme a pertinência do lote selecionado a uma ou a outra zona, permitiriam a construção por substituição e a criação de 280.000 m².
- Analisando os dados tabulares dos lotes selecionados observa-se que a média do coeficiente de construção (área construída dividida pela área do lote) praticado é de 0,3 sendo o maior coeficiente encontrado de 1,8 (01 evento). Uma vez que o coeficiente permitido na ZUP1 é 4,0 e na ZECP é 7,0 pode-se entender melhor a escolha de ocupação por ‘substituição’ das edificações existentes.

Imóveis para a Transferência do Potencial Construtivo

A Transferência do Direito de Construir (TDC) é um instrumento de indução do desenvolvimento urbano previsto no Estatuto da Cidade (Brasil, 2005) que permite exercer em outro local, ou alienar, o direito de construir previsto no plano diretor ou em legislação urbanística. É uma ferramenta que pode ser usada para preservar imóveis de interesse histórico, ambiental, paisagístico, social ou cultural.

A TDC é uma forma de recuperação do valor econômico que o lote perde ao serem estipuladas restrições à construção (p.ex. a fixação de gabaritos de altura para a preservação do entorno urbano) ou é estabelecido a obrigatoriedade de preservação da edificação existente, impossibilitando a sua demolição e o aproveitamento máximo permitido pelo coeficiente de utilização.

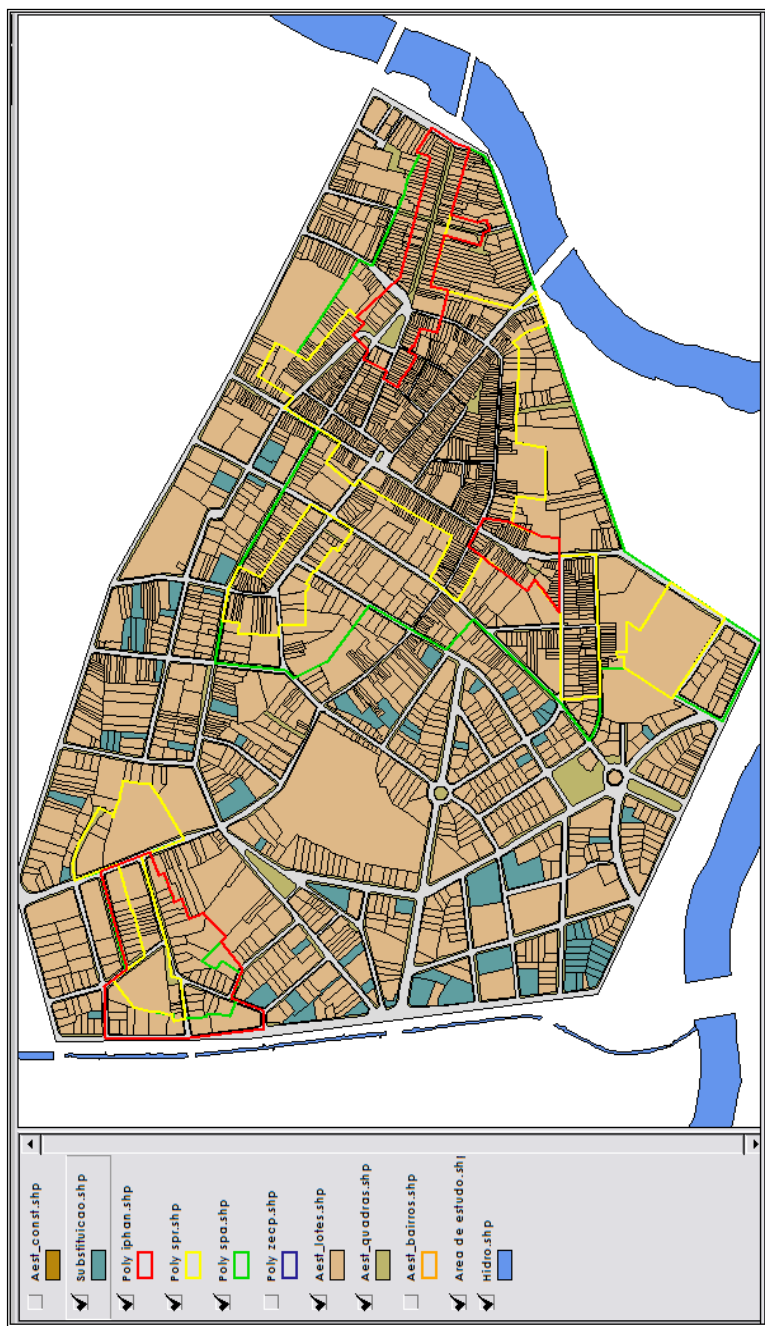


Figura 5. Resultado para 'ocupação por Substituição'.

No Recife a Lei 16.284-97 (Recife, 1997b) define os Imóveis Especiais de Preservação (IEP) e estabelece as condições de preservação e assegura compensações e estímulos.

Quando o IEP não possuir área remanescente no seu terreno poderá transferir todo o potencial construtivo inerente ao imóvel preservado para outra área (Recife, 1997b, Art. 21, § 2º).

Área de estudo

Na área de estudo delimitada, são encontrados 2.235 lotes dos quais 257 lotes se encontram inseridos no Polígono de Preservação do IPHAN, 1.011 lotes no polígono do SPR e 314 no polígono do SPA. No cadastro de IEPs constam 10 imóveis situados na área de estudo e 8 imóveis tombados pela FUNDARPE além de 4 imóveis declarados monumentos pelo IPHAN.

Produto procurado

Procura-se avaliar a disponibilidade de potencial construtivo não edificado nos lotes contidos pelos polígonos de preservação do IPHAN, dos SPR e SPA, bem como dos IEPs e imóveis tombados pela FUNDARPE e IPHAN com a finalidade de quantificar o total de área de construção que poderia ser transferido para outros lotes da área de estudo.

Parâmetros usados para a seleção

Polígonos de preservação

Os lotes que se encontrarem contidos por algum dos polígonos de preservação do entorno mencionados serão selecionados e encaminhados ao item '*Classificação em função da Zona Urbana*'.

IEPs e imóveis tombados

Os lotes que contiverem edificações preservadas ou tombadas sem estar inseridos em algum dos polígonos de preservação, serão selecionados e encaminhados ao item seguinte.

Classificação em função da Zona Urbana

Os lotes anteriormente selecionados serão classificados em função da sua localização numa ZUP1 ou ZECP, isso porque as zonas possuem diferentes parâmetros urbanísticos. A ZUP1 possui coeficiente de aproveitamento 4,0 e Taxa de Solo Natural de 25% enquanto que a ZECP possui um coeficiente de aproveitamento de 7,0 e TSN de 20%.

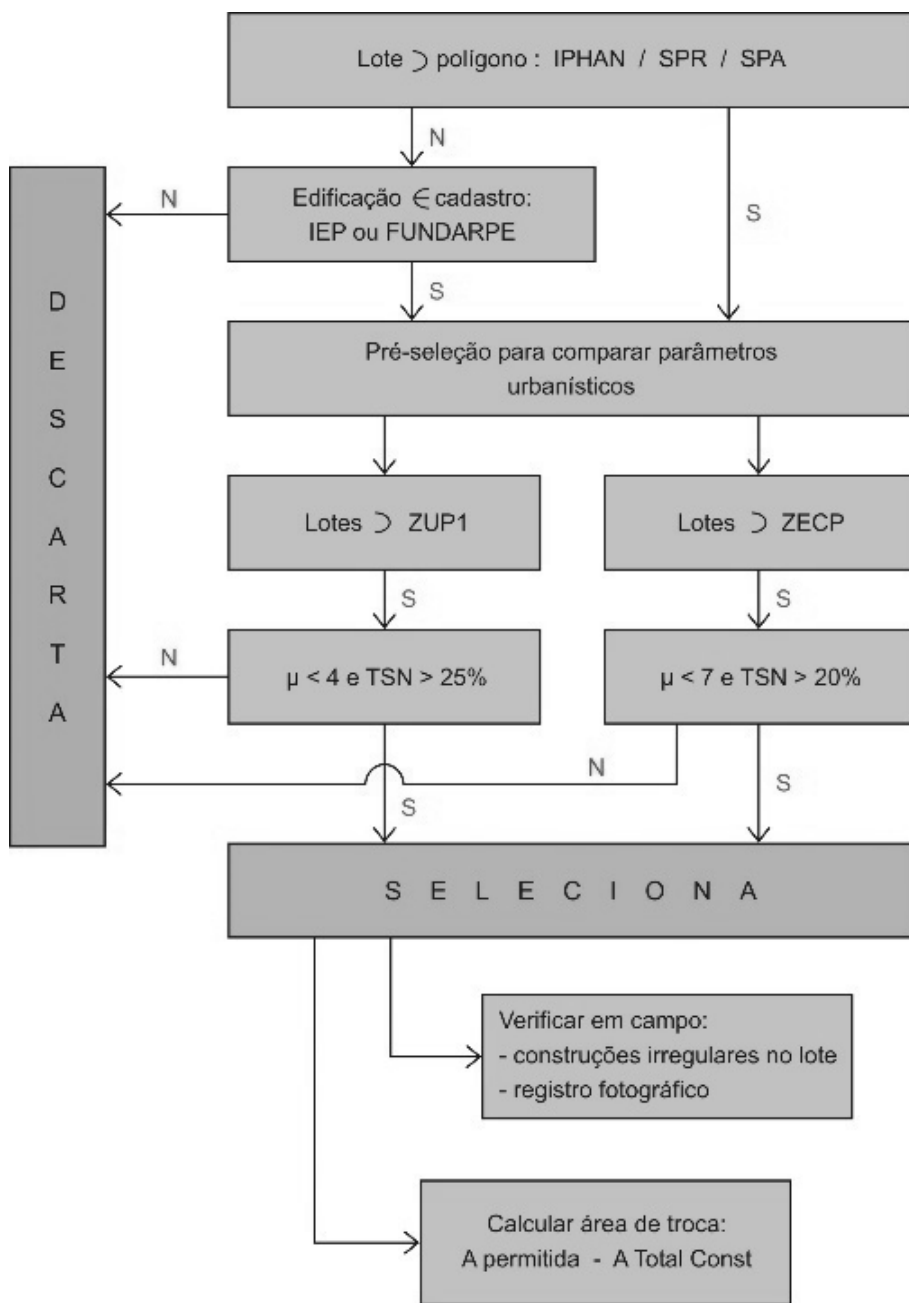


Figura 6. Esquema gráfico da seleção “TDC”.

Análise da área construída

A fim de encontrar o potencial construtivo remanescente em cada lote, é extraída a área total de construção do CADIMO e dividida pela área do lote obtendo-se o coeficiente de aproveitamento praticado, este será comparado com o coeficiente de utilização permitido para a Zona sendo selecionados os lotes que não atingem o valor máximo e descartados os que atingem ou superam este valor.

Análise da TSN

A TSN será analisada para determinar a viabilidade de construção no próprio lote, no caso de uma TDC parcial, onde parte da área de construção permitida é cedida a outro lote e parte é utilizada no próprio lote. Isto é considerado porque esta transferência limita-se, a 1,0 unidade no coeficiente de utilização permitido do imóvel receptor (Recife, 1997a Art. 103, inciso I da LUOS e Recife, 1997b Art. 29, § 1º da Lei de IEPs). Outrossim, a Lei de IEPs permite a transferência fracionada, ou seja, para mais de um imóvel.

Esquema de seleção de lotes para a TDC

O diagrama, ilustrado na Figura 6, apresenta a linha de raciocínio adotado para a análise pretendida e a partir da qual serão realizadas as consultas no SIG a fim de encontrar os lotes que respondam ao produto pretendido.

Seleção dos lotes através da análise espacial

Inicia-se selecionando os lotes contidos ou cortados pelos polígonos de preservação do IPHAN, SPR ou SPA totalizando 1.336 lotes selecionados.

A seguir são acrescentados os lotes com IEPs ou com edificações tombadas pela FUNDARPE, somando 07 lotes à seleção inicial.

Do total são descartados os lotes pertencentes à Zona Especial de Interesse Social (ZEIS), contida na SPA, por obedecerem a parâmetros específicos onde não incide a TDC, resultando numa seleção de 1.336 lotes.

TDC na ZUPI

Os 1.336 lotes selecionados foram separados conforme a Zona. Aqueles que não estavam contidos pela ZECP foram avaliados para saber se possuem coeficiente de utilização menor que 4,0 e TSN maior que 25%, sendo selecionados 490 lotes que são classificados em função do coeficiente de utilização praticado, na Figura 7 (cor mais escura para lotes de menor coeficiente).

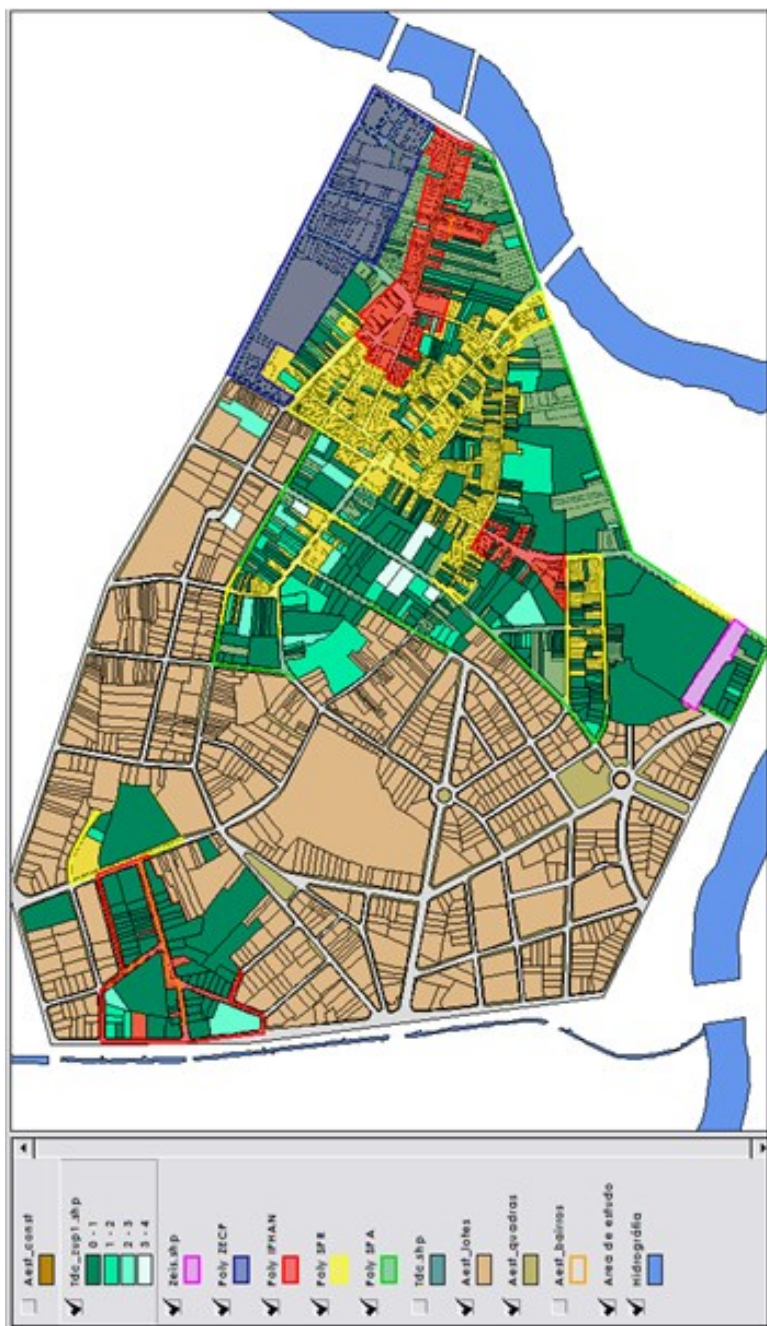


Figura 7. Lotes seleccionados no tema TDC_ZUPI.

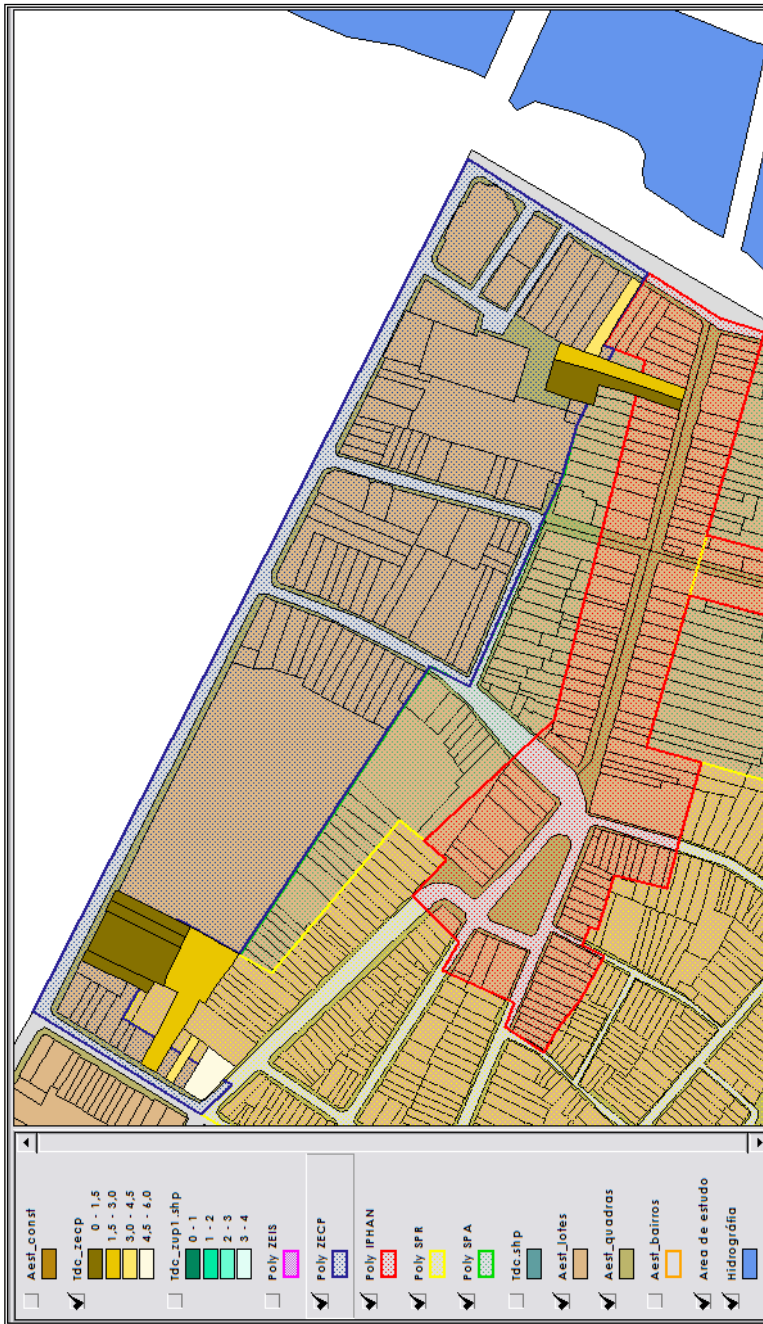


Figura 8. Lotes selecionados no tema TDC_ZECP.

TDC na ZECP

Os selecionados no item 6.4 que se encontram contidos pelo polígono da ZECP, são avaliados com relação ao coeficiente de utilização praticado se é menor que 7,0 e se a TSN apresentada é maior que 20%. Como resultado são selecionados 10 lotes que atendem as condições apresentadas e que são ilustrados pela figura 08 (cor mais escura para lotes de menor coeficiente).

Resultados obtidos para a TDC

Na análise realizada foi encontrada uma disponibilidade de 1.107.314 m² para a ZUP1 e de 37.776 m² na ZECP, verificado nos dados tabulares.

O cálculo foi realizado considerando a área construída no lote original sendo reduzida do total possível de área de construção e que estava sendo transferida. Em obediência à Lei de IEPs (Recife, 1997b).

Em lotes com IEP, não foi contabilizado a área de construção do IEP, seguindo a mesma lei. Pode-se, em casos que só exista o IEP no lote, transferir integralmente a área obtida pelo coeficiente de utilização para outro(s) imóvel(eis). Foram encontrados 7 casos nesta situação.

Os imóveis de preservação que pertencem ao setor público (federal, estadual ou municipal) não foram contabilizados, pois a TDC equivale à venda de patrimônio e, sendo este imóvel de interesse histórico ou cultural pertencente ao Erário Público, esta negociação segue uma regulamentação específica.

Também os imóveis de preservação de propriedade do clero (1 casos encontrado), não foram contabilizados, uma vez que estes imóveis recebem auxílio, através de verbas públicas, para a sua conservação.

Conclusões e recomendações

Os processos de identificação das áreas passíveis de requalificação, de avaliação das intervenções propostas, assim como as análises prévias e diagnósticos para os projetos necessitam de informações territoriais detalhadas e precisas que podem e devem ser disponibilizadas por um Cadastro Territorial Multifinalitário atualizado e confiável.

O uso de um Sistema de Informações Geográficas permite e agiliza a análise dos dados coletados e referenciados espacialmente, possibilita a realização de inúmeros processos de seleção atendendo a qualquer parametrização, desde que esteja fundamentada nos dados de entrada. Porém, a confiabilidade dos resultados obtidos está proporcionalmente relacionada à consistência dos dados inseridos.

A disponibilidade de uma base cartográfica atualizada é a principal fonte de dados gráficos para um sistema cadastral atualizado. É, portanto, de fundamental

importância observar os métodos e técnicas utilizadas, no projeto cartográfico, para a inserção de novos dados durante as atualizações.

A implementação de um Cadastro Territorial Multifinalitário, exige um esforço integrado de todos os futuros usuários, porém a sua atualização se torna muito mais simples, uma vez que cada usuário participa contribuindo com as ferramentas de que já dispõe.

Ainda que tenham sido encontradas algumas inconsistências nos dados adotados, em decorrência da defasagem entre as várias fontes pesquisadas e da desatualização por parte dos dados cartográficos (demonstrando uma vez mais a importância de um cadastro atualizado), os resultados encontrados se mostraram promissores.

Bibliografia

- Águila, M.; Erba, D. (2006). “El rol del Catastro en el registro del territorio”, *Notas do curso: Aplicaciones del Catastro Multifinalitario en la definición de políticas de suelo urbano*, Massachussets, Lincoln Institute for Land Policies-Educación a Distancia.
- Álcazar-Molina, M., (2007). “Catastro, propiedad y prosperidad”, Jaén, Publicaciones de la Universidad de Jaén.
- Bonilla, R.J., (2007) “Requalificação urbana a partir de informações de cadastros territoriais e sistemas de informações geográficas”, Recife: O Autor.
- Brasil (2005). “Lei 10.257/2005 – Estatuto da Cidade”, disponível em <www.planalto.gov.br/>, acessado em 10/09/2005.
- Carneiro, Andrea F.T. (2003). “Cadastro Imobiliário e Registro de Imóveis”, A Lei 10.267/2001, Decreto 4.449/2002, Atos Normativos do Incria, Coleção IRIB em debate, Porto Alegre, Sérgio Antônio Fabris, 272 pp.
- Dang, H.V. (2007). “E-administration of land based on dialog between government and people”, Decision Makers Meeting on Good Administration of Land in Asia and the Pacific: Land Administration for Poverty Reduction and Economic growth, Tokyo.
- Erba, D.A. (2005). *Cadastro Multifinalitário como instrumento da política fiscal e urbana*, Rio de Janeiro, Ministério das Cidades.
- Graafland, A. (1999). *Municipal geo-information infrastructure: how to find a way and oases in a long journey through the desert*, UDMS.
- Hawerk, W., (2006). “Cadastre for the 21st century: the German way”, XXIII International FIG Congress, Shaping the change.
- Piumeto, M. (2006). “Usos y aplicaciones de los Sistemas de Información Geográfica”, *Notas do Curso: Aplicaciones del Catastro Multifinalitario en la*

- Definición de Políticas de Suelo Urbano, Massachussets, Lincoln Institute for Land Policies-Educación a Distancia.
- Recife (1991). Prefeitura Municipal. Secretaria de Finanças. “Lei 15.563/91 – Código Tributário Municipal”. Recife: Diário Oficial do Município, disponível em <<http://www.recife.pe.gov.br/pr/secfinancas/legislacao/codtrib.php>>.
- Recife (2005). “Diagnóstico Urbano”. Seções I a IV, disponível em: <<http://www.recife.pe.gov.br/pr/secplanejamento/planodiretor>>, acessado em 10/09/2005.
- Recife, Secretaria de Planejamento, Urbanismo e Meio Ambiente (2005a). *Atlas Municipal de Desenvolvimento Humano no Recife*, SEMPLAM, CD rom, ESM Consultoria.
- Recife, (1997a). “Lei Nº 16.176/96 – Lei de Uso e Ocupação do Solo da Cidade do Recife”. Recife: Diário Oficial do Município, disponível em <<http://www.recife.pe.gov.br>>.
- Recife, (1997b). “Lei Nº 16.284/97 – Imóveis Especiais de Preservação – IEP”. Recife: Diário Oficial do Município, disponível em <<http://www.recife.pe.gov.br>>.
- Riecken, Jens, (2007). “Spatial information management in the context of SDI and e-government: the German approach”, XXX FIG Working Week and General Assembly: Strategic Integration of Surveying Services, China.
- SarubbiNeto, Prosperino (2005). “Atualização de cadastro fiscal com suporte em imagens de satélite de alta resolução”, Monografia (Especialização em Tecnologias da Geoinformação), Departamento de Cartografia, UFPE.

La confianza de la Información Geográfica Voluntaria (IGV)

Jesús Javier Marín López-Pastor*

Recibido el 1 de abril de 2015; aceptado el 26 de junio de 2015

Abstract

The Volunteered Geographic Information (VGI), understood as geographic information collected by volunteers, experienced or not, in an organized way, for collaborative applications or free licenses projects has become an alternative source of geographic information and its use is growing rapidly. Therefore, it is necessary to establish quality parameters to the VGI, in order to obtain a product confidence by consumers and businesses. The elements of the traditional quality established in the ISO 19113 standard, mark a guideline to follow, but do not meet the new implications that entails VGI.

The paradigm shift introduced by Web 2.0, where the user goes from being a mere spectator of the information to be a content provider, shows the way to search for additional measures. Reliance on the contributions of volunteers turned into mapping producers depends on their acceptance by other users. Furthermore, experience and involvement in the project will mark the reputation of volunteers. Therefore, volunteer's trust and reputation are related each other becoming in new dimensions of quality specific to the VGI.

Key words: *Volunteered Geographic Information, VGI, Neo-cartography, Neogeography, Web 2.0.*

Resumo

A Informação Geográfica Voluntária (IGV), entendida como informação geográfica recompilada de forma organizada por voluntários, com ou sem experiência, para usos colaborativos ou em projetos com licenças livres, se transformou em uma fonte alternativa de obtenção de informação geográfica e seu uso está crescendo rapidamente. Por isso, é necessário estabelecer alguns parâmetros de qualidade para

* Neogeoweb <www.neogeoweb.com>, correo electrónico: javimad@gmail.com

a IGV, afim de se obter uma confiança nos produtos por parte dos usuários e empresas. Os elementos de qualidade tradicionais estabelecidos na norma ISO 19113, marcam uma pauta a ser seguida, entretanto não satisfazem as novas implicações que a IGV acarreta.

A mudança de paradigma estabelecido pela Web 2.0, onde o usuário deixa de ser um mero espectador da informação a ser um provedor de conteúdos, define o rumo para se buscar medidas adicionais. A confiança nas contribuições dos voluntários convertidas em produtos de cartografia, dependerá da aceitação destes pelos demais usuários. Além disso, a experiência e envolvimento no projeto marcarão a reputação dos voluntários. Para tanto, a confiança e a reputação de um voluntário estão relacionadas e se convertem em novas dimensões de qualidade específicas a IGV.

Palavras chave: *Informação Geográfica Voluntária, IGV, Neocartografia, Neo-geografia, Web 2.0.*

Resumen

La Información Geográfica Voluntaria (IGV), entendida como la información geográfica recopilada de forma organizada por voluntarios, con experiencia o sin ella, para usos colaborativos o proyectos con licencias libres, se ha convertido en una fuente alternativa de información geográfica y su uso está creciendo rápidamente. Por lo tanto, es necesario establecer unos parámetros de calidad a la IGV, a fin de obtener la confianza en el producto por parte de usuarios y empresas. Los elementos de la calidad tradicionales establecidos en la norma ISO 19113, marcan una pauta a seguir, pero no satisfacen las nuevas implicaciones que la IGV conlleva.

El cambio de paradigma establecido por la Web 2.0, donde el usuario pasa de ser un mero espectador de la información a ser un proveedor de contenido, marca el rumbo para buscar medidas adicionales. La confianza en las aportaciones de los voluntarios convertidos en productores de cartografía, dependerá de la aceptación de éstas por los demás usuarios. Además, la experiencia e implicación en el proyecto marcarán la reputación de los voluntarios. Por lo tanto, la confianza y la reputación de un voluntario están relacionadas y se convierten en nuevas dimensiones de la calidad específicas a la IGV.

Palabras clave: *Información Geográfica Voluntaria, IGV, Neo-cartografía, Neo-geografía, Web 2.0.*

Introducción

Lograr la confianza del consumidor es uno de los objetivos de toda gran empresa. La elección entre uno u otro producto depende de la confianza que se tenga en el mismo. Trasladando esto a la información geográfica, la necesidad de tener unos

parámetros para garantizar la confianza en la información geográfica, se ha basado tradicionalmente en los elementos de calidad establecidos por la norma ISO 19113.

La producción de información geográfica ha sido realizada, tradicionalmente, por los entes nacionales y por las grandes empresas privadas. Desde que en 2005 apareciera Google Earth¹ y posteriormente se hiciera público su Interfaz de Programación de Aplicaciones (en inglés API), la proliferación de productos derivados basados en sus servicios de mapas no ha dejado de aumentar. Según Goodchild (2007) los que marcan el inicio de la IGV son los denominados *mash-ups*.² Google Earth permite la visualización del planeta en tres dimensiones y mezcla en sus servicios, imágenes de satélite, ortofotografías procedentes de vuelos, cartografía de diversas fuentes y su potente buscador geográfico. Aparte de ofrecer un producto tan completo, la base de su éxito ha recaído en facilitar el uso de los mapas a todo tipo de usuarios. Velocidad, usabilidad y la utilización de unas convenciones cartográficas más amigables para el usuario han convertido este servicio de mapas en hábito de todo internauta.

De igual forma el paradigma de la Web 2.0 (Cooper *et al.*, 2011) ha convertido a los usuarios en productores, por lo que la creación de información geográfica ha dejado de ser un coto privado de las grandes empresas y entes nacionales. El fenómeno de la Información Geográfica Voluntaria, (en adelante IGV) ha creado una gran comunidad de neo-cartógrafos que ha visto acelerado su crecimiento en los dos últimos años. Su uso también se ha extendido a usos comerciales, como por ejemplo, la utilización de mapas de OpenStreetMap³ como fondo cartográfico en varios proyectos comerciales (Van Exel *et al.*, 2011). Esto lleva a plantearse las preguntas: ¿El producto ofrecido por la IGV es de confianza? o ¿Para qué tipos de usos está indicada la utilización de la IGV? Para responder a estas y otras preguntas, así como aportar una visión más profunda de la naturaleza de la IGV. Este artículo pretende recopilar y exponer un breve estado del arte de los intentos y metodologías usadas para ahondar en la evaluación de la confianza de la IGV.

Características de la IGV

La IGV no parte de una planificación centralizada previa, por lo que depende de la aportación de información geográfica de los voluntarios, sin tener en cuenta su procedencia, sus habilidades técnicas o los medios de que dispongan para recopilar la información. De esta forma una persona usando un dispositivo del Sistema Global de Navegación Satelital (GNSS por sus siglas en inglés) puede considerarse como un sensor y llegar a la conclusión de que potencialmente “hay 6 billones de

¹ <<http://earth.google.com/>>.

² Término prestado del área musical que consiste en la combinación de dos o más temas musicales en una especie de *collage*.

³ <<http://www.geofabrik.de/geofabrik/openstreetmap.html>>.

sensores en la Tierra” (Goodchild, 2007). Esto se traduce en una heterogeneidad de técnicas, características de los voluntarios y fuentes de información, lo cual tiene como resultado, la no homogeneidad de la calidad de la información geográfica aportada. Por ejemplo, muchos de los datos recopilados proceden de campo, pero también hay aportaciones realizadas a través de otras fuentes de información, como edición sobre ortoimágenes. La mayoría de los voluntarios recogen datos de su entorno y estos se caracterizan temáticamente en función de sus intereses. Todo esto conlleva una serie de defectos y virtudes que caracterizan a la IGV.

Defectos

La diversidad de fuentes de información geográfica que conforman la IGV impide establecer una homogenización que siga un estándar. Los voluntarios pueden ser de muchas clases: simples aficionados sin cualificación en técnicas de edición cartográfica, profesionales del campo cuya afición a la información geográfica les motiva hasta en sus ratos libres, idealistas (Van Exel *et al.*, 2011), voluntarios que aprovechan los proyectos para obtener autopromoción o que buscan obtener una reputación que les produzca un sentimiento de realización (Goodchild, 2007). La motivación también tiene un papel importante, ya que puede derivar en la creación de estilos personales, o en que determinados tipos de entidades estén más ampliamente cartografiados que otros. Por ejemplo, entidades como el carril-bici han sido ampliamente cartografiadas por voluntarios afines al ciclismo (Ciepluch *et al.*, 2011).

La falta de homogenización se ve agravada cuando los voluntarios completan entidades ya cartografiadas con diferentes métodos de adquisición de datos. La precisión de la entidad original no es conocida y por lo tanto se encadena el error, haciendo muy difícil la evaluación futura de su calidad (Ciepluch *et al.*, 2011).

Por último, los voluntarios no están repartidos por igual a lo largo del mundo. Se encuentran diversificados con tendencias de agrupación en las zonas más pobladas, como las ciudades y en países con mayor acceso a las tecnologías de la información. Esto implica que determinadas zonas estarán ampliamente cartografiadas, mientras que otras zonas tendrán una falta de cartografía (Mooney *et al.*, 2010).

Virtudes

La descentralización de la adquisición de datos en la IGV permite aprovechar el conocimiento local. Los voluntarios poseen un conocimiento de su medio mucho mayor que el que puedan tener profesionales foráneos (Van Exel *et al.*, 2011). El gran número de voluntarios también implica un alto grado de corrección de errores, ya que es más probable que estos sean detectados y corregidos según expone la ley de Linus (Haklay *et al.*, 2010).

El acceso a las nuevas tecnologías y el trabajo de un número muy elevado de voluntarios proporcionan un entorno de actualización constante, diferente de la concepción clásica de los proyectos cartográficos que eran realizados para las definiciones de un momento temporal y cuya actualización implicaba un alto coste. De esta forma la IGV abarata considerablemente la adquisición de información geográfica ya que los voluntarios realizan su actividad de forma altruista y en función de diversas motivaciones, ofreciendo además una vigencia a la IGV mayor en comparación con los datos oficiales (Van Exel *et al.*, 2011).

Su carácter voluntario e inmediato es de gran utilidad en situaciones de emergencia. Ello incluye todos los aspectos de ésta y en particular la fase anterior a que las ortoimágenes estén disponibles para la evaluación de daños y la realización de planes de reconstrucción. Un ejemplo son los casos del Huracán Catrina o el Tsunami del Índico (Goodchild, 2007).

La calidad en la IGV

Un proyecto basado en IGV está más focalizado en la generación de contenido que en el análisis de su calidad (Goodchild, 2008). Por lo tanto, existe una diferencia fundamental con los proyectos de información geográfica tradicionales donde hay unos parámetros de calidad prefijados (Aragó *et al.*, 2011).

Hay que tener en cuenta que al hablar de información geográfica se pueden utilizar los parámetros de calidad establecidos por la norma ISO 19113 y adaptarlos a la IGV. Los elementos de la calidad que inciden en la medida de la calidad son el linaje, la exactitud posicional, la exactitud temática, la consistencia lógica, la compleción, la exactitud semántica y la exactitud temporal (Aragó *et al.*, 2011).

Por otro lado hay que tener presente las características propias de la IGV al fin de integrar en un parámetro la calidad de todos los voluntarios en su conjunto. (Van Exel *et al.*, 2011) establecen dos dimensiones: la calidad de las entidades geográficas que aportan los voluntarios y que pueden ser analizadas mediante los parámetros anteriores y la calidad del voluntario que tiene que ver con sus habilidades técnicas y que no tiene un perfil predefinido.

A estas hay que añadir unos conceptos que adquieren mucha importancia en la IGV: la confianza y la reputación de un determinado voluntario dentro de la comunidad.

La confianza en la IGV

La confianza en la IGV es una dimensión de la calidad difícil de evaluar (Bishr y Janowicz, 2011). Los autores señalan que, si un amplio grupo de usuarios encuentra que una determinada IGV resuelve mejor sus necesidades que otra, ésta es de mayor confianza que la segunda. De esta forma la información geográfica aportada por un

voluntario se convierte en un indicador de su reputación como tal. De hecho, un usuario puede confiar más en la información geográfica aportada por un voluntario con una alta reputación que en la de otro con una menor. Este método de evaluar la confianza tiene dos componentes: una espacial y otra temporal.

El componente espacial indica que la confianza aumenta con la proximidad entre el voluntario y las observaciones aportadas. Los voluntarios que aportan información geográfica de la zona en donde habitan ofrecen mayor confianza ya que poseen un mejor conocimiento de su entorno.

La confianza en la IGV cambia con el paso del tiempo, y será mayor cuanto más próximas estén las lecturas con el presente. Si dos voluntarios aportan información geográfica de una determinada entidad, en el caso de que las observaciones no coincidan, la discrepancia suele depender de la diferencia en el tiempo entre ambas. Si la diferencia es pequeña, normalmente alguna de las dos observaciones será incorrecta o ambas lo serán. En cambio si el paso del tiempo es considerable, cabe la posibilidad de que la entidad haya cambiado.

La confianza en las aportaciones de un determinado voluntario y por lo tanto la reputación que adquiera, se convierten en dos variables interrelacionadas que añadir a la hora de analizar la calidad de la IGV (Bishr y Janowicz, 2011).

Las metodologías tradicionales de adquisición de información geográfica garantizan una calidad uniforme a todo el conjunto de la información; en cambio la IGV define una calidad propia a nivel de objeto, ya que distintos voluntarios pueden adquirir datos con métodos diferentes para una misma entidad. Por ejemplo, un conjunto de datos sobre restaurantes incluye un grupo definido de atributos en la información oficial, mientras que en IGV un voluntario puede definir sus atributos personales (Van Exel *et al.*, 2011).

Métodos para garantizar la confianza

Las características de la IGV expuestas hacen difícil la aplicación de los elementos clásicos de la calidad. Aunque existen intentos para establecer un conjunto de indicadores (Ciepluch *et al.*, 2011), no existe una metodología estándar.

El proyecto de IGV OpenStreetMaps aporta herramientas para facilitar la edición de la información geográfica y para la detección de errores *a posteriori* de forma colaborativa. De esta forma, se minimiza la cantidad de errores aunque no permite medir la calidad de la IGV (Ciepluch *et al.*, 2011).

Para cuantificar la calidad existen métodos internos que utilizan los propios datos del proyecto IGV (Ciepluch *et al.*, 2011) y métodos externos que se basan en la comparación con otras fuentes información geográfica (Mooney *et al.*, 2010). Ambos se focalizan en las metodologías clásicas utilizadas para la información geográfica y no abordan características propias de la IGV. Un buen ejemplo es la metodología aplicada por (Kounadi, 2009) que compara los datos de OpenStreet-

Maps con la cartografía oficial de Grecia (HMSG) utilizando los elementos: exactitud posicional, exactitud temática y compleción. Sus resultados arrojan buenos resultados al comparar los datos IGV y los datos de referencia oficiales.

Para medir la calidad de un proyecto de IGV (Van Exel *et al.*, 2011) introduce un nuevo concepto denominado *crowd quality*, que se puede traducir por “calidad de la comunidad” que cuantifica y describe la calidad de un proyecto de IGV. Está basado en dos dimensiones interrelacionadas: la dimensión relativa al voluntario y la relativa a los datos geográficos. La dimensión del voluntario cuantifica la calidad de sus aportaciones a través de tres componentes: conocimiento local, experiencia y reputación. Por otro lado, la dimensión relativa a los datos geográficos se basa en los elementos de la calidad de la norma ISO 19113.

Por su parte (Bishr y Janowicz, 2011) tienen más en cuenta las características propias de un proyecto colaborativo donde participa gran cantidad de voluntarios, y en el que se crea una red de confianza y reputación en los voluntarios que influye en la calidad de la IGV. Ellos introducen la confianza con dos componentes: una espacial y otra temporal, que permite establecer un modelo de confianza de aplicación para proyectos IGV. En este modelo aparecen la confianza y la reputación como variables muy interrelacionadas.

Otros autores tratan de analizar en qué grado influye la densidad de voluntarios en la calidad de la IGV y cuantos serían suficientes para garantizar la confianza o unos parámetros de calidad aceptables (Haklay *et al.*, 2010). Sus conclusiones son que con un número de 15 voluntarios por kilómetro cuadrado, la exactitud posicional llega hasta los 6 metros. Por otro lado, los cinco primeros voluntarios de una zona realizan la mayor aportación en términos de mejora de la exactitud posicional.

Existen metodologías aportadas por proyectos colaborativos que aunque no estén en el ámbito de la información geográfica, han aplicado modelos para cuantificar la reputación de las contribuciones de los voluntarios, como es el caso de las *wikis*⁴ cuyo exponente más destacado es Wikipedia,⁵ las redes sociales⁶ o en el propio proyecto de OpenStreetMap help.⁷ Su sección de ayuda cuenta con una metodología para cuantificar y valorar las aportaciones de los usuarios para solucionar dudas, utilizando un indicador denominado “karma”, que mide la reputación de un usuario.

⁴ <<http://es.wikipedia.org/wiki/Wiki>>.

⁵ <<http://wikipedia.org>>.

⁶ Las redes sociales son estructuras sociales compuestas de grupos de personas, las cuales están conectadas por uno o varios tipos de relaciones, tales como amistad, parentesco, intereses comunes o que comparten conocimientos.

⁷ <<http://help.openstreetmap.org/users/>>.

Por último no hay que olvidar a las empresas que están involucradas en el fenómeno de los medios sociales,⁸ las cuales poseen ya algoritmos para cuantificar la influencia de un usuario de las redes sociales sobre la comunidad y medir su reputación. Un ejemplo es la aplicación Klout⁹ que ya se usa como medida por parte de empresas para valorar a los profesionales del sector.

Conclusiones

La confianza se convierte en una nueva medida de la calidad que tiene en cuenta las características específicas de la IGV, complementando los métodos tradicionales basados en los elementos de la calidad de la norma ISO 19113. Por otro lado, la confianza está íntimamente ligada con la reputación, lo que implica la necesidad de considerar ambos aspectos.

De momento, los estudios sobre las variables confianza y reputación en la IGV se encuentran en un estadio inicial donde existen artículos científicos teóricos (Van Exel *et al.*, 2011), otros intentan aportar algoritmos como es el caso de la dimensión espacial y temporal de la confianza (Bishr y Janowicz, 2011).

Donde sí existen ejemplos concretos del uso de la variable reputación, es en el ámbito de las *wikis*, como es el caso de Wikipedia, o en las redes sociales mediante productos más maduros como Klout, los cuales pueden asentar las bases y adaptarse a las características de la IGV para lograr un estándar. Esto lograría dotar a la IGV de una confianza, como la que hoy existe en otras fuentes de información geográfica que son consideradas como fiables.

El potencial que proporciona la IGV es muy atractivo para empresas que quieran basarse en ella y aportar otras capas de información para generar productos con un alto valor añadido. Los campos de los sistemas basados en localización tienen necesariamente un sustento de cartografía, y la IGV está demostrando ser una alternativa de bajo coste para los proyectos.

Avanzar en el estudio de la confianza, como una medida más, que permita alcanzar un estándar acorde con las características de la IGV es muy importante para aprovechar sus ventajas y establecer unas garantías al usuario.

Referencias

Aragó P.; Díaz L. y Huerta J. (2011). "A quality approach to volunteer Geographic Information", 7th International Symposium on Spatial Data Quality (ISSDQ 2011). Raising awareness of Spatial Data Quality 2011, October, 12-14, Coimbra, Portugal, 109-114.

⁸ Los medios sociales son plataformas de comunicación *online* donde el contenido es creado por los propios usuarios mediante el uso de las tecnologías de la Web 2.0, que facilitan la edición, la publicación y el intercambio de información.

⁹ <<http://Klout.com>>.

- Bishr M. Y Janowicz K., (2011). "Can we trust information? - The case of volunteered geographic information", *Proceedings of the Workshop Towards Digital Earth: Search, Discover and Share Geospatial Data 2010 at Future Internet Symposium*, vol. 640, Berlin, Germany.
- Ciepluch B.; Jacob R., Mooney, P. and Winstanley, A. (2010), "Comparison of the accuracy of OpenStreetMap for Ireland with Google Maps and Bing Maps", Nicholas J. Tate and Peter F. Fisher (ed.), *Proceedings of the Ninth International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Sciences*, pp. 337- 340.
- Ciepluch B.; Mooney P. and Winstanley C., (2011). "Building generic quality indicators for OpenStreetMap", *Proceedings of the 11th International Conference on GeoComputation*, UCL, London, England.
- Cooper, A.K.; Coetzee, S., Kaczmarek, I. *et al.* "Challenges for quality in volunteered geographical information", *AfricaGEO 2011*, Cape Town, South Africa, p. 13.
- Goodchild M., (2007). "Citizens as sensors: the world of volunteered geography", *GeoJournal* 69(4), 211-221.
- Goodchild M., (2008). "Spatial accuracy 2.0", *Proceedings of the 8th International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Sciences*, Shanghai, P.R. China, pp. 1-7.
- Haklay M.; Basiouka S.; Antoniou V., and Ather A., (2010). "How many volunteers does it take to map an area well? the validity of 'linus' law to volunteered geographic information", *Cartographic Journal*, 47(4), 315-322.
- "Klout. The standar for influence", disponible en <<http://Klout.com/>>, consultado en junio de 2012.
- Kounadi O. (2009), "Assessing the quality of OpenStreetMap data", *Master's thesis, University College of London Department of Civil, Environmental And Geomatic Engineering*, disponible en <ftp://ftp.cits.nrcan.gc.ca/pub/cartonat/Reference/VGI/Rania_OSM_dissertation.pdf>, consultado en junio de 2012.
- Mooney P., Corcoran P., Winstanley A., (2010). "Towards quality metrics for OpenStreetMap", *GIS '10 Proceedings of the 18th SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic Information Systems*, pp. 514-517.
- "OpenStreetMap. Map Help page", disponible en <<http://help.openstreetmap.org/users/>>, consultado en junio de 2012.
- Ostlaender N.; Smith, R.S.; De Longueville, B. and Smits P., (2010). "What volunteered geographic information is (good for) - designing a methodology for comparative analysis of existing applications to classify VGI and its uses", *Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, 2010 IEEE International, pp. 1422-1425.
- Van Exel M.; Dias E. and Fruijtjer S. (2011). "The impact of crowdsourcing on spatial data quality indicators", *GIScience 2010*, Zurich, Switzerland.

Reflexão contemporânea sobre a padronização dos Nomes Geográficos no Brasil

Claudio João Barreto dos Santos*
Moema José de Carvalho Augusto**

Recebido el 5 de maio de 2015; aceito el 16 de agosto de 2015

Abstract

The standardization of geographical names is a search for a suitable official denomination for each geographical feature represented in the maps and charts. Each country strives to conform, according to their own legislation so as to meet the needs of standardization of their geographical names, usually by establishing a Geographical Names Committee. This essay focuses this standardization in Brazil, and the efforts made by the Geographical Names Committee of the National Commission of Cartography (CONCAR) to reduce various issues caused by the lack of standardization.

Key words: *Geographical name, standardization, official denomination, geographical feature.*

Resumen

La normalización de los nombres geográficos es la búsqueda de un nombre oficial de cada accidente geográfico representado en los mapas. Cada país busca adaptar, de acuerdo con su legislación con el fin de satisfacer la necesidad de la normalización de los nombres geográficos, por lo general a partir de la creación de un Comité de Nombres Geográficos.

Esta prueba objetiva se refiere a la cuestión de la normalización de los nombres geográficos en Brasil y en los esfuerzos realizados por el Comité de Nombres Geográficos de la Comisión Nacional de Cartografía (CONCAR) para minimizar este problema.

* Coordenador do Comitê de Nomes Geográficos, Professor da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, e-mail: cljclj6@gmail.com

** Membro do Comitê de Nomes Geográficos da CONCAR, Chefe da Delegação do Brasil UNGEGN 2006-2007, e-mail: moema.augusto@hotmail.com

Palabras clave: *Nombres Geográficos, estandarización, documentos cartográficos oficiales, características geográficas.*

Resumo

A padronização dos nomes geográficos consiste na busca de uma denominação oficial para cada feição geográfica representada nos mapas e cartas. Cada país procura adaptar-se, de acordo com sua legislação, a fim de atender a necessidade de efetuar a padronização dos seus nomes geográficos, normalmente a partir do estabelecimento de uma Comissão de Nomes Geográficos.

Este ensaio foca a questão desta padronização no Brasil, e os esforços empreendidos pelo Comitê de Nomes Geográficos da Comissão Nacional de Cartografia (CONCAR) para minimizar várias questões decorrentes desta falta de padronização.

Palavras chave: *Nomes Geográficos, padronização, denominação oficial, feição geográfica.*

Introdução ao tema

A nominação de lugares acompanha a atividade humana desde tempos imemoriais. Nomeiam-se tanto os seres humanos, quanto os lugares, permitindo-se a individualização e a conseqüente identificação unívoca das pessoas e dos lugares. Mas o que vem a ser um lugar? O lugar é o quadro de uma referência pragmática do mundo de onde vem o condicionante e a ordem, e onde se instala a espontaneidade e a criatividade, onde existe um cotidiano compartilhado entre as mais diversas pessoas, firmas e instituições (Santos, 1996).

Porém, para esse artigo, lugar é aqui conceituado como uma ocorrência na superfície terrestre possuidor de “personalidade” própria a partir de uma prolongada vivência do homem no mesmo (Tuan, 1974).

Pode-se afirmar que o lugar insere-se num contexto de ampliação do próprio local da moradia dos indivíduos, um lar sem muros nem paredes, porém onde fica preservado o espírito de pertencimento dos moradores locais, com sentido e personalidade bem definida. Pode ser traduzido também pela ampliação do espaço conhecido, ao qual se necessita identificar de forma, em princípio, unívoca.

Detendo-se um pouco mais no conceito de lugar, torna-se digno de registro aqui nesse estudo, a análise empreendida por Relph (1976), que apresentou seis principais características componentes do conceito em tela, a saber:

- I. A ideia de locação, em especial, torna-se absolutamente fundamental. Essa locação pode ser descrita em termos das características internas ao lugar e de

- interconexões com outros lugares; estabelecendo-se assim que os lugares possuem componentes espaciais internos e externos.
- II. Lugares encapsulam a integração de elementos de natureza física e culturais; cada lugar possui um ordenamento próprio, singular, que sempre o distinguirá de outro lugar. Decorre daí de forma clara, que cada lugar torna-se uma entidade única, individualizada de forma inequívoca.
 - III. Embora os lugares sejam únicos, interconectam-se por um sistema de interações e transferências espaciais; tornando-se parte de uma rede ou teia de circulação.
 - IV. Lugares são localizáveis. Sendo partes (ou não) de áreas extensas, tornam-se passíveis de serem localizados e posicionados num sistema de referência geográfica.
 - V. Lugares surgem e transformam-se; com mudanças advindas da dinâmica histórica e cultural, novos elementos emergem e antigos desaparecem. Dessa forma os lugares possuem um inequívoco componente histórico.
 - VI. Os lugares possuem uma característica semântica, adquirem significados: advindos das crenças humanas.

Cada povo devido a suas especificidades culturais converte o ato de nomear num autêntico ato de registro civil, obtendo-se uma característica de singularidade na identificação das pessoas e lugares, possibilitando dessa forma, uma maior convivência na sociedade. Dick (1990) assevera que cada povo tem as suas especificações no ato de dar os nomes e na vivência dos nomes dados.

A denominação dos lugares possui uma direta relação com os deslocamentos de grupos humanos e seu possível estabelecimento sobre a superfície terrestre. Esse estabelecimento, e a necessidade de hierarquizar e identificar o ambiente à sua volta, induz o ente humano a fixar denominações para os lugares e demais feições geográficas.

Os nomes singularizam lugares, mas não os nominam ad aeternum. Existe presente nesta nomenclatura uma evidente e clara dinâmica, que se apresenta de forma preferencial, ao sabor de injunções, sejam religiosas, políticas, econômicas, ou outras quaisquer, fazendo-os evoluir, transformar-se ou corromper-se.

Os nomes geográficos, no entanto, extrapolam, indo um pouco além de uma simples nomenclatura. Encontram-se de forma seminal, relacionados aos jogos de poder que se superpõem, por vezes, sobre um determinado território.

O conjunto de nomes geográficos é hoje reconhecido como importante patrimônio cultural de uma nação, especialmente num contexto de redes mundiais e de proteção da propriedade intelectual de nomes únicos. Ciente de que a eficácia de muitos sistemas depende diretamente da padronização desse conjunto, a ONU realiza desde 1962, no âmbito do Conselho Econômico e Social, conferências quinquenais que produzem recomendações e estudos regulares sobre o tema. Ressalta-se que a

ausência de padronização da toponímia gera, entre outras consequências, carência de subsídios para documentação e litígios em questões fundiárias e territoriais.

Quando o nome geográfico em sua semântica carrega de forma clara e inofismável, o poder que o gerou, a dinâmica de sua transformação é quase imediata, no caso de um antagônico poder, assumir o domínio do território em pauta. Eventualmente, essa carga de poder pode não se mostrar tão explícita na semântica geonímica, como àqueles cujas motivações são vegetais, minerais ou animais. Nesse caso, o nome geográfico tenderá a transformar-se num fóssil linguístico, pois sua perenidade pode, em contrapartida, aproximar-se de uma escala de tempo milenar.

A área do conhecimento científico que engloba o estudo dos nomes geográficos é a Onomástica, que consubstancia-se no estudo dos nomes próprios. Esta área do conhecimento divide-se em duas outras: Antroponímia e Toponímia. A Antroponímia é o estudo dos nomes de pessoas e a Toponímia o estudo dos nomes dos lugares, área do conhecimento humano na qual, insere-se o presente estudo. Como descendente direta da Onomástica, considera-se também chamá-la Toponomástica. Dick (1990).

A necessidade da padronização dos nomes geográficos

A Tradição é o fundamento para a manutenção de um nome geográfico para que se mantenha inalterado por gerações de falantes. Caso exista tradição, a grafia deve ser mantida intacta.

Nesse contexto, o item 42 das Instruções para a Organização do Vocabulário Ortográfico da Língua Portuguesa da ABL, dispõe o seguinte:

Os topônimos de tradição histórica secular não sofrem alteração alguma em sua grafia, quando já esteja consagrada pelo consenso diuturno dos brasileiros. Sirva de exemplo o topônimo “Bahia”, que conservará esta forma quando se aplicar em referência ao Estado e à cidade que tem esse nome. Atendendo ao disposto neste item, deverá manter-se a grafia de outros nomes próprios “de tradição histórica secular”. Essa abertura na legislação da ABL, se mal aplicada, pode acarretar desmandos, do ponto de vista dos lexicógrafos, ao considerá-la demasiadamente elástica, quando não se considera a expressão “sirva de exemplo o topônimo Bahia”, como um caso limite.

O termo tradição vem do latim tradere, ou seja, transmissão, tradere = entregar. Aceita-se o conceito de tradição nesse estudo, ao entendê-lo como a transmissão ou entrega de valores de uma geração à outra. Em outras palavras, consubstancia-se como uma transmissão oral de lendas ou narrativas ou de valores espirituais de geração em geração.

Uma crença de um povo, algo que é seguido conservadoramente e com respeito através das gerações. Uma recordação, memória ou costume; uma orientação para o passado, de tal forma que o passado tem uma pesada influência ou, mais precisamente, é constituído para ter uma pesada influência para o presente.

Um nome geográfico, portanto, que consiga ter a sua grafia incólume ao atravessar mais de uma geração, é um nome aceito como correto pelo critério da tradição, mesmo que sua ortografia encontre-se equivocada, quando considerado o padrão ortográfico vigente no país. É um critério que, por ser muito importante é, por vezes fácil, por outras, de difícil aplicabilidade. Deve ser utilizado com extremo cuidado, a fim de que não se corra o risco de confundir, nomes geográficos tradicionais com anacronismos ortográficos.

Fácil quando se sabe que no Brasil, por tradição, denomina-se por exemplo: Alemanha e não Deutschland; Inglaterra e não England; Buenos Aires e não Bons Ares; Munique e não München; Estado da Bahia e não Estado da Baía; Magé e não Majé etc. Nesses casos, não há muito o que discutir, pois existe o respaldo da tradição, desde algumas gerações, de assim denominar as feições geográficas exemplificadas, mesmo que em alguns casos como Magé e Bahia, ocorram equívocos em relação ao padrão ortográfico vigente no país.

Difícil quando é necessário decidir, se existe ou não tradição no Brasil, ao chamar New York de Nova Iorque ou Nova York ou mesmo New York; Caxemir, Cachemira ou Caxemira; Singapura ou Cingapura; Madri ou Madrid; Strasburgo ou Estrasburgo; Viet Nam ou Vietnã; Amsterdam ou Amsterdã; Camarões ou Cameroon; Paraty ou Parati; Paty do Alferes ou Pati do Alferes; Quissaman, Quiçamã ou Quissama, etc.

Mais que difícil, pode se tornar perigoso, se alguém em nome do conceito da tradição, resgata a forma de grafar nomes geográficos como Nictherói, em detrimento à atual Niterói. Do ponto de vista desse ensaio, o conceito de tradição não estaria sendo bem aplicado.

Faz-se necessário uma instituição que coordene e ajude a dirimir tais dúvidas, além de discernimento para que se faça a correta separação entre os falares regionais tradicionais não passíveis de correções, com os anacronismos gramaticais, estes sim, com a obrigação e o dever de serem corrigidos, a fim de não se transformarem em teratomas lexicais.

No primeiro caso, cite-se o caso de córguinho, corruptela de córregozinho, que é um falar regional do Estado do Paraná, e Crôa, corruptela da feição hidrográfica Coroa, esse, um falar regional do Estado do Ceará. No segundo caso, podemos citar: Fazenda São Juzé ao invés de Fazenda São José; Fazenda Três Irmão ao invés de Fazenda Três Irmãos; Rua Pampocha ao invés de Rua Papoula.

Faz-se necessário, portanto, a devida separação entre falar regional tradicional com anacronismos gramaticais, em outras palavras, erros ortográficos da língua portuguesa.

Nesse ponto há que deter-se, ainda um pouco mais, no conceito da padronização. O que viria a ser afinal, um nome geográfico padronizado? Não é uma questão que tenha uma resposta direta e trivial.

A princípio não existe diferença conceitual entre normalização – regularização, retorno a uma situação normal, ato de normalizar (tornar normal; normativo – de que se tiram regras ou preceitos, que tem força de regra ou norma (princípio que serve de regra ou de lei modelo, exemplo) e padronizar – estabelecer o padrão de, servir de modelo, estandardizar, estabelecer padrões, normas ou modelos (Koogan/Houaiss, 1995). Sob o ponto de vista desse estudo, fica evidente a sinonímia entre os termos normalizar, normatizar e padronizar.

A preferência, aqui, pelo termo padronizar, recai no fato da presença nos textos sobre nomes geográficos da ONU, da palavra *standard*, traduzida como padrão na língua portuguesa.

Entende-se, portanto, por padronizar um nome geográfico, o fato de que quando houver a ocorrência de vários alônimos —cada um de um ou mais geônimos referidos a uma mesma feição geográfica— um deles deve ser marcado de forma explícita como nome oficial, e sua grafia fixada de acordo com as normas em vigor, de preferência sancionado por uma Comissão em nomes geográficos.

Convive-se nos dias de hoje com sérios problemas em relação a falta de padronização dos nomes geográficos, com demandas judiciais que costumam por vezes chegar ao Supremo Tribunal Federal por questões relacionadas a falta de padronização dos mesmos nos documentos cartográficos oficiais, principalmente quando nomeiam áreas que fazem parte da divisão geopolítica administrativa em termos nacionais (distritos, municípios e estados) além das questões internacionais.

A falta de padronização dos nomes geográficos causa muito desconforto em questões como: comunicação, entendimento, tempo e dinheiro. A questão das localizações geográficas protegidas em razão de arranjos produtivos locais de caráter coletivo é um exemplo candente dessa necessidade, entre tantas outras. A normalização de topônimos segundo as regras internacionais poupa dinheiro ao país, é importante economicamente, socialmente e administrativamente.

Faz diferença fundamental até na velocidade e efetividade da comunicação internacional e no envio de assistência no caso de catástrofes naturais ou crises humanitárias. Promove o desenvolvimento de inúmeras atividades, como a cartografia, o planejamento urbano e regional, a defesa nacional, a navegação, o comércio, as tradições culturais e a prevenção de emergências.

Para a ONU o uso preciso dos nomes geográficos padronizados e referenciados é elemento essencial para a eficiência das comunicações mundiais. A padronização contribui para o desenvolvimento socioeconômico, a gestão ambiental e a infraestrutura dos países. Essa foi a razão pela qual a ONU criou o Grupo de Especialistas das Nações Unidas em Nomes Geográficos (UNGEGN). UNGEGN

fomenta em todo o mundo o uso preciso de nomes geográficos padronizados e referenciados.

O Comitê de Nomes Geográficos da Comissão Nacional de Cartografia (CONCAR) e algumas tratativas de padronização dos nomes geográficos

No Brasil, segundo a Constituição Federal de 1988, compete privativamente à União legislar sobre os sistemas: estatístico, cartográfico e de geologia nacionais. Nesse sentido é identificado o Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão (MP), como gestor do Sistema Cartográfico Nacional (SCN), e para isso conta com a assessoria da Comissão Nacional de Cartografia (CONCAR). A CONCAR é um órgão normatizador e aglutinador de uma série de instituições, com a finalidade de prover o Estado brasileiro de informações para os tomadores de decisão em geral, construindo e gerando dados e informação geoespaciais.

A considerar que os Nomes Geográficos configuram importante camada de informação geoespacial, a sua padronização é fundamental. Em 2008 foi criado na CONCAR o Comitê de Nomes Geográficos do Brasil (CNGEO), com o objetivo de promover esta padronização dentro do território da República Federativa do Brasil, assim como dos nomes estrangeiros que serão inseridos em produtos cartográficos nacionais. No âmbito do trabalho do CNGEO estão sendo propostos os seguintes princípios (em fase de apreciação pela CONCAR):

- I. Respeitar as normas do direito interno do país e do direito internacional emanadas da ONU;
- II. Respeitar as normas ortográficas da língua portuguesa, admitindo-se, excepcionalmente, alteração de grafia levando em consideração o uso tradicional do nome geográfico em função das origens culturais específicas, observando o uso de línguas nativas ou estrangeiras da tradição local;
- III. Respeitar a tradição local do nome geográfico, avaliando o seu contexto regional e nacional;
- IV. Rejeitar o uso de nomes pejorativos ou ofensivos;
- V. Evitar o uso de nomes duplicados em diversos elementos geográficos que possam causar equívoco para sua identificação. Criar formas e critérios de diferenciação ou limitação;
- VI. Evitar a alteração do nome geográfico;
- VII. Considerar oficiais os nomes geográficos formalmente emanados dos Poderes Executivo e Legislativo competentes, em suas diversas instâncias;
- VIII. Considerar apenas um nome oficial para cada elemento geográfico passível de representação no território do Brasil;
- IX. Reconhecer o Ministério das Relações Exteriores (MRE) do estado brasileiro como a instituição responsável pela palavra final nas questões envolvendo

litígios de nomes geográficos entre países, assim como no caso dos nomes identificados nas fronteiras referentes aos limites internacionais do Brasil.

Um exemplo prático da participação do MRE no CNGEO foi a resolução CONCAR 01/2015, sobre a adoção pelo Brasil da nomenclatura Ilhas Malvinas, Geórgia do Sul e Sandwich do Sul. Esse caso foi um exemplo vívido o sabor político-diplomático da toponímia no cenário internacional, acentuando-se sempre que estão em jogo questões de soberania nacional. Na medida em que reflete a cultura, a história, a identidade de um país, a toponímia é questão de alta relevância política. Diante das injunções diplomáticas inerentes à toponímia estrangeira, muitas Chancelarias têm desempenhado papel preponderante na matéria.

Essa resolução foi baseada numa Declaração emitida pelo MRE em junho de 2013, baseada em questões diplomáticas, pois o Brasil apoiou os direitos da Argentina na disputa de soberania com o Reino Unido sobre as Ilhas Malvinas e coaduna-se com as manifestações do MERCOSUL, da LTNASUL e da CELAC conclamando as Partes a retomarem o diálogo.

Resulta no entendimento que no Brasil, da mesma maneira, instituições como o IBGE e a ABNT, e mais recentemente a CONCAR, têm reconhecido a competência do Itamaraty no assunto e solicitaram-lhe, em mais de uma oportunidade, que se fizesse representar em comissões sobre padronização de topônimos estrangeiros.

Considerações finais

Em última instância, a padronização dos nomes geográficos consubstancia-se em nada mais, nada menos, do que se procurar obedecer à lei áurea intrínseca a Geonímia, a qual reza: a cada nome geográfico deve corresponder apenas uma identificação fonética (respeitando-se as diferenças de acentos regionais) e uma grafia.

A sociedade moderna depende do uso de nomes geográficos padronizados, a fim de garantir uma administração e comunicação precisa e eficiente. Um programa de padronização nacional poupa tempo e recursos financeiros, ao incrementar a eficiência operacional em todos os níveis do governo, indústria, comércio e educação.

Isto se torna singularmente concreto na produção de mapas e gráficos; operações de censo; defesa nacional; comunicação terrestre, aérea e marítima doméstica e internacional; pesquisas aquáticas e minerais; entregas postais e frete; segurança por terra e mar; controle de desastres ambientais, busca e salvamento, preparação de emergências; projetos da área cultural, social e científica.

Os processos de padronização nacionais tendem a eliminar a duplicação de trabalho, quando mais de um órgão ou organização identifica e utiliza o uso correto e consistente dos nomes geográficos padronizados.

De importância crucial, os povos de uma nação identificam nos nomes geográficos uma parte essencial de sua herança cultural.

Um Comitê ou Comissão em nomes geográficos de âmbito nacional também fornece a cada país os meios para estabelecer seus próprios nomes, tornando-os oficialmente aceitos, em contraponto ao fato dos mesmos serem determinados de maneira enviesada, muitas das vezes baseados em critérios ditados pelo senso comum num mapa oficioso, atlas ou produtores de gazetteers não-governamentais ou internacionais.

A padronização de nomes geográficos varia de um país para outro. Na verdade, nem mesmo dois países com programas eficazes abordam a padronização da mesma forma e sua organização, princípios, diretrizes e procedimentos variam muito.

Nenhum método é melhor do que outro, desde que cada um atinja a meta de estabelecer nomes escritos que sejam nacionalmente aceitos e acordados de forma consistente (salvo raras exceções) com o uso local falado e escrito.

Bibliografia

- Brasil (1989). *Constituição da República Federativa do Brasil, de 5 de outubro de 1988*. São Paulo, Atlas, 200 pp.
- Brasil, “Decreto-lei n. 243, de 28 de fevereiro de 1967. Fixa as Diretrizes e Bases da Cartografia Brasileira e dá outras providências”, *Diário Oficial* [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 28 fev. 1967.
- Toponímia e Antroponímia no Brasil*. Coletânea de Estudos (1990). 2ª edição, São Paulo.
- Coutinho, R.P. (1999). “Tese do Curso de Altos Estudos”, Instituto Rio-Branco, Ministério das Relações Exteriores.
- Dick, M.V.P.A. (1990) *A motivação toponímica e a realidade brasileira*, Geo Arquivo do Estado São Paulo.
- Koogan, Houaiss (1995). *Enciclopédia e Dicionário Ilustrado*, Edições Delta, Rio de Janeiro.
- Nações Unidas (2015). “UNGEEN Brochure”, <http://unstats.un.org/unsd/geoinfo/UNGEEN/docs/pubs/UNGEENbrochure_por.pdf>, acessado em julho de 2015.
- Relph, E. (1976). *Place and Placenessless*, Pion, London.
- Santos, C.J.B. (2008). “Geonímia do Brasil: A Padronização dos Nomes Geográficos num Estudo de Caso dos Municípios Fluminenses”. Tese. Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro.
- Souza, M.J.L. (1995). “O Território: Sobre Espaço e Poder, Autonomia e Desenvolvimento”, *Geografia: Conceitos e Temas*. Organizado por: Iná Elias de

Castro, Paulo César da Costa Gomes, Roberto Lobato Corrêa, Bertrand Brasil, Rio de Janeiro.

Tuan, Yu-Fu (1974). “Topofilia: Um estudo da percepção, estudos e valores do meio ambiente”, Trad. Livia de Oliveira, Difel Difusão Editorial S.A., São Paulo.

Comparación del método de Thiessen con alternativas más simples mediante simulación de Monte Carlo*

Marcelo Guelfi**
Carlos López-Vázquez***

Recibido el 13 de abril de 2015; aceptado el 16 de agosto de 2015

Abstract

Estimating the expected value of a function over geographic areas is a problem with a long history. In the beginning of the XXth century the most common method was just the arithmetic mean of the field measurements ignoring data location. In 1911, Thiessen introduced a new weighting procedure measuring influence through an area and thus indirectly considering closeness between them. In another context, Quenouville created in 1949 the jackknife method which is used to estimate the bias and the standard deviation. In 1979, Efron invented the *bootstrap* method which, among other things, is useful to estimate the expected value and the confidence interval (CI) from a population. Although the Thiessen's method has been used for more than 100 years, we were unable to find systematic analysis comparing its efficiency against the simple mean, or even to more recent methods like jackknife or bootstrap. In this work we compared four methods to estimate the expected value. Mean, Thiessen, the so called here *jackknifed* Thiessen and *bootstrap*. All of them are feasible for routine use in a network of fixed locations. The comparison was made using the Friedman's Test after a Monte Carlo simulation. Two cases were taken for study: one analytic with three arbitrary functions and the other using experimental data from daily rain measured with a satellite. The results show that Thiessen's method is the best estimator in almost all the cases with a 95% of confidence interval. Unlike the others, the last two considered methods supply a

* Esta es una versión revisada y extendida del trabajo del mismo título presentado en las II Jornadas de Cartografía, 30-31 de octubre de 2014, Montevideo, Uruguay.

** Facultad de Ingeniería, Universidad ORT del Uruguay, correo electrónico: marcelo@mguelfi.com

*** Laboratorio LatinGEO, SGM+ORT, Facultad de Ingeniería, Universidad ORT del Uruguay, correos electrónicos: carloslopez@uni.ort.edu.uy; carlos.lopez@ieee.org

suitable CI, but the one obtained through *jackknifed Thiessen* was more accurate, opening the door for future work.

Key words: *Thiessen, Monte Carlo, bootstrap, jackknife.*

Resumo

A estimação do valor esperado de uma função sobre áreas geográficas é um problema que data de tempos atrás. Até o início do século XX o método mais comum consistia em calcular a média aritmética das medidas obtidas em campo, ignorando sua posição geométrica. Em 1911, Thiessen introduziu uma nova fórmula de cálculo que associava cada ponto de medição a um peso relativo a sua área de influência, que levava em conta indiretamente a proximidade entre dados. Em 1949, Quenouville cria, em outro contexto, o método *jackknife* que é usado para estimar o desvio padrão e a inclinação. Em 1979, Efron inventou o método do *bootstrap* que, entre outras coisas, é apropriado para estimar o valor esperado de uma população assim como seu intervalo de confiança (IC). Enquanto o método de Thiessen vem sendo usado por mais de um século, não são encontrados estudos sistemáticos que comparem sua eficácia comparado ao método anterior, nem com suas variantes posteriores como *jackknife* ou *bootstrap*. Este trabalho consiste na comparação dos quatro métodos de estimação do valor esperado: o do média aritmética, o de Thiessen, o aqui chamado de *jackknifed Thiessen* e o do *bootstrap*. Todos eles são adequados para aplicações repetitivas em uma rede de observação fixa. A comparação foi realizada através do Teste de Friedman feita em uma simulação de Monte Carlo. Para os dados são considerados dois casos: um analítico através do estudos de três funções arbitrarias e outro experimental com dados de chuva diária medidos por satélite. Os resultados obtidos mostram que o método Thiessen é o melhor estimador em praticamente todos os casos com nível de confiança de 95%. As últimas duas variantes tem a virtude de fornecer um IC que se mostrou adequado, embora o *jackknifed Thiessen* tenha resultados mais precisos, abrindo assim a porta para futuras investigações.

Palavras chave: *Thiessen, Monte Carlo, bootstrap, jackknife.*

Resumen

La estimación del valor esperado de una función sobre áreas geográficas es un problema que data de tiempo atrás. Hasta principios del siglo XX el método más común solía ser calcular la media aritmética de las medidas obtenidas en el campo, ignorando su posición geométrica. En 1911, Thiessen introdujo una nueva forma de cálculo que asignaba a cada punto de medición un peso relativo al área de influencia, que tenía en cuenta indirectamente la proximidad entre datos. En 1949, Quenouville crea, en otro contexto, el método de *jackknife* que se utiliza para

estimar el sesgo y la desviación estándar. En 1979, Efron inventa el método de *bootstrap* que, entre otras cosas, es apropiado para estimar el valor esperado de una población así como su intervalo de confianza (IC). Si bien el método de Thiessen lleva usándose hace más de un siglo, no se han encontrado estudios sistemáticos que comparen su eficacia frente al método anterior ni frente a variantes posteriores como *jackknife* o *bootstrap*. Este trabajo consiste en comparar cuatro métodos para la estimación del valor esperado: el de la media aritmética, el de Thiessen, el aquí denominado *jackknifed* Thiessen y el de *bootstrap*. Todos ellos son aptos para aplicaciones repetitivas en una red de observación fija. La comparación se realizó mediante el Test de Friedman tras una simulación de Monte Carlo. Para los datos se consideran dos casos: uno analítico mediante el estudio de tres funciones arbitrarias, y otro experimental con datos de lluvia diaria medidos por satélite. Los resultados obtenidos muestran que el método Thiessen es el mejor estimador en prácticamente todos los casos con el 95% de nivel de confianza. Las últimas dos variantes tienen la virtud de suministrar un IC que se mostró adecuado, aunque *jackknifed* Thiessen resultó mucho más ajustado, abriendo así la puerta para futuras investigaciones.

Palabras clave: *Thiessen, Monte Carlo, bootstrap, jackknife.*

Introducción

Tanto en las ciencias de la Tierra como en otras áreas, es necesario en ocasiones calcular un valor representativo de una variable en un cierto dominio. Como ejemplo puede citarse la densidad de población, la lluvia promedio en una cuenca, etc. Para aplicaciones en geociencias es corriente que se den ciertas situaciones:

- El dato a observar se conoce solamente en unos pocos lugares (puntos)
- Es costoso (o en ocasiones imposible) agregar puntos en posiciones arbitrarias
- Los usos dan más importancia al valor promedio que al dato individual

Éstas y otras circunstancias aplican al caso de datos meteorológicos. La red de estaciones de medición ha sido tradicionalmente fija, y por lo tanto se registran series temporales en puntos precisos. Una variable muy popular es la lluvia diaria; ella participa en cálculos hidrológicos, climáticos, agronómicos, etc., y es comunicada regularmente en anuarios estadísticos para caracterizar las condiciones de una zona. La motivación para este trabajo está asociada al cálculo de su valor esperado. Sin perjuicio de ello, hay aplicaciones indirectas. El estándar NSSDA de exactitud posicional (Federal Geographic Data Committee —FGDC, 1998) describe cómo calcular un número representativo del error posicional de una cartografía. Ese número resulta de la expresión:

$$Exactitud = 2.4477 * 0.5 * (REMC_x + REMC_y) \quad (1)$$

Cada uno de los dos sumandos del final responde a la fórmula genérica:

$$(REMC_x)^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - x_{exact,i})^2}{N} \quad (2)$$

lo cual a su vez es el promedio de la discrepancia al cuadrado entre la coordenada del punto de control y el valor declarado como exacto para ese punto. Las coordenadas del punto no participan en la expresión sino a través de la discrepancia. Esta expresión del promedio es exactamente la misma que se utilizaba en forma rutinaria antes del trabajo de Thiessen (1911) para variables meteorológicas como la lluvia diaria. ¿Puede hacerse algo mejor con el NSSDA? Como se verá más abajo, el método de Thiessen fue creado para dar mejores estimaciones de magnitudes asociadas con expresiones de este tipo.

Desde que existen redes de observación meteorológica se ha intentado caracterizar la variabilidad espacial de las mediciones. Las redes se diseñan teniendo en consideración esos aspectos (distancia mutua, valores estimados de la correlación espacial, etc.), así como restricciones prácticas (facilidad de acceso, disponibilidad de energía, etc.). A principios del siglo XX la capacidad de cálculo era limitada, y por lo tanto la estimación de la “lluvia representativa” se hacía con el promedio simple de los datos disponibles, independientemente de la posición y la distancia mutua. Ya en 1911 Thiessen (Thiessen, 1911) reconocía que ese procedimiento tendía a sesgar los resultados, especialmente cuando la densidad de las estaciones variaba mucho en el territorio. Si hay varias estaciones relativamente próximas entre sí, el valor recogido en ellas incide mucho en el promedio espacial cuando en realidad representan un fenómeno local. Por ello propuso el método hoy conocido como de los polígonos de Thiessen. El mismo se basa en calcular la media ponderada de los valores disponibles en las N estaciones. El factor de ponderación es proporcional al área de la región circundante que contiene puntos más próximos a esa estación que a cualquier otra. Geométricamente la misma se construye por segmentos de mediatrices mutuas entre las estaciones disponibles. La Figura 1 muestra las regiones en un caso sencillo.

El criterio de Thiessen se deriva en alguna medida de la primera Ley de Tobler (Tobler, 1970) que se expresa como: “todas las cosas están relacionadas entre sí, pero las cosas más próximas en el espacio tienen una relación mayor que las distantes”. Thiessen adopta como criterio de proximidad la distancia geométrica, en una aplicación literal de lo que explicitará Tobler sesenta años después.

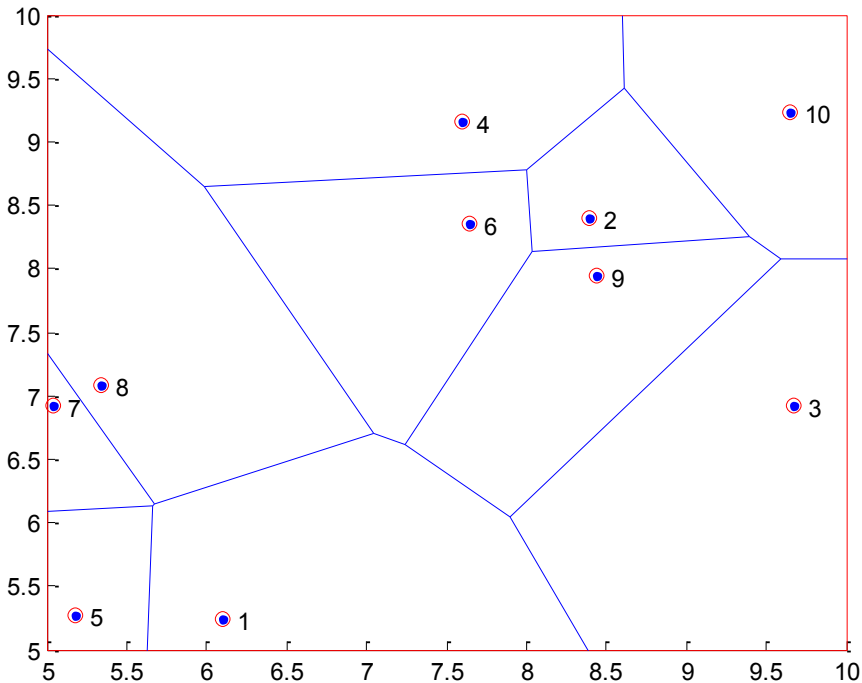


Figura 1. Ilustración de los polígonos de Thiessen para el caso N= 10.
Fuente: Elaboración propia.

A pesar de su formulación simple, el cálculo de los polígonos ha sido un tema de gran interés, tanto por parte de la comunidad de las geociencias como por matemáticos e informáticos. Fuera del área meteorológica el problema se conoce como Diagrama de Voronoi, y existe incluso una serie de congresos específicos dedicados al tema (<<http://bioinf.spbau.ru/isvd2013/home>>) que atiende problemas como nuevos métodos de cálculo, implementación en computadores paralelos, nuevas aplicaciones, etc.

La razón del persistente interés en el tema está asociada a que el cálculo no es trivial, y para muchas dimensiones o muchos puntos se requieren cuidados especiales. Teniendo esto en cuenta, cabe preguntarse si realmente el esfuerzo extra de cálculo se justifica atendiendo la calidad de la estimación resultante. Contra lo que podría suponerse, no se han encontrados trabajos básicos que comparen el desempeño de otras alternativas para la estimación de la misma magnitud. Es por ello que surge la idea de este trabajo, intentando confirmar (o desmentir) que el método de Thiessen es superior a otros, y que a pesar de su mayor complejidad está

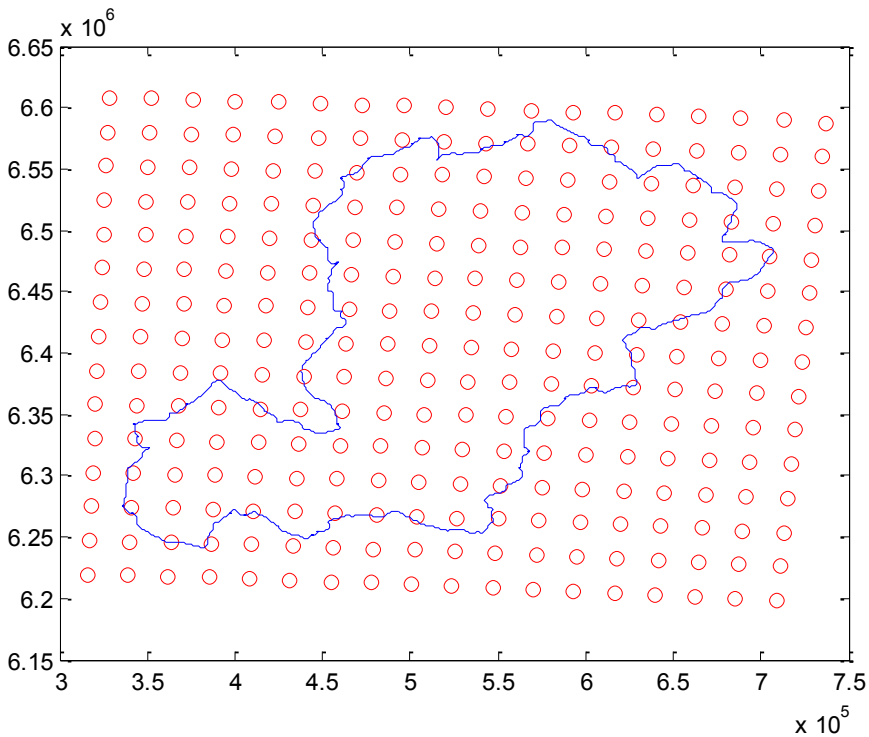


Figura 2. Cuenca de la represa del Rincón del Bonete y localización del centro de los píxeles.

Fuente: Elaboración propia.

justificado su uso por su mejor desempeño. Para realizar la comparación debe recurrirse a un experimento controlado (que se describirá más adelante) y a la aplicación de test estadísticos que den certeza matemática a las conclusiones. Para esto último se recurrirá al Test de Friedman (Friedman, 1937; 1939). El mismo permite caracterizar varios métodos que han sido ensayados en diferentes eventos y tras ello puede establecerse un orden relativo entre ellos. Tras especificar un nivel de confianza (usualmente 95%) el test permite concluir si uno de los métodos es sistemáticamente mejor que los demás. En la situación que se analizará, los métodos se ordenarán de acuerdo a la proximidad entre su estimación y el verdadero valor.

El Test de Friedman requiere un número mínimo de métodos y eventos. Para llegar a ese mínimo de métodos se han considerado las siguientes posibilidades: 1) media aritmética de los datos disponibles 2) media remuestreada (*bootstrapped*) 3) polígonos de Thiessen y 4) *jackknifed* Thiessen. El número de eventos se decide como parte de la simulación de Monte Carlo. Este artículo está organizado de la

siguiente forma: tras la introducción, se describirán los antecedentes y métodos utilizados para el análisis. Luego se mostrarán los datos obtenidos y finalmente se presentarán las conclusiones.

Antecedentes metodológicos

Método de Thiessen

En 1911 Alfred Thiessen propuso un método alternativo para el cálculo del promedio de lluvias en grandes superficies. Dada el área de estudio y la localización de las estaciones meteorológicas, tomó en cuenta el área de influencia de dichas estaciones y ponderó cada valor por dicha área. Este proceso dio origen a lo que se conoce como Teselación de Thiessen, o también Diagrama de Voronoi. Este método ha sido utilizado por más de cien años en problemas relativos a la lluvia, variables meteorológicas en general, y un sinnúmero de otras aplicaciones en áreas diversas.

Si bien Thiessen no manejó ese concepto, lo que se está intentando estimar está estrechamente ligado a la integral de la lluvia en el espacio. Para el cálculo numérico de integrales es habitual que se intente sustituir primero la función por un interpolante, y luego se calcula la integral de este último. El motivo es práctico: el interpolante suele ser más simple que la función original, y por lo tanto los cálculos demorarán menos. En el problema práctico bajo estudio la función no es conocida, por lo que sólo está disponible el interpolante (que no es único). El estimador de Thiessen es la integral exacta de uno particular de ellos, denominado Vecino más próximo. Este interpolante es discontinuo en los bordes, y constante dentro de cada una de las regiones, adoptando el valor del punto dato en ellas. Por resultar de la intersección de semiplanos, puede demostrarse que las regiones son convexas.

Método de jackknifed Thiessen

El método de *jackknife* fue propuesto originalmente por Quenouille (1949) para el tratamiento de series temporales y se popularizó rápidamente. García-Guzmán y Calatrava-Requena (1978) presentan un resumen general del método y analizan sus ventajas y desventajas. El método consiste en un remuestreo *sin reemplazo* de la población disponible, en el cual se obtienen N valores del estimador deseado tras aplicarlo a N conjuntos de N-1 elementos en que falta el i-ésimo dato. Tras ello (y en este trabajo) se calcula la mediana de esos estimadores, que pasará a ser lo que aquí se denominará *jackknifed* Thiessen, y sus valores máximos y mínimos, los que serán adoptados como estimadores de los extremos del intervalo de confianza (IC) de la forma $(\min + \max) / 2 + 2 * (\max - \min) * [-1, 1]$. Los números “max” y “min” se corresponden al valor máximo y mínimo del estimador de Thiessen calculado con

cada conjunto de N remuestreos del evento. En muchas aplicaciones el número N es bajo (pocas decenas) o medio (hasta el centenar), por lo que el tiempo de cálculo requerido para el *jackknifed* Thiessen puede no ser significativo. Esta técnica puede aplicarse fácilmente si ya está implementado el método de Thiessen, no requiriendo desarrollar mucho código adicional.

Método de Bootstrap

Efron (1979) presenta este método como una alternativa al *jackknife* tradicional. A diferencia del método anterior, propone hacer un remuestreo *con reemplazo*, y luego construir el estimador como promedio de los obtenidos en cada remuestreo. También del experimento pueden derivarse intervalos de confianza para ese valor. El remuestreo con reemplazo significa que un dato puede estar repetido (incluso más de una vez) en la muestra a la que luego se le calculará el promedio. Desde el punto de vista computacional, es más intensivo que el mero promedio pero sustancialmente menos demandante que el de Thiessen y *jackknifed* Thiessen. El código es relativamente sencillo, y sólo requiere la existencia de una biblioteca para generar números pseudoaleatorios.

Datos y métodos

Descripción del problema para el caso analítico

En el caso analítico se parte de una función conocida de la que es posible saber con exactitud el valor de la integral a estimar. Mediante una simulación de Monte Carlo se hacen M cálculos en los que se eligen cada vez N puntos al azar dentro del dominio. En esas localizaciones se evalúa el valor de la función y finalmente se calcula la media aritmética, el *bootstrap*, Thiessen y finalmente el *jackknifed* Thiessen. El resultado se presenta como una tabla de M filas y 4 columnas que permite comparar qué tan buenas son las aproximaciones por cada método en relación al valor exacto, creando un ranking entre ellos.

Para el caso analítico se utilizaron las siguientes tres funciones:

$$f(x, y) = x^2 \cdot y$$

$$f(x, y) = \sin(x) \cdot \sin(3y)$$

$$f(x, y) = \text{morrisonIII}(1000x, 1000y)$$

Las primeras dos son arbitrarias. La tercera es debida a Morrison (1971) y consiste en una serie trigonométrica de 48 términos truncada hasta el tercer armónico. La misma fue obtenida como el ajuste a datos experimentales de una localización real, por lo que se estima representativa de una topografía. En los tres casos el dominio de integración es el cuadrado $[0, 1] \times [0, 1]$. Si bien es accesible el

valor analítico, para cada función se calculó numéricamente la integral en el dominio con un error relativo de 10^{-6} .

Descripción del problema para el caso experimental

En el segundo estudio se parte de una imagen de satélite con valores de lluvia diaria, obtenida de <<http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/precipitation/tovas>>. A los efectos del problema bajo estudio puede considerarse a la imagen como una tabla que posee $P \gg N$ puntos (píxeles) observados en campo. Igual que antes, para hacer la comparación se simula M veces la elección de N de esos puntos y se repiten los cálculos. A diferencia del caso previo ahora no hay valor “exacto” analítico disponible. Se adopta como valor exacto al resultante del cálculo con Thiessen utilizando todos los píxeles disponibles.

Se usó la imagen correspondiente a la ventana $[-34.3 -30.5]$ de latitud y $[-52.5 -48]$ longitud del día 20 de junio de 2014 que incluye íntegramente a la cuenca de la represa de Rincón del Bonete (Uruguay). El contorno de la cuenca y la localización del centro de los 270 píxeles se muestran en la Figura 2. Tras aplicar Thiessen con los 270 valores registrados, el valor promedio en la cuenca para ese día resultó ser igual a 10.8 mm/día, el cual se adoptó como valor exacto. Para la simulación se utilizaron únicamente los 97 puntos interiores al borde de la cuenca (polígono en azul) de Figura 2, los cuales no son una muestra sino que constituyen el universo del experimento.

Organización de los cálculos

Sea N el número de puntos con datos conocidos. Se utilizaron distintos valores de N para determinar cuánto mejora la estimación del verdadero valor a medida que N aumenta. Se analizaron para N los valores 5, 10, 20, 40 y 50. Para cada función y N , se realizó una simulación de Monte Carlo. En cada uno de ellos y para el caso analítico, las coordenadas de los N puntos fueron generadas en forma pseudoaleatoria, especificando la semilla de forma hacer repetible la secuencia con las mismas condiciones. Con esas coordenadas se evaluó la función analítica, obteniéndose los N valores funcionales. Con ellos, y para cada evento, se obtiene una estimación del valor esperado mediante la aplicación de los cuatro métodos mencionados. Para el caso experimental se seleccionaron al azar los N puntos de entre los disponibles, reteniendo su valor y sus coordenadas.

La comparación entre métodos se realizó siguiendo el Test de Friedman (Friedman, 1937; 1939) el cual consiste en analizar la hipótesis de que los métodos no se diferencian entre sí. El dato de entrada es una tabla del ranking entre métodos, con tantas columnas como métodos y tantas filas como eventos. Cada elemento es un número ordinal (1, 2, 3, etc.) que indica el desempeño relativo de cada método.

El test admite la posibilidad de empates, tanto en los datos de entrada como en los resultados. En el caso bajo análisis el desempeño fue calculado tras comparar la diferencia en valor absoluto entre el resultado numérico y el verdadero valor. El método calificado como 1 sería aquel que para ese evento discrepa menos (en valor absoluto) y el calificado como 4 el que discrepa más. Para la aplicación del test se especificó un nivel de confianza de 95%.

La simulación de Monte Carlos inició con $M=2000$. Se generaron 2 grupos disjuntos y se comparó el resultado del Test de Friedman que dio distinto para cada grupo. Se procedió a ir incrementando cada grupo con 2,000 eventos y compararlos en nuevamente. Al llegar a 10,000 eventos, el resultado del Test fue igual para cada grupo, evitando las posibles implicancias de los números pseudoaleatorios generados. Para graficar los resultados se usó el total de 20,000 eventos. La máquina utilizada para los cálculos fue del tipo Intel, con procesador i7 4770K (4 cores 3.5GHz) y la simulación del total de casos requirió 96 horas.

Resultados obtenidos

A continuación se muestran los datos obtenidos de las simulaciones de cada función. Las filas (de arriba hacia abajo) representan los N puntos obtenidos al azar, en el orden 5, 10, 20, 40, y 50. Las columnas (de izquierda a derecha) muestran los resultados para cada método analizado: media aritmética, *bootstrap*, Thiessen y *jackknifed* Thiessen.

Nótese en la Figura 3 la fuerte dispersión que muestra la media aritmética independientemente de N , y la rápida concentración que se logra con *jackknifed* Thiessen. Nótese también que los estimadores tienden a ser sesgados cuando N crece. Se observa que el IC es progresivamente más estrecho, y que las distribuciones experimentales no lucen en general como de Gauss. En la Figura 4 se repite el patrón de concentración alrededor del verdadero valor del *jackknifed* Thiessen en comparación con los otros, pero ahora no es tan notorio el sesgo. En este ejemplo (tal vez más realista que el previo) las distribuciones tienden a ser simétricas. En el caso de la función de Morrison III (Morrison, 1971) ilustrado en la Figura 5 se muestra que los métodos derivados de Thiessen son relativamente insesgados, y que el *jackknifed* Thiessen confirma su tendencia de tener los intervalos de confianza más ajustados. El verdadero valor en ningún caso (ningún método y ningún N) estuvo fuera del IC al 90%, aunque para IC estrechos estuvo próximo al techo. Para el caso experimental, en la Figura 6 se nota que el comportamiento de los métodos es similar al de las funciones analíticas, dando una mejor estimación de *jackknifed* Thiessen y un sesgo decreciente cuando N aumenta. La dispersión muestra una distribución bastante simétrica, asimilable a una de Gauss.

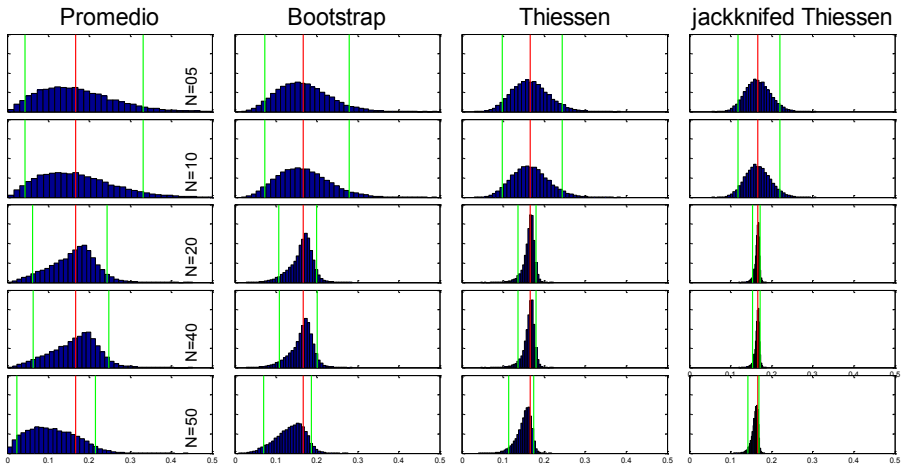


Figura 3. Resultados de simulación para la función x^2*y . En rojo se indica el verdadero valor (idéntico en todas las gráficas), y en verde los percentiles experimentales al 5 y 95%. El rango de abscisas es idéntico en todos los gráficos.
Fuente: Elaboración propia.

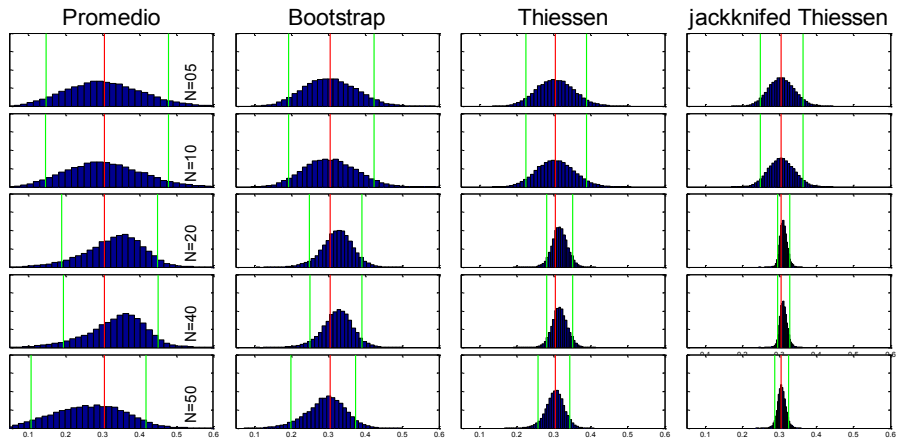


Figura 4. Resultados de simulación para la función de $\sin(x)*\cos(3y)$. En rojo se indica el verdadero valor (idéntico en todas las gráficas), y en verde los percentiles experimentales al 5 y 95%. El rango de abscisas es idéntico en todos los gráficos.
Fuente: Elaboración propia.

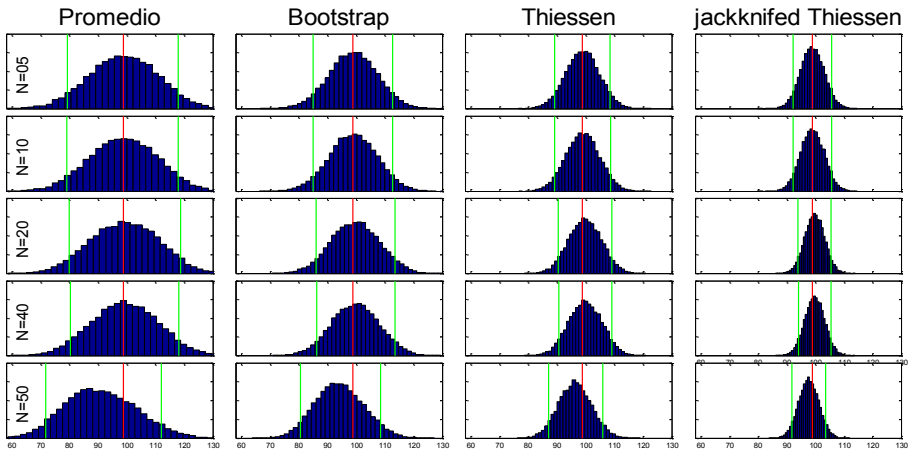


Figura 5. Resultados de simulación para la función de Morrison III. En rojo se indica el verdadero valor (idéntico en todas las gráficas), y en verde los percentiles experimentales al 5 y 95%. El rango de abscisas es idéntico en todos los gráficos.
Fuente: Elaboración propia.

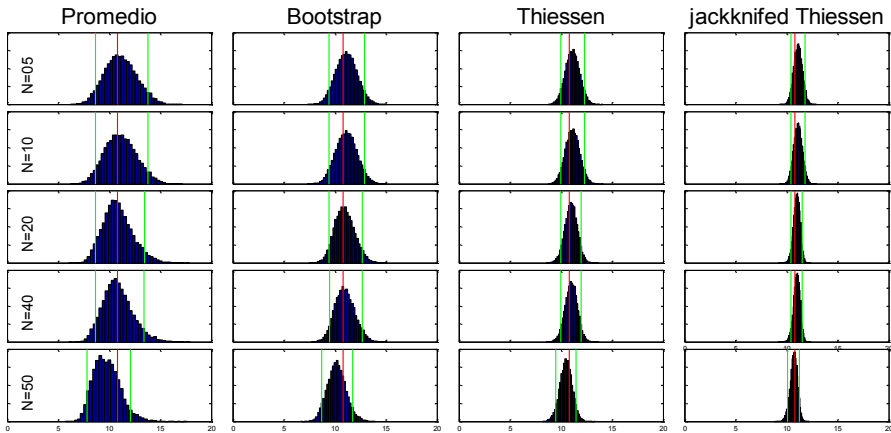


Figura 6. Resultados de simulación para estimar la lluvia en la región de la Figura 2. En rojo se indica el verdadero valor (idéntico en todas las gráficas), y en verde los percentiles experimentales al 5 y 95%. El rango de abscisas es idéntico en todos los gráficos.
Fuente: Elaboración propia.

Puede observarse que los métodos han quedado ordenados, de izquierda a derecha, por la longitud decreciente del IC, lo que muestra un favoritismo por los dos últimos. Sin embargo, debe señalarse que ese resultado no sería decisivo, ya que lo representado es consecuencia de una simulación. En un caso práctico (un único evento) debería valorarse positivamente que el *bootstrap* y el *jackknifed* Thiessen generan ellos mismos un IC para ese evento. En los cálculos realizados (no mostrados aquí) se pudo ver que en más del 90% de los casos el IC definido como [media-2*desviación, media+2*desviación] para el *bootstrap* efectivamente contenía el valor exacto cuando N= 10, 20, 40 o 50, mientras que para el caso de N= 5 el mismo intervalo lo incluía en más del 84% de los casos. Por su parte en el IC de *jackknifed* Thiessen incluía al valor exacto en más de un 92% de los casos.

De todas formas, los gráficos previos aún no son decisivos para responder a la pregunta de “¿vale la pena el esfuerzo de programar Thiessen y sus variantes, frente a alternativas más simples?” porque se han utilizado histogramas y se pierde la información dentro de cada evento. Para ello puede utilizarse el test de Friedman. En la Tabla 1 puede observarse el *ranking* entre los cuatro métodos considerados, para las tres funciones y en función del valor de N. El valor de “1” indica que fue el mejor, y el valor de “4” el peor. Si estadísticamente no puede discernirse que un método es mejor que otro ello se indica como un empate: ver por ejemplo el caso de la función Morrison III para N=40, que arroja un empate entre el tercer y cuarto método. Si, como era el objetivo de este trabajo, la pregunta era relativa a la comparación entre el mero promedio y el método de Thiessen, la conclusión para todas las funciones, excepto Morrison III, es que sistemáticamente Thiessen es más adecuado. Para la función de Morrison III esa precedencia falla cuando N= 5, 10 o 20, mientras que para N mayores el método de Thiessen supera al mero promedio.

Tabla 1
Resultados del Test de Friedman para las tres funciones analíticas consideradas

N	x^2y				$sen(x)*sen(3y)$				Morrison III				Lluvia			
5	3	4	1	2	3	4	1	2	2	3	4	1	3	4	2	1
10	3	4	1	2	3	4	2	1	2	3	4	1	3	4	1	2
20	3	4	2	1	3	4	2	1	2	2	4	1	3	3	1	2
40	3	4	2	1	3	4	2	1	3	3	2	1	3	4	1	2
50	3	4	2	1	3	4	2	1	3	4	2	1	3	4	1	2

Fuente: Elaboración propia.

Lo inesperado de este experimento viene por el desempeño del *jackknifed* Thiessen: es prácticamente en todos los casos la mejor opción, excepto cuando el número de puntos es muy pequeño, o como en el caso de la lluvia que únicamente queda en segundo lugar cuando $N=10$. Posiblemente ese resultado sea estadísticamente cuestionable dado el pequeño tamaño de la muestra. El método de *bootstrap* aplicado para el cálculo de la media dio resultados comparables con el promedio, aunque típicamente lo supera. La ventaja esencial respecto al mero promedio es la posibilidad de suministrar un IC, calculable incluso en situaciones prácticas, por lo que sería recomendable considerar su uso. Comparte esa ventaja con el *jackknifed* Thiessen.

El ranking fue construido tras considerar 20,000 eventos con un nivel de confianza de 95% .

Conclusiones

A partir del análisis de los histogramas y de los resultados del Test de Friedman obtenidos de las simulaciones, puede concluirse que en todas las funciones estudiadas, salvo en la superficie de Morrison III y para N pequeños, el método de Thiessen ofrece sistemáticamente una mejor estimación que la media aritmética y su variante el *bootstrap*. Tras la simulación realizada, ese resultado puede ahora apoyarse en un nivel de confianza del 95%, y de acuerdo con la literatura consultada se entiende que éste es un resultado original. Para la función Morrison III en particular, se precisa un N igual o superior a 40. Una explicación de este comportamiento es la gran variación que tiene la superficie en (x, y) . Con un valor pequeño de N el método de Thiessen no logra capturar esas variaciones.

Por su parte, *jackknifed* Thiessen resulta ser un mejor estimador que el propio Thiessen en las funciones analíticas. Esta mejora es a base de tiempo extra de cálculo, que se hace significativo cuando N aumenta. Para las funciones analíticas el tiempo fue 1.3x con $N=5$, 2.8x con $N=10$ y 4x con $N=20$. Dada la diferencia significativa de tiempos, podría pensarse si vale la pena el cálculo. No obstante, una ventaja que ofrece frente a Thiessen es que además del valor produce un IC. Si el problema lo justifica, una alternativa a explorar es la de realizar este cálculo mediante el uso de cores de tarjetas gráficas.

Para las funciones analizadas *bootstrap* resulta en casi todos los casos peor que la media, salvo algún caso particular donde empatan. Pero al igual que *jackknifed* Thiessen, este método brinda un IC. Más allá de estos casos particulares, *bootstrap* es un método conocido y comprobado en su efectividad, económico y sencillo y por lo tanto de uso práctico si se requiere un IC.

Bibliografía

- Efron, B. (1979). "Bootstrap Methods: Another Look at the Jackknife", *The Annals of Statistics*, 7(1), 1-26.
- FGDC, 1998. "Geospatial Positioning Accuracy Standards Part 3: National Standard for Spatial Data Accuracy", Federal Geographic Data Committee, FGDC-STD-007.3-1998, 28 pp.
- Friedman, M. (1937). "The use of ranks to avoid the assumption of normality implicit in the analysis of variance", *Journal of the American Statistical Association* (American Statistical Association), 32(200), 675-701.
- Friedman, M. (1939). "A correction: The use of ranks to avoid the assumption of normality implicit in the analysis of variance", *Journal of the American Statistical Association* (American Statistical Association), 34(205), 109.
- García-Guzmán, A. y Calatrava-Requena, J. (1978). "Algunas consideraciones sobre la naturaleza de la técnica Jackknife de estimación y las ventajas e inconvenientes de su uso en diversos problemas de inferencia estadística", *Estadística Española*, 78-79, 57-73.
- Morrison, J.L., (1971). "Method-Produced Error in Isarithmic Mapping", American Congress on Surveying and Mapping. Technical Monograph No. CA-5, 75 pp.
- Quenouille, M.H. (1949). "Approximate tests of correlation in time series", *Journal of the Royal Statistical Society*, Series B, 11, 18-44.
- Thiessen, A. (1911). "Precipitation averages for large areas", *Monthly Weather Review*, 39(7), 1082-1084
- Tobler, W.R. (1970). "A computer movie simulating urban growth in the Detroit region", *Economic Geography*, 46, 234-40.

La calidad como aptitud para el uso: evaluación de la exactitud posicional de los productos topográficos digitales escala 1:50,000 del INEGI

Héctor Mario Gómora Morales*

Recibido el 24 de abril de 2015; aceptado el 16 de agosto de 2015

Abstract

Throughout this article, it is intended to share a particular experience of positional accuracy evaluation, explaining its bases, design, performance and result's processing, with the aim to contribute ideas to the important and complex issue related with quality assurance of the geographic products. It is explained, too, that quality evaluation contributes to put into practice the fitness for use quality notion, which is, nowadays, relevant in the international scene.

Key words: quality, requirements, accuracy, evaluation, metadata.

Resumo

Compartilhamos ao longo deste artigo a experiência de um prova de avaliação de exatidão posicional, seu planejamento, desenho, aplicação e integração de resultados, com a finalidade de somar idéias no importante e complexo campo da qualidade em produtos geográficos. Desta forma, se explica como a avaliação da qualidade contribui para levar à prática a noção de qualidade adaptada ao uso, de grande relevância no âmbito internacional atual.

Palavras chave: qualidade, necessidades, exatidão, avaliação, metadados.

Resumen

A lo largo de este artículo se comparte la experiencia de una prueba de evaluación de exactitud posicional, sus planteamientos, diseño, aplicación e integración de resultados, con el fin de aportar ideas en el importante y complejo campo de la

* Dirección General de Geografía y Medio Ambiente, Instituto Nacional de Estadística y Geografía, Avenida Héroe de Nacozari Sur núm. 2301, Fraccionamiento Jardines del Parque, C.P. 20276, Aguascalientes, Ags., México, correo electrónico: hector.gomora@inegi.org.mx

calidad en los productos geográficos. Asimismo se explica cómo la evaluación de la calidad contribuye a llevar a la práctica la noción de calidad de aptitud para el uso, de gran relevancia en el ámbito internacional actual.

Palabras clave: *calidad, necesidades, exactitud, evaluación, metadatos.*

Generalidades

El Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) tiene entre sus objetivos suministrar a la sociedad y al Estado información de calidad, pertinente, veraz y oportuna, así como normar la generación de información estadística y geográfica en el marco del Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica (SNIEG). Esto último favorece un mayor intercambio de datos espaciales entre unidades productoras y usuarios, pero para que sea beneficioso se requiere que los productos geográficos incluyan información que permita usarlos con las perspectivas correctas. Proporcionar dicha información es una responsabilidad de cada Unidad del Estado que elabora productos geográficos.

En cumplimiento de su papel como productor y en apego a las buenas prácticas internacionales, el INEGI adopta la noción de calidad denominada internacionalmente *fitnessfor use* (aptitud para el uso), que significa determinar los niveles de confiabilidad técnica de los productos geográficos e informarlos al usuario, para que éste determine en qué medida puede usarlos para satisfacer sus requerimientos.

La Dirección General de Geografía y Medio Ambiente del INEGI ha venido realizando diferentes pruebas de evaluación de calidad, cuyos resultados se incluirán en los metadatos. Una de estas pruebas se aplicó a la información topográfica digital escala 1:50,000, que es de las más empleadas por la sociedad desde hace muchos años. A nivel mundial se reconoce que la ubicación espacial de los elementos geográficos es uno de los aspectos sobre los cuales más interesa conocer la calidad. Por ello es de los más estudiados, y se hace mediante el concepto de *exactitud*.

La exactitud es el grado de cercanía de un valor o conjunto de valores respecto a los valores verdaderos (o aquellos suficientemente confiables para ser aceptados como verdaderos). Llevando esta noción al ámbito de los datos espaciales, podemos hablar por ejemplo de la exactitud de los valores que definen su ubicación. A esto se le denomina generalmente *exactitud posicional* o *exactitud de posición*. En todo producto geográfico existe siempre un cierto grado de incertidumbre en la ubicación de los elementos. La evaluación y declaración de dicha incertidumbre ayuda a los usuarios a tomar conciencia de ello y superar la creencia de que exactitud significa valores perfectos, sin error alguno.

Una de las pruebas de evaluación de calidad que ha aplicado el INEGI a sus productos geográficos corresponde al tema de la exactitud posicional y se aplicó a los productos topográficos digitales escala 1:50,000. En los apartados siguientes se explican sus aspectos relevantes y resultados.

Ámbito de la evaluación

Una evaluación de calidad debe ser delimitada con claridad en todos sus aspectos. De esta manera se sabe claramente a qué partes del producto geográfico se aplican los resultados. Empezaremos entonces por especificar el ámbito de la prueba; es decir, *qué se evaluó, y a qué partes del producto*.

Se evaluó la exactitud de las coordenadas planimétricas (X, Y) que definen la posición de los objetos espaciales. Esto es referido a nivel internacional como *exactitud posicional horizontal*. Por ello, los resultados sólo son aplicables a la planimetría, y no a la posición vertical.

Para determinar el ámbito se aplicó un principio de evaluación de la calidad que forma parte de las buenas prácticas en la materia, y al cual podemos llamar *Principio de homogeneidad*: evaluar y reportar por separado áreas de las cuales se asume razonablemente que tienen diferente calidad en el aspecto que se evalúa. Se tomó en cuenta que en la ubicación de los datos espaciales intervienen factores como los siguientes:

- La topografía, que según Conalton y Green (2009), tiene el mayor impacto en la exactitud posicional, por lo que una prueba de esta clase debe representar la variedad de la topografía¹
- La tecnología empleada
- La exactitud de las imágenes usadas como fuente y la calidad y criterios de la extracción digital de los rasgos (en el caso de cartografía de base fotogramétrica)
- La intervención humana en distintas etapas del proceso
- El proceso de rasterización (cuando se trata de productos en formato ráster)

Teniendo presentes estos factores y el *Principio de homogeneidad*, el ámbito de evaluación se definió y organizó como se explica en los párrafos siguientes.

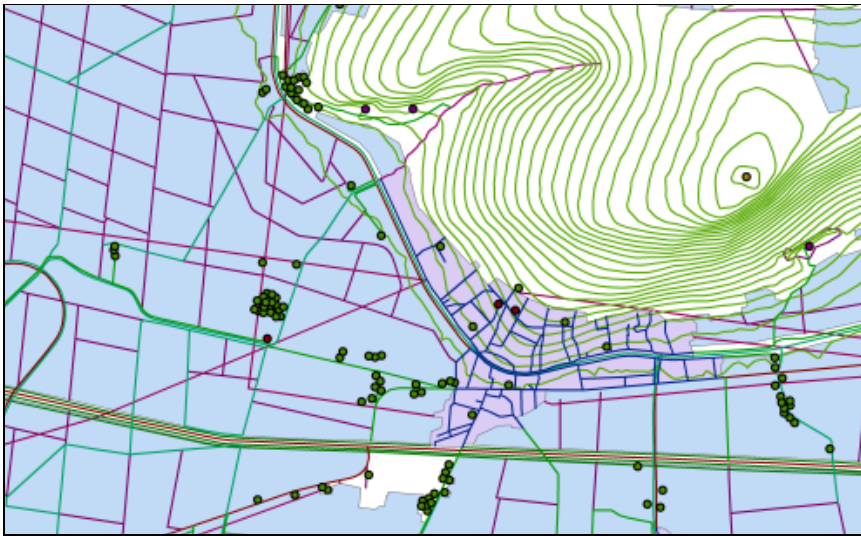
El universo lo formaron las 254 claves² cuya edición cartográfica se realizó en el periodo 2007-2011, del total de 2,357 que cubren el territorio nacional en escala 1:50,000. Esas 254 claves tienen en común el cambio de plataforma tecnológica empleada para la producción.

Las claves de este universo se clasificaron en tres *estratos* de relieve:

- Plano: predominan las planicies
- Intermedio: las planicies y las zonas accidentadas tienen extensiones más o menos similares
- Abrupto: predominan las zonas accidentadas

¹ Congalton y Green, *Assessing the accuracy of remotely sensed data*, CRC Press, 2009, p. 27.

² Se emplea aquí la palabra “clave” para hacer referencia a cada uno de los rectángulos de 10’ x 15’ en los que se divide al país para la cobertura topográfica en escala 1:50,000.



Conjunto de datos vectoriales

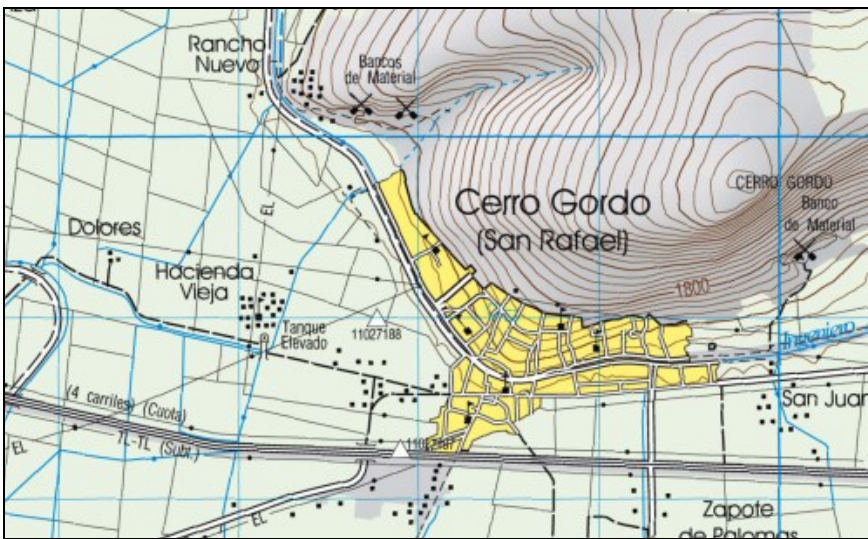


Imagen cartográfica digital

Figura 1. Productos topográficos digitales escala 1:50,000 evaluados.

Como se mencionó antes, la prueba se concibió para los productos topográficos digitales escala 1:50,000, por lo que involucró a los conjuntos de datos vectoriales (CDV) y a la imagen cartográfica digital (ICD).

Se asumió que estos dos productos tienen diferente exactitud por las particularidades de la elaboración: para obtener la ICD se parte del CDV, realizando la edición de los objetos espaciales, y el resultado es sometido a un proceso de rasterización que introduce una nueva incertidumbre en las posiciones. Por ello estos productos se evaluaron por separado.

En suma, el ámbito de la prueba se definió así: la exactitud posicional horizontal de los relieves plano, intermedio y abrupto de los CDV y las ICD correspondientes a las claves editadas de 2007 a 2011. Este ámbito consta de seis resultados, uno por cada tipo de relieve en cada producto.

Tabla 1
Ámbito de evaluación de la prueba de exactitud posicional (EP)

Edición 2007-2011	CDV	Relieve plano	Rasgos geográficos	Resultado EP
		Relieve intermedio	Rasgos geográficos	Resultado EP
		Relieve abrupto	Rasgos geográficos	Resultado EP
	ICD	Relieve plano	Rasgos geográficos	Resultado EP
		Relieve intermedio	Rasgos geográficos	Resultado EP
		Relieve abrupto	Rasgos geográficos	Resultado EP

Fuente: Elaboración propia.

Cada uno de estos resultados será aplicable únicamente a la parte del ámbito que le corresponde.

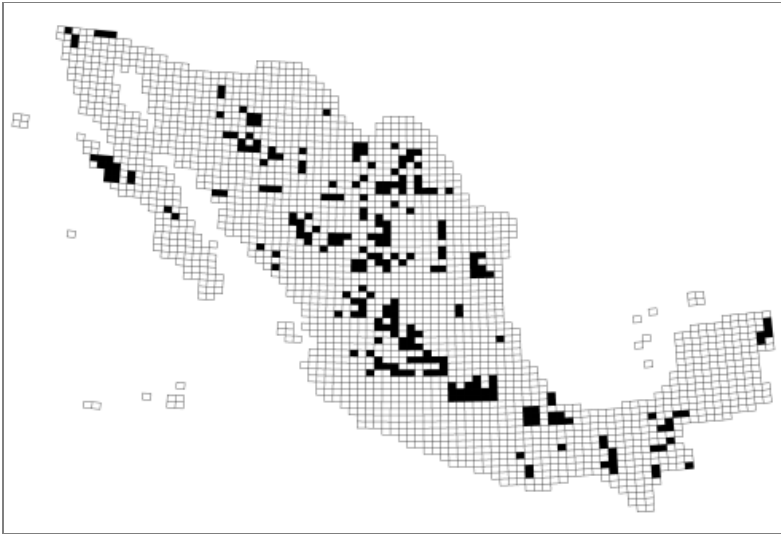
Respecto a cómo evaluar este ámbito, se optó por el método de evaluación clasificado por la ISO como directo-externo,³ el cual implica realizar una inspección directa de los elementos del producto y emplear como referencia datos externos (independientes) de éste.

En el caso de una prueba posicional con este método, los datos de referencia deben ser más exactos que el producto que se evalúa... los mejores disponibles. Para esta prueba se emplearon ortofotos digitales escala 1:10,000 elaboradas por el INEGI.

Determinación de la muestra

Como suele hacerse en una prueba posicional, la inspección fue de tipo muestral. La muestra se determinó por etapas. Primero se calculó la cantidad de claves 50 mil

³ International Organization for Standardization, norma técnica *International Standard 19157, Geographic Information-Data Quality*, ISO, 2013, p. 22.



Ámbito de evaluación: 254 claves



Muestra: 55 claves

Figura 2. Distribución espacial de la muestra.

que se revisarían de cada estrato de relieve. El área de Marcos y Muestreo de la Dirección General de Estadísticas Económicas del INEGI determinó los tamaños muestrales, empleando resultados de pruebas piloto realizadas expresamente en cada uno de los tipos de relieve. El tamaño total de la muestra, incluyendo los tres estratos de relieve, fue de 55 claves (véase Tabla 2).

Habiéndose determinado *cuántas* claves 50 mil revisar, se procedió a decidir *cuáles*. Esto se hizo en cada tipo de relieve procurando la mejor distribución espacial posible, lo cual es recomendado por estándares internacionales como NSSDA.⁴ Es muy importante aclarar que la mejor distribución espacial en este nivel (claves 50 mil) estuvo condicionada por la cobertura de ortofotos digitales escala 1:10,000, que como ya se dijo, fueron designadas como datos de referencia. La distribución se muestra en la Figura 2.

El tercer aspecto en la definición de la muestra consistió en determinar la cantidad de los puntos de revisión, que los expertos consideran fundamental para lograr estimaciones estadísticas confiables. Estándares como NSSDA señalan un mínimo de 20 puntos, pero no aclaran si son para todo el producto o para cada conjunto o división del mismo. La norma STANAG,⁵ por su parte, recomienda un mínimo de 167 puntos. Dado que la exactitud se calcularía por separado para cada tipo de relieve, se decidió colocar 20 puntos *por cada clave 50 mil*, con excepción de dos claves de tipo abrupto donde se colocaron 25 (la razón se explicará más adelante). De esta manera se obtuvieron totales de puntos por tipo de relieve que cumplen holgadamente con la recomendación de STANAG (véase Tabla 2).

Tabla 2
Totales y muestras por estrato de relieve

<i>Estrato de relieve</i>	<i>Total de claves</i>	<i>Claves de la muestra</i>	<i>Total de puntos</i>
Plano	91	23	480
Intermedio	99	13	240
Abrupto	64	19	390
Totales	254	55	1,110

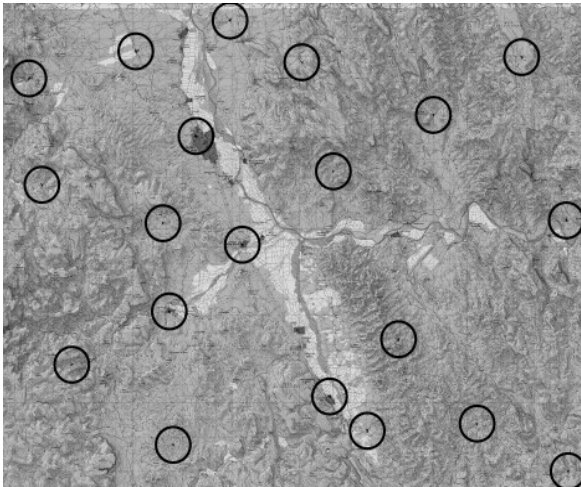
Fuente: Elaboración propia.

Principales criterios de la prueba y su realización

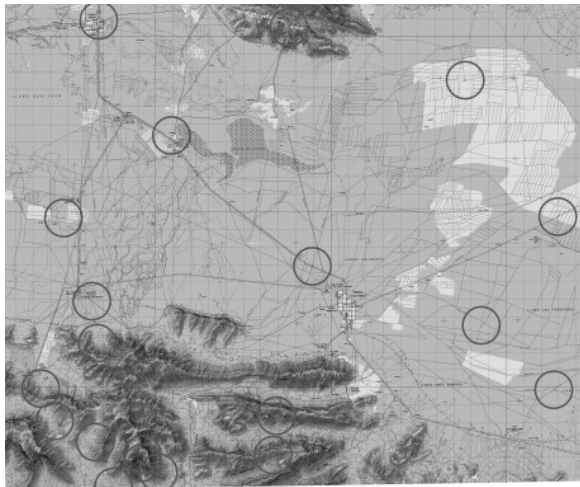
Ya determinada la cantidad de puntos por cada clave 50 mil, se decidió su ubicación procurando nuevamente una homogénea distribución espacial, pero cuidando

⁴ Federal Geographic Data Committee, *National Standard for Spatial Data Accuracy*, 1998, pp. 3-4.

⁵ NATO Standarization Agency, *Standarization Agreement (STANAG)*, 2002, p. A-2-1.



a) Abrupto



b) Intermedio

Figura 3. Disitrubción de puntos: a) estrato abrupto, con la mayoría o todos los puntos en la zona accidentada; en este caso, por la uniformidad del relieve la distribución pudo ser geoméricamente regular; b) estrato intermedio, con una cantidad de puntos aproximadamente igual en zonas plana y accidentada; es una distribución espacial adecuada, aunque geoméricamente pareciera no serlo.



c)

b)

a)

Figura 4. Regla prioritaria: seleccionar puntos claramente identificables en los productos y en la referencia: a) conjunto de datos vectoriales; b) imagen cartográfica digital; c) ortofoto digital.

además que fuera congruente con el tipo de relieve en el cual se le clasificó. Por ejemplo, en una clave cuyo relieve fue clasificado como tipo abrupto se debía colocar la mayor cantidad de puntos en la zona accidentada y menos en la zona más plana; en los casos de relieve tipo intermedio, la cantidad de puntos en zona accidentada y plana debía ser similar (véase Figura 3).

Ahora bien, la distribución de los puntos quedó siempre condicionada por la premisa más importante en una prueba posicional: ubicar los puntos en sitios claramente identificables tanto en los productos evaluados como en la referencia; rasgos con suficiente claridad y donde no hubiera duda de que el sitio marcado era el mismo en los tres productos (Figura 4). Generalmente se trató de intersecciones o esquinas bien definidas de rasgos lineales (caminos, calles, linderos, rasgos hidrográficos, etc.) y eventualmente de elementos puntuales como construcciones claramente identificadas.

Cuando la falta de rasgos bien definidos impidió una distribución espacial adecuada de los 20 puntos, a manera de compensación se incrementó su cantidad. Esto sucedió en dos claves 50 mil del tipo abrupto. Son los casos con 25 puntos de los que se habló anteriormente. En cada una de las otras 53 claves de la muestra se colocaron 20 puntos.

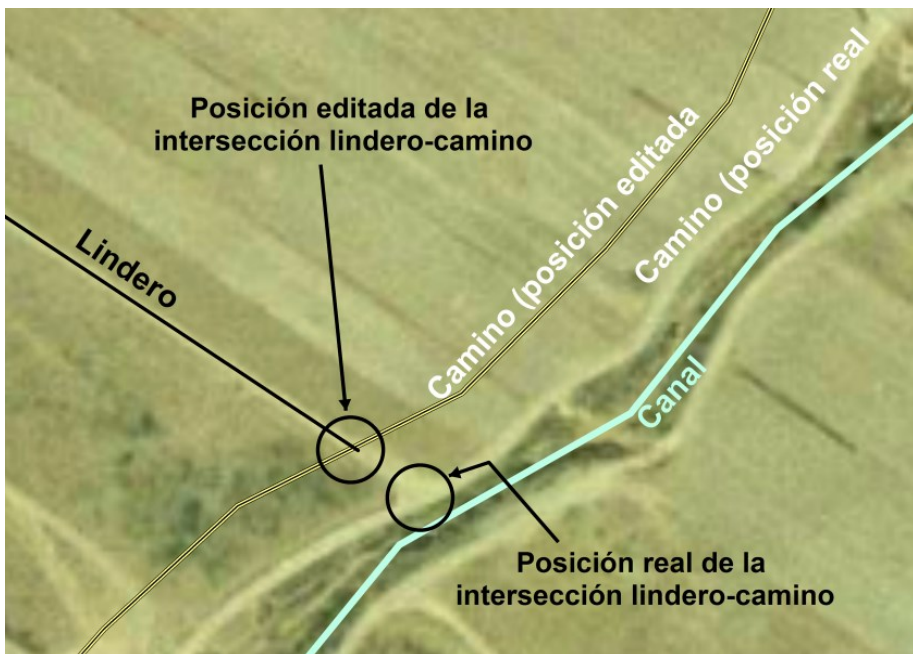


Figura 5. Los elementos desplazados por edición cartográfica no se consideraron para ubicar puntos de revisión.

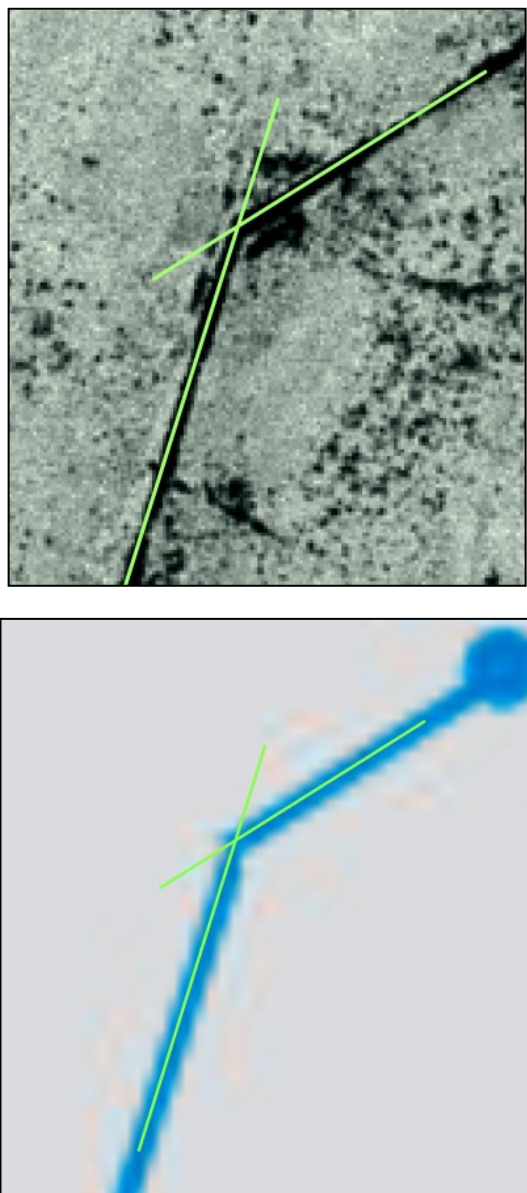


Figura 4. Líneas centrales auxiliares para colocar los puntos de revisión en el sitio correcto. Arriba: ortofoto, abajo: imagen cartográfica digital.

Otro criterio adoptado fue no emplear rasgos desplazados por edición (Figura 5). El procedimiento de extracción vectorial, con el cual se obtienen los CDV, ubica los rasgos en su ubicación real; sin embargo, para obtener la ICD se realiza un proceso de edición, que entre otras cosas, desplaza, por razones de claridad, elementos que resultarían sobrepuestos al asignarles su simbología (como los casos de proximidad de caminos, canales, vías férreas, líneas telefónicas, etc.). Como tales casos son inherentes a cualquier producto cartográfico, no hablan realmente de su exactitud y arrojan errores atípicos (*outliers*) que contaminan los resultados. Lo adecuado es incluir en la información de calidad del producto las advertencias necesarias respecto al desplazamiento de objetos por razones de edición.

Por otro lado, se tomó en cuenta que en la digitalización para obtener los CDV los rasgos lineales son extraídos trazando una línea por el centro, y tales líneas son luego la base para la edición cartográfica de la cual se obtiene la ICD. Así, en la prueba, tanto en la ortofoto como en la ICD se trazaron líneas centrales auxiliares en los rasgos lineales elegidos (Figura 6) y el punto se colocó en su intersección. Con esto se logró la certeza de identificar el mismo sitio tanto en los productos como en la referencia.

Para minimizar el error humano se trabajó en un programa de SIG, en el cual los puntos fueron colocados automáticamente en las intersecciones de las líneas centrales.

Se creó un proyecto en SIG para cada una de las 55 claves 50 mil que integraron la muestra. Concluido el trabajo con cada uno, fue sometido a un control de calidad para verificar el cumplimiento de los criterios establecidos para la prueba, como los anteriormente explicados.

Como resultado, de cada uno de los 1,110 puntos se obtuvieron:

- Coordenadas X y Y en el CDV
- Coordenadas X y Y en la ICD
- Coordenadas X y Y en la referencia (ortofotos)

Disponiendo de estos valores se pudo realizar un tratamiento estadístico para calcular la exactitud.

Procesamiento de resultados

Por medios automatizados se calculó, para cada punto de revisión (tanto en la ICD como en el CDV), la diferencia entre las coordenadas en el producto y las coordenadas en la referencia, obteniéndose el valor denominado *error de coordenada*. De cada uno de los 1,110 puntos se obtuvieron cuatro valores de error de coordenada: de X y de Y en el CDV y de X y de Y en la ICD.

Contra lo que podría pensarse, tener los valores de error no significa proceder de inmediato al cálculo de la exactitud. Antes se deben efectuar algunos tratamientos y pruebas de tipo estadístico.

Primero era necesario detectar los valores atípicos (*outliers*), que son aquéllos de magnitud que se desvía significativamente del resto de los datos. Se les considera casos que “distorsionan y reducen la información contenida en la fuente de datos”.⁶ Para su detección se realizó la prueba K Sigmas, y los puntos donde se detectaron atipicidades fueron excluidos del cómputo final. Desde luego, tal exclusión obedece a la lógica estadística, no a la intención de ocultar errores altos. Éstos deben ser analizados para identificar el error incidental que los provocó y corregirlos.

La Tabla 3 muestra los resultados de la prueba K Sigmas. Tanto en los CDV como en la ICD se detectaron valores atípicos en 14 puntos.⁷

Tabla 3
Valores atípicos por producto y estrato de relieve

<i>Puntos originales</i>	<i>CDV Puntos con atípicos</i>	<i>ICD Puntos con atípicos</i>	<i>CDV Puntos definitivos</i>	<i>ICD Puntos definitivos</i>
480	5	3	475	477
240	3	5	237	235
390	6	6	384	384
1,110	14	14	1,096	1,096

Fuente: Elaboración propia.

En suma, tanto para el CDV como para la ICD se descartaron 14 puntos, así que el total empleado para el cómputo final fue de 1,096. Dado que el mínimo recomendado por la norma STANAG es de 167, la cantidad disponible siguió siendo holgadamente suficiente.

Por otro lado, la elección del indicador para calcular resultados requirió otras pruebas estadísticas. Una de las referencias más usadas para medir la exactitud posicional es el National Standard for Spatial Data Accuracy (NSSDA), desarrollado por el Federal Geographic Data Committee de Estados Unidos. Sin embargo, el mismo establece para su aplicación ciertas condiciones que deben cumplir los datos, como una distribución normal y ausencia de sesgos. Si no se cumplen el resultado

⁶ Ariza, *Fundamentos de evaluación de la calidad de la información geográfica*, 2014, p. 146.

⁷ Por coincidencia resultó la misma cantidad de atípicos detectados en cada producto. No son exactamente los mismos puntos. Por ejemplo, algunos puntos con atipicidad en el CDV no la presentaron en la ICD.

que se calcule será erróneo. Por ello se aplicaron a los datos las pruebas Kolmogorov-Smirnov para verificar la normalidad, y T de Student para la detección de sesgos. Las pruebas se aplicaron para cada una de las series de valores de error: en cada componente (X y Y) de cada producto (CDV e ICD) en cada uno de los tres estratos de relieve. En suma, fueron 12 pruebas de normalidad y otras 12 de sesgos.

Los resultados mostraron que no todos los componentes tenían distribución normal, y en algunos se detectaron sesgos que rebasaban el límite aceptable. Para conocer las causas se requeriría una investigación detallada; pero de manera inmediata los resultados indicaron que aplicar la fórmula propuesta por NSSDA no habría sido técnicamente válido, ni congruente con los principios de honestidad que deben guiar todo empeño para evaluar y declarar la calidad.

Por ello, para el cómputo final se optó por aplicar la raíz del error medio cuadrático (EMC), índice que figura entre las medidas de calidad aceptadas por la Organización Internacional de Normalización (ISO), [Norma técnica 19157 - *Geographic Information - Data Quality*, 2013]. Los resultados por cada estrato de relieve y producto se muestran en la tabla 4.

Tabla 4
Resultados de la prueba de exactitud posicional en productos topográficos digitales escala 1:50,000

Estrato de relieve	Producto	Componente	Puntos originales		Error medio cuadrático**	
			definitivos*	componente	Planimétrico***	
Plano	CDV	Coordenada X	480	475	4.9080m	6.515m
	CDV	Coordenada Y	480	475	4.2840m	6.515m
	ICD	Coordenada X	480	477	5.4529m	7.387m
	ICD	Coordenada Y	480	477	4.9837m	7.387m
Inter-medio	CDV	Coordenada X	240	237	3.7498m	4.971m
	CDV	Coordenada Y	240	237	3.2635m	4.971m
	ICD	Coordenada X	240	235	5.0699m	6.488m
	ICD	Coordenada Y	240	235	4.0488m	6.488m
Abrupto	CDV	Coordenada X	390	384	5.8290m	7.885m
	CDV	Coordenada Y	390	384	5.3096m	7.885m
	ICD	Coordenada X	390	384	6.5334m	8.986m
	ICD	Coordenada Y	390	384	6.1691m	8.986m

* Los restantes tras eliminar los que presentaron valor atípico.

** Calculado con los puntos definitivos.

*** Declaración en metadatos.

Fuente: Elaboración propia.

Como se explicó antes, se asumió una exactitud diferente por tipo de relieve y de producto, y los resultados tienden a confirmar en términos generales esta hipótesis. El error más bajo se presentó en el CDV y en el relieve plano. En contraste, el error más alto —la menor exactitud— correspondió a la ICD con relieve abrupto; es decir donde se combinan la topografía que ofrece más dificultades para la corrección fotogramétrica y el producto cuyo proceso de elaboración incluye edición, simbolización y posterior rasterización. Del relieve intermedio se esperarían entonces valores que correspondieran con una tendencia progresiva, pero los resultados no coinciden completamente con ello. No se pueden, sin embargo, adelantar explicaciones sin un estudio detallado. Esta evaluación es apenas el inicio de varias tareas a las que se enfrenta todo productor de información geográfica que afronta el reto de conocer la calidad de sus productos.

Es necesario resaltar que la estrategia de tratamiento e integración de resultados antes reseñada se realizó tomando en cuenta valiosos consejos del doctor Francisco Javier Ariza, experto en calidad de la Universidad de Jaén, España.

Conclusiones

La evaluación de la calidad tiene dos grandes virtudes, como aclara ISO [Norma 19157]. Por un lado, permite a los usuarios determinar en qué medida los datos espaciales cubren sus requerimientos; la separación de cálculos por clase de producto y estrato de relieve tiene la virtud de ofrecer datos que los usuarios pueden considerar y analizar con sus perspectivas. Por otro lado, permite al productor saber qué tanto sus datos cumplen con las especificaciones establecidas para ellos. Es un primer paso indispensable para establecer en el futuro los requisitos de calidad que deben cumplir los productos, y más importante, las especificaciones de producción que garanticen ese cumplimiento. En suma, lo que se conoce como aseguramiento de la calidad.

De esta manera se informa de la confiabilidad técnica de los productos geográficos. Más que decirle cómo usarlos, la misión del productor es proporcionar al usuario potencial la información necesaria para que estime si un determinado producto es suficiente para sus requerimientos. Cuando se declaren los resultados de la prueba antes reseñada, cada usuario podrá determinar cuál es la aptitud de uso que para él posee, en el aspecto posicional, la información topográfica escala 1:50,000 del INEGI. Lo anterior significa que el trabajo no concluye sino hasta que en los metadatos del producto se incluya la información de calidad. Ése es el fin último y necesario. De esta manera se hace evidente que en la institución se ha adoptado la noción de *fitness for use*.

Pero con eso no se ha hecho más que iniciar un proceso de años. Es importante avanzar en esta etapa de evaluación y declaración de la calidad; pero este avance debe hacerse con un rumbo claro, y éste debe ser hacia el aseguramiento de la cali-

dad, estrechando la comunicación con los usuarios para que dicha calidad sea tal que cubra lo mejor posible las necesidades de información de la sociedad actual. Éstas deben ser la base para establecer los requisitos de calidad. De esa manera se asegura que los productos geográficos serán útiles, justificando plenamente los recursos invertidos en su elaboración.

Como bien se ha dicho, la calidad es ineludible, aunque cueste. Y también lo es la perspectiva de incrementarla paulatinamente, de manera que su utilidad, su capacidad de satisfacer necesidades específicas, sea cada vez más incluyente. La noción de *aptitud para el uso* no es una llegada, sino un punto de partida.

Bibliografía

- Ariza, F.J. (ed.) 2014. *Fundamentos de evaluación de la calidad de la información geográfica*, Universidad de Jaén, España.
- Conalton, R. y Green, K. (2009). *Assessing the accuracy of remotely sensed data*, CRC Press, USA.
- Federal Geographic Data Committee (FGDC) (1998). *National Standard for Spatial Data Accuracy*, USA.
- International Organization for Standardization (ISO) (2013). *International Standard 19157, Geographic Information-Data Quality*, Suiza.
- North Atlantic Treaty Organization (NATO), Standardization Agency (2002). *Standardization Agreement (STANAG)*, Bruselas.

Participación y dinamicidad en las Infraestructuras de Datos Espaciales: una propuesta de indicadores para medir su impacto en la sociedad

Diego Randolph Perez^{*}
Daniela Ballari^{**}
Luis M. Vilches-Blázquez^{***}

Recibido el 16 de junio de 2015; aceptado el 16 de agosto de 2015

Abstract

Evaluation and indicators definition is an issue in the context of Spatial Data Infrastructures (SDI). Previous studies have evaluated first and second generations of SDI in comparison to their planned or anticipated development. This is following an *ex-ante* approach. However, current SDI trends requires consideration of additional elements for a proper evaluation. The rise of mobile devices, sensors and the growing citizen collaboration are driven the SDI development to a third generation which demands interactive contents, frequently updates, real-time and participation. This paper proposes a system of indicators aimed at evaluating the performance of new SDI trends under an *ex-post* approach, *i.e.* after its development. The indicator system assesses two dimensions of management processes that occur in the *GeoWeb*: participation (through dialogue and empowerment) and dynamism. This work contributes to the improvement of existing SDI evaluation systems by integrating specific indicators for new technology trends.

Key words: New technological trends, mobile devices, Sensors, Volunteered Geographic Information, GeoWeb.

* IDECA, Catastro Distrital. Av. Carrera 30 No. 25-90, Bogotá, Colombia, correo electrónico: diego.randolf@gmail.com

** Grupo de Geoinformación, Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad de Cuenca, Avenida 12 de Abril y Agustín Cueva, Cuenca, Ecuador, correo electrónico: daniela.ballari@ucuenca.edu.ec

*** Facultad de Ingeniería, Pontificia Universidad Javeriana, Calle 40 No. 5-50, Ed. Maldonado, Bogotá, Colombia, correo electrónico: lmvilches@javeriana.edu.co

Resumo

A avaliação e definição de indicadores é o centro das atenções no contexto da comunidade de Infraestruturas de Dados Espaciais (IDE). Trabalhos anteriores têm avaliado as IDE de primeira e segunda geração em comparação com o seu planejamento e desenvolvimento, utilizando uma abordagem *ex-ante*. No entanto, a evolução atual das IDE requiere a consideração de outros elementos para que se chegue uma avaliação adequada. O auge dos dispositivos móveis, os sensores ubíquos e a crescente participação cidadã estão direcionando o desenvolvimento das IDE a uma terceira geração na qual é necessária a interatividade de conteúdos, atualizações frequentes, tempo real e participação. Este artigo propõe um sistema de indicadores com a finalidade de avaliar o desempenho das novas tendências das IDE com um enfoque *ex-post*, ou seja, após a sua implantação. O sistema de indicadores avalia duas dimensões dos processos de gestão que se dão na *GeoWeb*: participação (através do diálogo e empoderamento) e dinamicidade. Este trabalho contribui para a melhoria dos atuais sistemas de avaliação de IDE, integrando indicadores específicos para novas tendências tecnológicas.

Palavras chave: *novas tendências tecnológicas, dispositivos móveis, sensores, Informação Geográfica Voluntaria, GeoWeb.*

Resumen

La evaluación y definición de indicadores es centro de atención en el contexto de la comunidad de las Infraestructuras de Datos Espaciales (IDE). Trabajos previos han evaluado las IDE de primera y segunda generación en comparación con lo planificado o previsto en su desarrollo, es decir siguiendo un enfoque *ex-ante*. Sin embargo, la evolución actual de las IDE requiere considerar otros elementos en juego para su adecuada evaluación. El auge de los dispositivos móviles, los sensores ubicuos y la creciente colaboración ciudadana están direccionando el desarrollo de las IDE hacia una tercera generación en la que se demanda interactividad de contenidos, actualización frecuente, tiempo real y participación. Este artículo propone un sistema de indicadores orientado a evaluar el desempeño de las nuevas tendencias IDE bajo un enfoque *ex-post*, es decir posterior a su desarrollo. El sistema de indicadores evalúa dos dimensiones de los procesos de gestión que se dan en la *GeoWeb*: participación (a través del diálogo y empoderamiento) y dinamicidad. Este trabajo contribuye a la mejora de los sistemas actuales de evaluación de IDE, integrando indicadores específicos para nuevas tendencias tecnológicas.

Palabras clave: *nuevas tendencias tecnológicas, dispositivos móviles, sensores, Información Geográfica Voluntaria, GeoWeb.*

Introducción

La identificación de mecanismos de evaluación y definición de indicadores es centro de atención en el contexto de la comunidad de las Infraestructuras de Datos Espaciales (IDE). Trabajos previos han evaluado las IDE en comparación con lo planificado o previsto en su desarrollo (Rajabifard, Feeney y Williamson, 2002). Por ejemplo, se midió la eficacia, eficiencia y fiabilidad en la determinación del estado y desarrollo de las IDE (Giff, 2008). En esta misma línea, INSPIRE (*Infrastructure for Spatial Information in Europe*) propuso 32 indicadores iniciales para medir el estado y desarrollo de las diferentes IDE europeas que la conforman con el objetivo de describir, monitorear y analizar sus actividades (SADL, 2005). Otras iniciativas centraron el interés en el desarrollo de los *Clearinghouse* IDE (Crompvoets, Bregt, Rajabifard y Williamson, 2004) y en la dimensión económica (Zwirowicz-Rutkowska, 2013).

Todos estos enfoques, sin embargo, fueron construidos para evaluar las IDE de primera y segunda generación. Es decir, estas iniciativas se caracterizaban por estar centradas en los datos, servicios y procesos y fueron impulsadas por instituciones gubernamentales y empresas privadas (Masser, 1999). Por consiguiente, su evaluación está basada en el desempeño de productos (calidad) en términos de eficiencia, efectividad y eficacia de productos y objetivos.

No obstante, la evolución actual de las IDE requiere considerar otros elementos en juego para su adecuada evaluación. Ante el auge de los dispositivos móviles, los sensores ubicuos y la creciente colaboración ciudadana en la construcción de contenidos, las IDE se posicionan frente a entornos complejos, multifacéticos y dinámicos (Erik de Man, 2006; Grus, Crompvoets y Bregt, 2010). Estas tendencias están direccionando el desarrollo de las IDE hacia una tercera generación en la que se demanda interactividad de contenidos, actualización frecuente, tiempo real y participación donde todos los actores sociales puedan proveer, acceder, usar e intercambiar datos espaciales por medio de plataformas colaborativas.

En la actualidad, son diferentes las iniciativas de evaluación de IDE de tercera generación que se han desarrollado (Floreddu y Cabiddu, 2012; Grus *et al.*, 2011; Ho y Rajabifard, 2010). Sin embargo, a pesar de los aportes de estos trabajos y de acuerdo a la revisión realizada, no existen trabajos orientados a medir de forma directa e integral la participación y dinamicidad necesarios en el marco de las nuevas tendencias IDE. Algunos trabajos aportan parámetros aislados de medición (Bégin, Devillers y Roche, 2013; Walker y Claus, 2013), pero carecen de un marco sistemático que permita establecer criterios de evaluación sobre el estado y los retos de implementación de estas tendencias.

Por ello este trabajo desarrolla un sistema de indicadores orientado a evaluar el desempeño de las nuevas tendencias IDE bajo un enfoque *ex-post*, es decir posterior a su desarrollo. Este sistema de indicadores evalúa dos dimensiones de los procesos

de gestión que se dan en la *GeoWeb*: participación (a través del dialogo y empoderamiento) y dinamicidad. Este sistema se basa en el modelo propuesto por Walker y Claus (2013).

El documento se divide en dos secciones. La primera presenta los antecedentes que han determinado el desarrollo y la evaluación de las IDE; la segunda reflexiona sobre los parámetros requeridos para validar las nuevas tendencias y compila cada uno de los indicadores según criterio, característica y técnica evaluativa. Finalmente se aportan conclusiones.

Antecedentes

Las IDE y sus etapas de desarrollo

Una IDE se define como la integración de una serie de componentes, entre ellos datos, tecnología, institucionalidad, comunidad, políticas y estándares, que crean una plataforma para que las partes interesadas, tanto usuarias como productoras de datos espaciales, accedan, compartan y utilicen los datos espaciales de forma eficiente y eficaz (Comisión Europea, 2007; Giff y Coleman, 2002; Kok y van Loenen, 2005; Macharis y Crompvoets, 2014).

En el desarrollo de las IDE se reconocen dos etapas o generaciones bien diferenciadas. En la primera generación, las IDE se impulsan para que la información geoespacial producida por las instituciones gubernamentales sea publicada y accedida a través de Internet. Así, el objetivo prioritario de las IDE es desplegar servicios para la visualización de datos espaciales y la búsqueda de metadatos. Por tanto, en esta etapa, las IDE se centran en los datos y son impulsadas por instituciones gubernamentales (Masser, 1999).

La segunda generación comenzó alrededor del año 2000 (Rajabifard, Feeney y Williamson, 2003) y promueve el desarrollo de servicios geoespaciales más especializados, tales como Web Feature Service (WFS), Web Coverage Service (WCS) y Web Processing Service (WPS). Estos servicios proporcionan funcionalidades adicionales a la simple visualización permitiendo a los usuarios consultar y analizar atributos, acceder a datos en tiempo real y realizar análisis espacial *online*. En esta etapa, las IDE se centran en los procesos y preferencias de los usuarios.

Actualmente, en pleno siglo XXI y ante el auge de los dispositivos móviles, los sensores ubicuos y la creciente colaboración ciudadana en la construcción de contenidos, las IDE se posicionan frente a entornos complejos, multifacéticos y dinámicos (Erik de Man, 2006; Grus *et al.*, 2010). Estas tendencias están direccionando el desarrollo IDE hacia una tercera generación en la que se demanda interactividad de contenidos, actualización frecuente, tiempo real y participación. Este desarrollo implica pasar de un modelo basado en productos, donde las personas consumen datos (*Web 1.0*), a un modelo basado en procesos donde todos los actores sociales

puedan proveer, producir, acceder, usar e intercambiar datos espaciales por medio de plataformas colaborativas (*Web 2.0*).

Características de las nuevas tendencias IDE

La información geográfica voluntaria (VGI en inglés por *Volunteer GeoInformation*) se caracteriza por ser un compromiso generalizado por parte de un gran número de ciudadanos, a menudo con poca cualificación en términos formales, que participan en la creación de datos espaciales (Low, 2012). Esta es una fuente rica de información casi en tiempo real que supone un cambio de paradigma en la creación y difusión de los datos espaciales. Lo anterior, porque se produce un cambio desde un modelo tradicional, centrado en los productores oficiales, hacia un modelo más democrático donde el usuario final también actúa como productor de datos (Budhathoki, Bruce y Nedovic-Budic, 2008; Goodchild, 2008; Severinsen y Reitsma, 2013).

La VGI se logra gracias a la *Web 2.0* y a los *mashups*, término asociado a aplicaciones web que facilitan el intercambio participativo de información, la interoperabilidad, el diseño centrado en el usuario y la colaboración en la *World Wide Web* (por ejemplo, los sitios de redes sociales, blogs, wikis, sitios para compartir video, etc.) (Low, 2012). Así, un sitio *Web 2.0* se caracteriza por permitir a los usuarios interactuar y colaborar entre sí como creadores de contenido en una comunidad virtual, a diferencia de sitios web estáticos donde los usuarios se limitan a la observación pasiva de los contenidos que se han creado para ellos.

Por su connotación, VGI requiere abordar aspectos relacionados con privacidad, derechos de propiedad intelectual, calidad y responsabilidad de los datos (Pomfret, 2010). El grado de integración de este tipo de información en las IDE implica constituir un sistema de control con el cual se tenga conocimiento tanto por parte del contribuyente como por la administración de: ¿Cómo están siendo adquiridos, administrados, analizados y utilizados los datos? ¿Cuándo y por cuánto tiempo? de forma tal que las personas sean conscientes del tipo de infraestructura a la que contribuyen y los posibles beneficios que pueden obtener de ella (Batty *et al.*, 2012).

Los dispositivos móviles, por otro lado, permiten la navegación táctil de mapas, la interacción con el entorno a través de la disponibilidad de sensores, la movilidad de los usuarios y el reporte de eventos en tiempo real (Goodchild, 2007). De esta forma, dichos instrumentos (*smartphones, tablets, etc.*) se han incorporado a la vida cotidiana recogiendo, intercambiando y procesando información de forma continua tanto espacial como temporalmente (Cuff, Hansen y Kang, 2008). Esta situación está dando lugar a múltiples datos (localización, trayectorias, velocidades, magnitudes, etc.) de un sinnúmero de objetos y fenómenos geográficos que demandan ser conocidos por la sociedad.

La generación de datos espaciales también se beneficia de la disponibilidad de sensores que, ya sea de forma independiente o integrada con los dispositivos móviles, monitorean y reportan eventos del medioambiente. Estos sensores ayudan a la observación de fenómenos como dióxido de carbono, luminosidad y ruido (Christin, Reinhardt, Kanhere y Hollick, 2011). Por ello, los geoservicios de las IDE están siendo rediseñados, adaptados y complementados para soportar también los datos de sensores que son dinámicos, accesibles en tiempo real y con una alta resolución espacio-temporal. Esto es llevado adelante por la iniciativa de *Sensor Web Enablement* (SWE) del *Open Geospatial Consortium* (OGC) a través de la estandarización de geoservicios específicos para datos de sensores (Bröring *et al.*, 2011).

Indicadores en la evaluación de las IDE

Los indicadores proporcionan evidencia de la existencia de una cierta condición, es decir del logro o no de ciertos resultados (Brizius y Campbell, 1991). Permiten a los tomadores de decisiones evaluar el progreso hacia el logro de los resultados previstos, metas y objetivos; siendo una parte integral de un sistema de rendición de cuentas basado en los resultados (Horsch, 1997). Constituyen expresiones cualitativas o cuantitativas observables que describen características, comportamientos o fenómenos de la realidad a través de la evolución de una variable o del establecimiento de una relación entre variables (DANE, n.d.). Los indicadores tienen dos funciones básicas. Por un lado, la función descriptiva que consiste en la aportación de información sobre el estado real de una actuación, proyecto, programa o política. Por otro lado, la función valorativa que consiste en añadir a la información descriptiva un juicio de valor, lo más objetivo posible, sobre si el desempeño está siendo o no adecuado (Valle y Rivera, 2008).

Debido a la alta complejidad de las iniciativas IDE, en las que intervienen variadas disciplinas como el derecho, economía, geomática y administración pública (Macharis y Cromptvoets, 2014); a la hora de medir el desempeño de estas macroestructuras se identifican múltiples enfoques y criterios de evaluación.

Desde un enfoque general, se desarrolló un marco de trabajo multivista (*framework*) para evaluar las IDE desde diferentes perspectivas y propósitos (Cromptvoets, Rajabifard, van Loenen y Fernández, 2008). Este marco de trabajo se basa en Sistemas Complejos Adaptativos (CAS en sus siglas en inglés) y responde a tres requerimientos básicos de medición: la rendición de cuentas (contabilidad), el conocimiento y el desarrollo de las IDE.

También basándose en el rendimiento de productos (PBM por sus siglas en inglés), se midió la eficacia, eficiencia y fiabilidad en la determinación del estado y desarrollo de las IDE (Giff, 2008). En esta línea, INSPIRE propuso 32 indicadores iniciales para medir el estado y desarrollo de las diferentes IDE europeas con el objetivo de describir, monitorear y analizar sus actividades (SADL, 2005). Otros

trabajos centraron el interés en el desarrollo de los Clearinghouse IDE (Crompvoets *et al.*, 2004); y en la dimensión económica (Zwirowicz-Rutkowska, 2013).

Estos enfoques, sin embargo, fueron contruidos para evaluar las IDE de primera generación y, por consiguiente, su evaluación está basada en el desempeño de productos (calidad) en términos de eficiencia, efectividad y eficacia de productos y objetivos. Además, como resaltan Grus *et al.* (2011), estos enfoques han tenido, sobre todo, un carácter *ex-ante*, es decir, centrado en impactos y beneficios predichos de la IDE (M. Craglia *et al.*, 2003; Dufourmont, 2004; Garcia Almirall, Moix Bergadà, Queraltó Ros y Craglia, 2008). Los estudios a posteriori de los beneficios e impactos de IDE siguen siendo escasos (Grus *et al.*, 2011; Lance, Georgiadou y Bregt, 2006) ya que sólo una serie de consideraciones teóricas y buenas prácticas relacionadas se pueden mencionar (Castelein, Bregt y Pluijmers, 2010; Max Craglia y Campagna, 2010; Genovese, Cotteret, Roche, Caron y Feick, 2009).

En respuesta a esta limitación, recientemente varios autores han propuesto enfoques *ex-post*. Ejemplos son el marco para analizar y evaluar Public Participation Geographic Information Systems (PPGIS) (Floreddu y Cabiddu, 2012) y la propuesta de 9 parámetros para validar VGI en el contexto de la *Web 2.0* (Ho y Rajabifard, 2010). Por otro lado, el grado de cumplimiento de las metas de una IDE ha sido evaluado a través de 4 objetivos : i) la recuperación y uso de información por parte del público y las empresas; ii) el valor económico agregado por las empresas a la información geográfica que el gobierno les suministra; iii) el uso de la información geográfica disponible en los procesos y servicios del gobierno; y iv) la colaboración entre los gobiernos, empresas, universidades e institutos de conocimiento en el desarrollo y mejora de las herramientas clave (Grus *et al.*, 2011). Adicionalmente, se midió el grado en que los datos espaciales fluyen de manera eficiente entre las organizaciones de una IDE, teniendo en cuenta el acceso, intercambio y grado en que los datos son utilizados (Vandenbroucke, Dessers, Crompvoets, Bregt y Van Orshoven, 2013). Este trabajo también consideró el grado en que se satisfacen las demandas en términos de la contribución de los datos a través de: i) la eficiencia y la calidad, ii) la flexibilidad e innovación y iii) la transparencia y fiabilidad de los procesos de trabajo.

Sistema de indicadores para nuevas tendencias IDE

El desarrollo actual de las IDE, como se constató en la sección anterior, debe gestionarse en un marco amplio de conocimiento compuesto por ciudadanos, empresas, instituciones de gobierno, grupos e individuos que no solo demandan información espacial sino que, según las circunstancias, pueden constituir nodos de producción, organización, recolección e interpretación de datos espaciales para satisfacer múltiples necesidades y tomar decisiones. Con lo cual es preciso descentralizar y democratizar los datos, así como los procesos geoespaciales que los generan y mantienen.

Tomando como base el trabajo de Walker y Claus (2013), la participación en la *GeoWeb* se da a través de tres etapas:

- I. Diálogo de necesidades de información entre la ciudadanía y el coordinador IDE
- II. Empoderamiento a la ciudadanía con herramientas, información y facilitación en atención a diversas formas de participación (análisis, deliberación, argumentación y colaboración)
- III. Utilización de contenidos en procesos de toma de decisión

Estas etapas ocurren a través de tres espacios conceptuales: ámbito proveedor (coordinador IDE), ámbito público (territorio) y espacio de interacción (*GeoWeb*) (véase Figura 1).

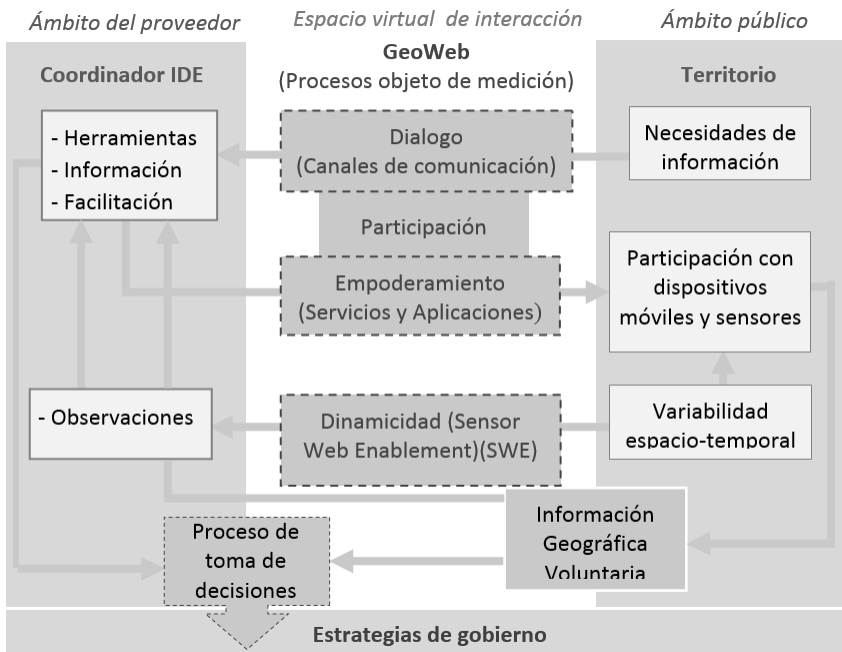


Figura 1. Marco evaluativo para las nuevas tendencias IDE. Basado en (Walker y Claus, 2013).

Este es el escenario que se tomó como elemento de referencia para nuestra propuesta de indicadores para nuevas tendencias IDE (Tablas 1 y 2). El mismo se relaciona con dos procesos principales de la *GeoWeb*: participación (diálogo y empoderamiento) y dinamicidad, entendiendo estos dos procesos principales como

formas de interacción entre el proveedor (coordinador IDE) y el ámbito público (territorio).

La Figura 1 muestra como la participación se activa cuando las necesidades de información, que emergen en el territorio, son comunicadas al coordinador IDEa través del diálogo directo y los canales de comunicación. El coordinador IDE, a su vez, genera y dispone herramientas, información y canales de facilitación en atención a estas necesidades; las cuales son puestas al servicio de la ciudadanía como mecanismo de empoderamiento (servicios y aplicaciones) para posibilitar la participación ciudadana que en gran medida se da a través de dispositivos móviles dotados de sensores. Paralelamente, la variabilidad espacio-temporal (dinamicidad) de diversos fenómenos territoriales, es observada por múltiples sensores habilitados en web (Sensor Web Enablement) que son gestionadas por el coordinador IDE. Finalmente y una vez empoderada la ciudadanía, se captura información de forma participativa (información geográfica voluntaria) que ingresa y es utilizada en los procesos de toma de decisión, junto con las herramientas, informaciones y canales facilitados por la IDE; aportando así a la gobernanza y en respuesta a estrategias de gobierno.

Con este escenario para el sistema de indicadores de evaluación se busca visibilizar y dar seguimiento a la información, las herramientas y observaciones que las IDE generan en respuesta a las necesidades de información, formas de participación y variaciones espacio-temporales del territorio, usando estos elementos como parámetros de medida para validar la efectividad y el grado de implementación de las nuevas tendencias IDE.

Participación en la IDE (diálogo y empoderamiento)

La participación, liderada por los procesos de diálogo y empoderamiento, está regida por la interactividad *Web 2.0* definida por Fumero, Roca y Orange (2007) como la interacción entre los distintos elementos de la red universal digital, generalizada en el nuevo entorno tecnológico: hombre-hombre, hombre-máquina, máquina-máquina. Así, la interactividad hombre-máquina habitual de la *Web 1.0*, se ve transcendida en la *Web 2.0* al empujar la “socialización” a una red que pasa a ser una extensión natural del ecosistema social de los individuos (Fumero *et al.*, 2007).

La interactividad de los procesos de diálogo y empoderamiento es una dimensión evaluativa para las IDE que se justifica por la necesidad de integrar procesos de trabajo en los que los datos fluyen entre y dentro de las organizaciones por medio de múltiples mecanismos de intercambio (Vandenbroucke, Cromptvoets, Vancauwenberghe, Dessers y Van Orshoven, 2009). Además, estos procesos resultan importantes en la construcción de un recurso de conocimiento global que, por diseño, represente un bien público, accesible a cada ciudadano, institución o empresa dentro de un marco de confianza y calidad que permita garantizar la creación de información confiable, oportuna y fiable sobre los fenómenos colectivos (Batty *et al.*, 2012).

Tabla 1
Indicadores de diálogo y empoderamiento en la GeoWeb

<i>Indicador</i>	<i>Descripción</i>	<i>Fuente de datos</i>
Porcentaje de actividad voluntaria	# total de accesos / # total de aportes x 100	
Segmento de población participante	Tipo de población que aporta contenidos (institucional, académico, ciudadano)/ población total de interés x 100	
Amplitud del grupo de usuarios	Toda la población de interés (total), más del 50% de la población (media), menos del 50 % de la población (baja) (adaptado de Vandembroucke <i>et al.</i> , 2013)	
Alcance de intercambio	Todas las partes interesadas (alto), otras autoridades públicas (medio), organizaciones activas en el proceso (bajo) (adaptado de Vandembroucke <i>et al.</i> , 2013)	Servicios de análisis estadístico para páginas web (por ejemplo: <i>Google Analytics</i>)
Frecuencia de contribución	Grado en que se aportan datos espaciales al proceso. Horario, diario, semanal, mensual	
Intensidad de uso	Grado en que se utilizan los datos espaciales en el proceso. Diario (alto), semanal (medio), de vez en cuando (bajo) (adaptado de Vandembroucke <i>et al.</i> , 2013)	
Ámbito de uso	Avanzado (alto), analítico (medio), básico (bajo) (adaptado de Vandembroucke <i>et al.</i> , 2013)	
Medio de interacción predilecto	# de accesos web / # de accesos móviles	
Sistema operativo predilecto	# de accesos por sistemas operativo	
Contenido de intercambio	Tipo de contenido (especializado, intuitivo)/ Tipo de contenido requerido. Conforme, no conforme (adaptado de Vandembroucke <i>et al.</i> , 2013)	
Grado de coherencia geográfica en los aportes	# de aportes inmersos en la zona de interés/ el total de aportes	Capas espaciales, sistema de registro y formas de publicación de un servicio o aplicación
Privacidad de los datos que ingresan	Existencia de licencias (Contiene, No contiene); Existencia de pseudónimos (Contiene, No contiene)	
Calidad de los aportes voluntarios	Sistemas de calificación por pares <i>ranking</i> (bueno, regular o malo)	
Difusión de contenidos	Sindicación web (posee, no posee); conexión con redes sociales (posee, no posee); publicación por servicios (posee, no posee)	
Porcentaje de información voluntaria	# de dataset voluntarios / # de dataset oficiales x 100	

Fuente: Elaboración propia.

De esta manera, los procesos de diálogo y el empoderamiento demandan un esfuerzo de diseño para planificar una navegación entre pantallas en la que el usuario sienta que realmente controla y maneja una aplicación. Es decir, el usuario debe navegar por la aplicación y sentirse libre (Bauzá, 1997) para dialogar con el proveedor y para usar las aplicaciones y servicios que el coordinador IDE otorga para participar. Esto es, un “diseño centrado en el usuario” que tenga en cuenta: i) el intercambio, como flujo y acceso eficiente a datos espaciales entre los diferentes grupos de interés (Annoni y Craglia, 2005); ii) la colaboración, entendida como proceso que integra a las personas y la tecnología bajo el propósito de gestionar, transformar y analizar datos espaciales, permitiendo la integración de conocimientos de múltiples partes interesadas (Balram y Dragičević, 2006) y iii) la interoperabilidad como aquella habilidad de las organizaciones y sistemas dispares y diversos para interactuar con objetivos consensuados y comunes con la finalidad de obtener beneficios mutuos (Marco Iberoamericano de Interoperabilidad, 2010).

Teniendo en cuenta estos aspectos se proponen los siguientes indicadores para evaluar la interactividad de la participación (diálogo y el empoderamiento).

Dinamicidad en las IDE

Para poder dimensionar una red de sensores que resulte genérica y adaptable a cualquier escenario geográfico, es preciso tener en cuenta las entidades involucradas en un ejercicio de observación y la forma como estas interactúan o colaboran, pues al armonizar la forma en que cada elemento colabora al momento de integrarse, es posible equilibrar las metas individuales y colectivas (Collazos *et al.*, 2009).

El reconocimiento de la variabilidad espacio-temporal del territorio, a través de sensores conectados y habilitados en *Web* (esto bajo los protocolo y estándares de Sensor Web Enablement de OGC y la Semantic Sensor Network Ontology (SSN) del World Wide Web (W3C)), es una manera de dotar de órganos sensoriales a las IDE que permite a los usuarios explorar el entorno (Rodríguez Pascual, López Romero, Abad Power, Sánchez Maganto y Vilches-Blázquez, 2005).

De acuerdo con la SSN, un sensor puede definirse como toda *cosa* que observa y permite describir cualquier nivel de detalle. De esta manera, los sensores son objetos físicos que observan, que transforman los estímulos entrantes en otra representación, a menudo digital, a través de un método.

En términos concretos, la red de sensores y dispositivos móviles se puede evaluar de acuerdo a tres perspectivas (Compton *et al.*, 2012): i) la capacidad de medición de los sensores, (exactitud, rango de medición, precisión, resolución y similares); ii) observaciones, contextos de interpretación de los estímulos de entrada que colocan el estímulo y el caso observado en un contexto de interpretación y iii) el sistema de detección y despliegue, partes de detección de la infraestructura

(componentes, dispositivos de detección, funcionamiento, supervivencia, plataformas y ciclo de despliegue: instalación, mantenimiento y desmantelamiento).

Para un evento una observación puede vincular el acto de percibir, el evento de estímulo, el sensor, un método, un resultado, una característica y una propiedad observada, colocando todo en un contexto de interpretación (Compton *et al.*, 2012). Partiendo de este entendimiento se proponen los indicadores recogidos de la Tabla 2.

Tabla 2
Indicadores de dinamicidad en la GeoWeb

<i>Indicador</i>	<i>Descripción</i>	<i>Fuente de datos</i>
Frecuencia de aportes	#aportes u observaciones/unidad de tiempo	
Nivel de disponibilidad entre datos móviles y web	# Contenidos disponibles en web/#contenidos disponibles móvil	Conjunto de especificaciones del Sensor Web Enablement (SWE).
Calidad del instrumento sensor	Exactitud del instrumento/exactitud requerida	Servicios de análisis estadístico para páginas web (por ejemplo Google Analytics)
Grado de actualización	Periodicidad de captura/periodicidad de publicación	
Grado de análisis de información	Publicación de datos crudos/publicación de datos procesados x 100	
Disponibilidad de datos de trayectos	# de dataset que registren trayectorias	
Representatividad temporal del evento	Periodo de actividad del sensor/tiempo de ocurrencia del fenómeno	

Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones

Este trabajo ha desarrollado un sistema de indicadores orientado a evaluar el desempeño de las nuevas tendencias IDE bajo un enfoque *ex-post*, es decir, que se centra en analizar el impacto social de las nuevas tendencias IDE como son la participación ciudadana y la dinamicidad de información. Esta propuesta resulta dife-

renciadora con respecto a los trabajos presentes en el estado del arte, caracterizados por seguir enfoques *ex-antes*, es decir, enfoques centrados en impactos y beneficios predichos de las iniciativas IDE. Los indicadores propuestos fueron obtenidos de referencias bibliográficas y mediante discusión entre los autores. También se indican fuentes de datos para así poder realizar la evaluación de los mismos.

Los indicadores de evaluación *ex-post* propuestos permiten evaluar la IDE atendiendo los procesos de comunicación y empoderamiento tecnológico que el coordinador IDE establece con la ciudadanía a través de la *GeoWeb*. De esta manera, la evaluación del desempeño, se centra en el impacto que las herramientas, informaciones y facilidades IDE imparten sobre el territorio. Es decir en el grado de atención a las necesidades de información y en el retorno de mecanismos de participación y monitoreo web y móvil que la IDE dispone para observar la variabilidad espacio-temporal (dinamismo) y gracias a los cuales la ciudadanía se empodera para producir Información Geográfica Voluntaria.

Este trabajo contribuye a la mejora de los sistemas actuales de evaluación de IDE, integrando indicadores específicos para nuevas tendencias tecnológicas. Como trabajo futuro se plantea llevar a cabo diversos casos de estudios que permitan comprobar la factibilidad de los indicadores propuestos y enriquecer la propuesta desarrollada añadiendo una tercera dimensión para evaluar el uso de la información en los procesos de toma de decisiones.

Agradecimientos

Este trabajo fue llevado a cabo en el marco del proyecto “Escenarios para el análisis de las nuevas tendencias en IDE en Latinoamérica: retos y oportunidades” financiado por el Instituto Panamericano de Geografía e Historia (IPGH).

Bibliografía

- Annoni, A., and Craglia, M. (2005). Towards a directive establishing an infrastructure for spatial information in Europe (INSPIRE) in Proceedings of GSDI —8 From Pharaohs to Geoinformatics—The Role of SDIs in an Information Society, Cairo, April.
- Balram, S. and Dragičević, S. (2006). Collaborative Geographic Information Systems, Idea Group Inc (IGI).
- Batty, M.; Axhausen, K.W.; Giannotti, F.; Pozdnoukhov, A.; Bazzani, A.; Wachowicz, M.; Portugali, Y. (2012). “Smart cities of the future”, *The European Physical Journal Special Topics*, 214(1), 481-518.
- Bauzá, G.B. (1997). *El guió multimedia*, Universidad Autònoma de Barcelona.
- Bégin, D.; Devillers, R. and Roche, S. (2013). “Assessing volunteered geographic information (VGI) quality based on contributors’ mapping behaviours”, *ISPRS-*

- International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 1(1), 149-154.
- Brizius, J.A. and Campbell, M.D. (1991). Getting Results: A Guide for Government Accountability. Council of Governors Policy Advisors.
- Bröring, A.; Echterhoff, J.; Jirka, S.; Simonis, I.; Everding, T.; Stasch, C. and Lemmens, R. (2011). "New generation sensor web enablement", *Sensors*, 11(3), 2652-2699.
- Budhathoki, N.R.; Bruce, B. and Nedovic-Budic, Z. (2008). "Reconceptualizing the role of the user of spatial data infrastructure. *GeoJournal*", 72(3-4), 149-160.
- Castelein, W., Bregt, A. and Pluijmers, Y. (2010). "The economic value of the Dutch geo-information sector", *International Journal of Spatial Data Infrastructures Research*, 5, 58-76.
- Christin, D.; Reinhardt, A.; Kanhere, S.S. and Hollick, M. (2011). "A survey on privacy in mobile participatory sensing applications", *Journal of Systems and Software*, 84(11), 1928-1946.
- Collazos, C.A.; Alvira, J.A.; Martínez, D.F.; Jiménez, J.; Cobos, R. y Moreno, J. (2009). "Evaluando y monitoreando actividades colaborativas en dispositivos móviles", *Avances en sistemas e informática*, 5(1).
- Comisión Europea. (2007). Directive 2007/2/EC of the European Parliament and of the Council of 14 March 2007: Establishing an Infrastructure for Spatial Information in the European Community (INSPIRE).
- Compton, M.; Barnaghi, P.; Bermudez, L.; García-Castro, R.; Corcho, O.; Cox, S., et al. (2012). The SSN ontology of the W3C semantic sensor network incubator group. Web Semantics: Science, Services and Agents on the World Wide Web, 17, 25-32.
- Craglia, M. and Campagna, M. (2010). "Advanced regional SDIs in Europe: Comparative cost-benefit evaluation and impact assessment perspectives", *International Journal of Spatial Data Infrastructures Research*, 5, 145-167.
- Craglia, M., et al. (2003). *Contribution towards the extended impact assessment of INSPIRE*. Environment Agency for England and Wales. Retrieved from <http://inspire.ec.europa.eu/reports/fds_report.pdf>.
- Crompvoets, J., Bregt, A., Rajabifard, A. and Williamson, I. (2004). "Assessing the worldwide developments of national spatial data clearinghouses", *International Journal of Geographical Information Science*, 18(7), 665-689.
- Crompvoets, J., Rajabifard, A., van Loenen, B., and Fernández, T. (Eds.). (2008). A multi-view framework to assess SDIs. Wageningen: Wageningen University, RGI.
- Cuff, D.; Hansen, M. and Kang, J. (2008). "Urban sensing: out of the woods", *Communications of the ACM*, 51(3), 24-33.

- DANE - Departamento Administrativo Nacional de Estadística (n.d.). *Guía para diseño, construcción e interpretación de indicadores*.
- Dufourmont, H. (2004). Results task force XIA. Luxembourg: EUROSTAT. Retrieved from <http://inspire.jrc.ec.europa.eu/reports/inspire_extended_impact_assessment.pdf>.
- Erik de Man, W.H. (2006). "Understanding SDI; complexity and institutionalization", *International Journal of Geographical Information Science*, 20(3), 329-343, <<http://doi.org/>>.
- Floreddu, P.B., and Cabiddu, F. (2012). "Public Decisions and Citizen Satisfaction: The Potential Role of Public Participation Geographic Information Systems". *International Journal of Electronic Commerce*, 3(1).
- Fumero, A.; Roca, G. and Orange, F. (2007). Web 2.0. Fundación Orange.
- Garcia Almirall, P.; Moix Bergadà, M.; Queraltó Ros, P. and Craglia, M. (2008). "The socio-economic impact of the spatial data infrastructure of Catalonia", *JRC Scientific and Technical Reports*.
- Genovese, E.; Cotteret, G.; Roche, S.; Caron, C. and Feick, R. (2009). "Evaluating the socio-economic impact of Geographic Information: A classification of the literature", *International Journal of Spatial Data Infrastructures Research*, 4, 218-238.
- Giff, G. (2008). "A Framework for Designing Performance Indicators for Spatial Data Infrastructure Assessment", in *A Multi-view framework to assess spatial data infrastructures* (in J. Crom, pp. 211-234), Melbourne, Melbourne University Press.
- Giff, G. and Coleman, D. (2002). "Funding models for SDI implementation: From local to global", in Proceedings of GSDI6 conference on SDI.
- Goodchild, M.F. (2007). Editorial: Citizens as Voluntary Sensors: Spatial Data Infrastructure in the World of Web 2.0. *International Journal*, 2(2), 24-32. <<http://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2011.12.005>>.
- Goodchild, M.F. (2008). "Commentary: whither VGI?", *GeoJournal*, 72(3-4), 239-244.
- Grus, L.; Castelein, W.; Crompvoets, J.; Overduin, T.; Loenen, B. van; Groenestijn, A. van, ... Bregt, A.K. (2011). An assessment view to evaluate whether Spatial Data Infrastructures meet their goals. *Computers, Environment and Urban Systems*, 35(3), 217-229. <<http://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2010.09.004>>.
- Grus, L.; Crompvoets, J. and Bregt, A.K. (2010). "Spatial data infrastructures as complex adaptive systems", *International Journal of Geographical Information Science*, 24(3), 439-463, <<http://doi.org/10.1080/13658810802687319>>.
- Ho, S. and Rajabifard, A. (2010). Learning from the crowd: The role of volunteered geographic information in realising a spatially enabled society. In Proceedings

- of the 12th GSDI World Conference, Realising Spatially Enabled Societies, Singapore, pp. 19-22.
- Horsch, K. (1997). Indicators: Definition and Use in a Results-Based Accountability System. Cambridge: Harvard Family Research Project.
- Kok, B. and van Loenen, B. (2005). "How to assess the success of National Spatial Data Infrastructures?", *Computers, Environment and Urban Systems*, 29(6), 699-717, <<http://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2004.02.001>>.
- Lance, K.T.; Georgiadou, Y. and Bregt, A. (2006). "Understanding how and why practitioners evaluate SDI performance", *International Journal of Spatial Data Infrastructure Research*, 1, 65-104.
- Low, H.A. (2012). *Volunteered Geographic Information (VGI) Primer*, Canadian Geospatial Data Infrastructure. Retrieved from <http://wmsmir.cits.rncan.gc.ca/index.html/pub/geott/ess_pubs/291/291948/cgdi_ip_21e.pdf>.
- Macharis, C. and Cromptoets, J. (2014). A stakeholder-based assessment framework applied to evaluate development scenarios for the spatial data infrastructure for Flanders. *Computers, Environment and Urban Systems*. <<http://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2014.04.001>>.
- Marco Iberoamericano de Interoperabilidad. (2010). Bases para una Estrategia Iberoamericana de Interoperabilidad. Documento marco iberoamericano de interoperabilidad ratificado en 2010 por la XX Cumbre Iberoamericana de Jefes de Estado y de Gobierno.
- Masser, I. (1999). "All shapes and sizes: the first generation of national spatial data infrastructures", *International Journal of Geographical Information Science*, 13(1), 67-84.
- Pomfret, K. (2010). "Spatial Law and Policy". Legal and policy issues associated with geospatial data and technology [blog].
- Rajabifard, A.; Feeney, M.-E.F. y Williamson, I. (2003). Spatial data infrastructures: concept, nature and SDI hierarchy. In *Developing Spatial Data Infrastructures: From Concept to Reality* (pp. 17-37). CRC Press, Boca Raton.
- Rajabifard, A.; Feeney, M.-E.F. and Williamson, I.P. (2002). "Future directions for SDI development", *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 4(1), 11-22, <[http://doi.org/10.1016/S0303-2434\(02\)00002-8](http://doi.org/10.1016/S0303-2434(02)00002-8)>.
- Rodríguez Pascual, A.F.; López Romero, E.; Abad Power, P.; Sánchez Maganto, A. and Vilches-Blázquez, L.M. (2005). *Nuevos roles en el nuevo paradigma IDE*. Retrieved from <<http://oa.upm.es/7388/1/Nuevos.pdf>>.
- SADL. (2005). Spatial Data Infrastructure in Europe: state of play during 2005.
- Severinsen, J. and Reitsma, F. (2013). Finding the Quality in Quantity: Establishing Trust For Volunteered Geographic Information.
- Valle, O. and Rivera, O. (2008). Monitoreo e indicadores. IDIE Guatemala. Educación inicial y Derechos de la infancia, Sevilla, Junta de Andalucía.

- Vandenbroucke, D.; Crompvoets, J.; Vancauwenberghe, G.; Dessers, E. and Van Orshoven, J. (2009). A Network Perspective on Spatial Data Infrastructures: Application to the Sub-national SDI of Flanders (Belgium). *Transactions in GIS*, 13(s1), 105-122.
- Vandenbroucke, D.; Dessers, E.; Crompvoets, J.; Bregt, A.K., and Van Orshoven, J. (2013). "A methodology to assess the performance of spatial data infrastructures in the context of work processes", *Computers, Environment and Urban Systems*, 38, 58-66, <<http://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2012.12.001>>.
- Walker, B. and Claus, R. (2013). "A Qualitative Framework for Evaluating Participation on the Geoweb", *Journal of the Urban and Regional Information Systems Association*, 25(2), 15-24.
- Zwirowicz-Rutkowska, A. (2013). *Economic dimension of spatial data infrastructure - Overview of assessment approaches and methods*, 1, 709-715, <<http://doi.org/10.5593/SGEM2013/BB2.V1/S11.013>>.

Los costos ocultos de la Cartografía*

José María Lazo Pritsch**

Recibido el 14 de abril de 2015; aceptado el 16 de agosto de 2015

Abstract

Appropriate and high quality Geographic Information is becoming increasingly important. It is essential in all country's activities, and the Spatial Data Infrastructure plays an essential role when sharing the information. We must generate and maintain it, but we also need to finance it. Usually a cost-benefit analysis is performed in order to make decisions regarding the investment in projects on Geographical Information. However, there are some "hidden" costs in the generation of geographic data that are generally not considered in these analyzes, but should be. These are called "Opportunity Cost" and "Cost of Poor Quality". The opportunity cost is the value of the unrealized best option. If it had not been decided to make the photogrammetric flight in 1966-1967, then, what would have been the impact and the opportunity cost? On the other hand, the costs of poor quality correspond to external faults, those errors incurred by the producer because the external client is being provided with unacceptable products or services. Mistakes in the information provided by the state to a construction company, eventually costed around 15 million dollars, which could have been avoided if quality mapping had been provided.

Both costs can be useful to help making investment decisions.

These hidden costs, can they, alone or together with a cost-benefit analysis, be actually used to make investment decisions in Geographical Information?

Can these costs, both of poor quality as well as the opportunity cost, be such as to influence that decision?

Key words: *Opportunity cost, cost of poor quality.*

Resumen

La Información Geográfica de calidad y oportuna cada vez toma mayor importancia. Es imprescindible en todas las actividades de un país, jugando un rol esencial la

* Esta es una versión revisada y extendida del trabajo del mismo título presentado en las II Jornadas de Cartografía, 30-31 de octubre de 2014, Montevideo, Uruguay.

** Montevideo, Uruguay, correo electrónico: jlazo007@gmail.com

Infraestructura de Datos Espaciales (IDE) al compartir esa información. Hay que generarla y mantenerla, pero también hay que financiarla; es común que se utilice un análisis Costo-Beneficio para tomar decisiones con respecto a la realización de proyectos de inversión en Información Geográfica, sin embargo hay algunos costos “ocultos” en la generación de los datos geográficos que generalmente no se tienen en cuenta en estos análisis, pero deberían serlos. Ellos son los llamados “Costo de Oportunidad” y el “Costo de la Mala Calidad”. El Costo de Oportunidad es el Valor de la mejor opción no realizada. Si no se hubiera decidido hacer el vuelo fotogramétrico de 1966-1967, entonces, ¿cuál hubiera sido el impacto y cuánto el costo de oportunidad? En cambio los costos de la mala calidad correspondiente a fallos externos, son todos aquellos errores en que incurre el productor porque al cliente externo se le suministran productos o servicios inaceptables. Por errores en planos provistos por el Estado a una empresa constructora, hubo que pagar a esta última alrededor de 15 millones de dólares, que se podría haber evitado si se hubiera dispuesto de cartografía de calidad y oportuna.

Ambos costos pueden ser de utilidad para ayudar a la toma decisiones de inversión.

¿Estos costos ocultos, aislada o conjuntamente con un análisis Costo-Beneficio, podrán ser utilizados realmente para tomar decisiones de inversión en Información Geográfica?

¿Podrán estos costos, tanto el de la mala calidad así como el costo de oportunidad, ser de tal magnitud como para influir en esa decisión?

Palabras clave: *costo de oportunidad, costo de la mala calidad.*

Resumo

A Informação Geográfica apropriada e de qualidade ganha cada vez mais importância. É imprescindível em todas as atividades de um país, levando-se em conta que as Infraestrutura de Dados Espaciais (IDE) tem um papel essencial no compartilhamento dessa informação. Para gerá-la e mantê-la, e também financiá-la são comuns análises do custo-benefício para tomar decisões que dizem respeito ao investimento em projetos de Informação Geográfica. No entanto, existem alguns custos “ocultos” na obtenção de dados geográficos que geralmente não são levados em conta nesta análise, quando deveriam ser. Eles são chamados Custos de Oportunidade e Custos de Baixa Qualidade. O custo de oportunidade é o valor da melhor opção não realizada. Se não houvesse sido decidido por fazer o vôo fotogramétrico de 1966-1967 qual seria o impacto e o custo de oportunidade? Por outro lado, os custos de baixa qualidade correspondem a falhas externas, sendo todos os erros que incorrem ao produtor porque o cliente externo fornece produtos ou serviços inaceitáveis. Por conta de erros nos planos entregues pelo Estado a uma construtora, este teve que pagar cerca de 15 milhões de dólares, o que poderia ter sido evitado se

tivessem usado de cartografia apropriada e de qualidade. Ambos os custos podem ser utilizados para ajudar na tomada de investimento. Estes custos ocultos ou juntamente a análise custo-benefício, poderão ser utilizados para tomar decisões de investimento em Informação Geográfica? Poderão eles, tanto o de baixa qualidade quanto o de oportunidade, serem de escala tal para influir nessa decisão?

Palavras-chave: *custo de oportunidade, custo de baixa qualidade*.

Información Geográfica, Proceso de Producción e Infraestructura de Datos Espaciales

La cartografía y su expresión, el mapa, ha sido la respuesta a la necesidad de disponer de un modelo de la realidad de lo que ocurre en el territorio, teniendo como finalidad aportar Información Geográfica (IG) de ayuda para la toma de decisiones. “Cada vez se reconoce más, tanto en gobiernos como en el sector privado, que comprender la ubicación y lugar es un componente fundamental para esa toma de decisiones efectiva”, Carpenters y Snell (2013). Cualquier actividad humana u objeto geográfico puede representarse en un mapa. Un porcentaje muy alto de los datos generados diariamente en Internet, que se estiman en alrededor de 2.5 trillones de bytes de datos ($2.5 \times 1,018$), IBM (2014), contienen referencia de localización geográfica. Es tan vital la IG que se dice que es “la infraestructura de las infraestructuras”, Canas (2001), porque con ella se diseñan, planifican, construyen y gestionan otras grandes infraestructuras, como carreteras y puentes, vías férreas, represas y presas, saneamiento, entre otras obras. Se afirma que “la información geográfica es crítica para promover el desarrollo económico, mejorar nuestra gestión de los recursos naturales y proteger el medio ambiente”, Clinton (1994). Los análisis de impacto realizados corroboran que la cadena de servicios de valor agregado que se produce alrededor del dato geográfico, que normalmente viene dado por su costo de generación y actualización, aumenta sustancialmente el beneficio económico del mismo. Ni que hablar sobre el valor del dato cuando éste es ofrecido a través de las Infraestructuras de Datos Espaciales (IDE). Éstas tienen el componente geográfico (datos, metadatos y servicios), un componente tecnológico (arquitectura cliente-servidor, normas y estándares), un componente social (productores, desarrolladores, usuarios, etc.) y un componente político, que se muestran en la Figura 1.

El componente geográfico, refiriéndose a los datos, está en la base de la pirámide de componentes y sin él es imposible la IDE. Está constituido por los datos fundamentales (o de referencia) y los temáticos. Los fundamentales son aquellos que sirven de base para construir o referenciar los otros datos, los temáticos, y se constituyen en la cartografía básica de un país. Habitualmente se consideran en este tipo el control geodésico, relieve, red de transporte, hidrografía, unidades político-administrativas, suelos, catastro, los nombres geográficos y las ortofotos. Como

datos temáticos, dentro de una lista larga, podemos mencionar los de geología, medioambientales, forestales, demografía y clima.

La generación, el mantenimiento y/o el acrecentamiento de su calidad y actualidad y en consecuencia su valor, son esenciales para las IDE.

El proceso cartográfico para la generación y mantenimiento de los datos fundamentales, es decir de su base de datos, consta de dos grandes etapas: la adquisición o recolección y la gestión o procesamiento de datos. La adquisición de datos es el proceso mediante el cual se obtienen los objetos y su localización a partir de imágenes satélites, fotos aéreas, LIDAR, etc., con el auxilio de puntos de control obtenidos de la red de estaciones GNSS. En tanto que la gestión de datos son todos los procesos de generalización, edición, generación de MDT, ortofotos, control de calidad, etc. (véase Figura 2).

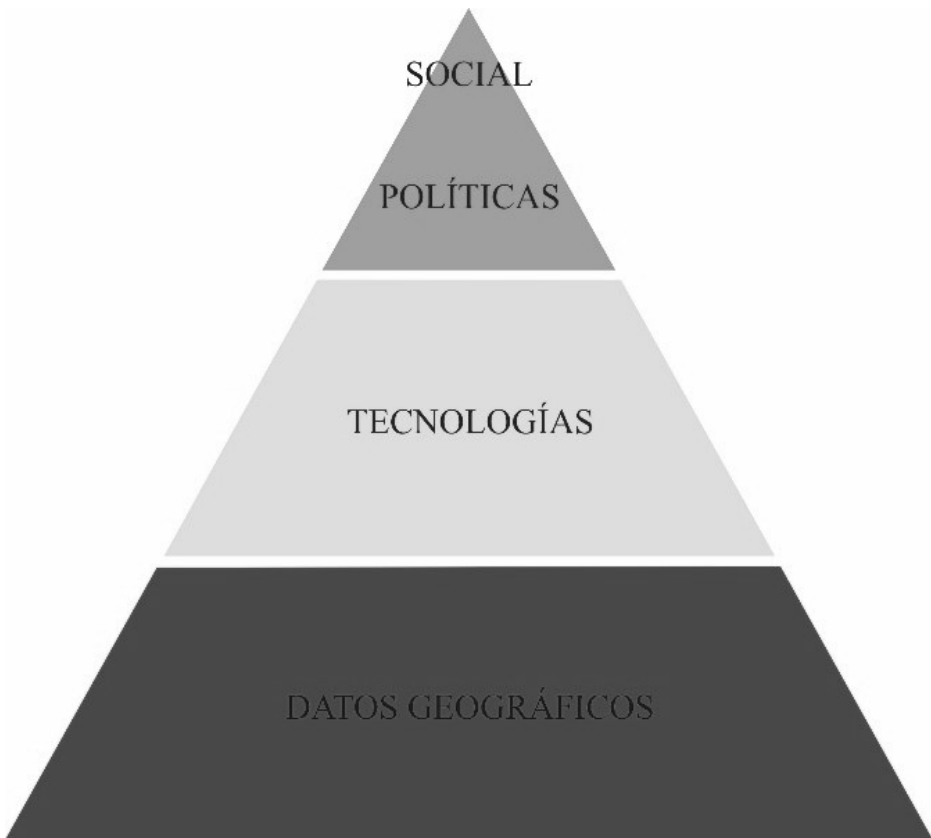


Figura 1. Componentes de la IDE.
Fuente: Elaboración propia.

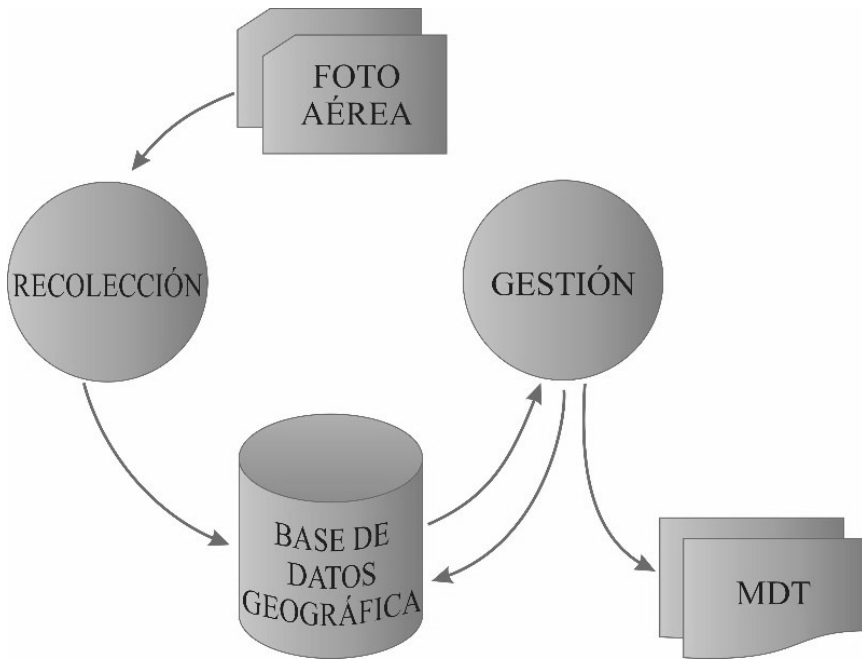


Figura 2. Proceso cartográfico.
Fuente: Elaboración propia.

El mantenimiento de los datos se realiza para tener la información geográfica actualizada y cada vez con mayor calidad y por lo tanto con mayor valor. La frecuencia con que se debe hacer este proceso llamado ciclo de actualización depende del dinamismo del territorio en cuestión y la tecnología, pudiendo ser comunes ciclos de 3 a 10 años. Se ha observado que dicho ciclo parece haber evolucionado siguiendo en general una curva logarítmica donde, por ejemplo, en la década de los veinte era de unos 30-40 años, en la década de los setenta de 10 años y hoy de hasta 3 años y menos.

En países con recursos cartográficos e IDEs menos desarrollados, habrá una mejor comprensión del papel crucial de los datos de alta calidad para apoyar el desarrollo económico y social. Es probable que se dediquen porciones relativamente más altas de capital nacional a programas de captura y mantenimiento, a medida que hay mayor conciencia y comprensión del valor de contar con información geoespacial precisa y con mantenimiento, para otras prioridades políticas (Carpenters y Snell, 2013).

Cada vez surgen nuevas tecnologías para la recolección de datos así como para la gestión y que aportan mejores datos, de mayor calidad y más accesibles, es decir aumentan su valor.

Calidad y mala calidad

Por consiguiente el tema de la calidad de los datos es de enorme importancia. La norma ISO 8402 (1986) define la calidad como “el conjunto de características de una entidad le confieren la aptitud para satisfacer las necesidades establecidas e implícitas”, Wikipedia (1).

La calidad de los datos así como de las bases de datos geográficas digitales, están guiadas por los estándares, en especial las normas correspondientes al TC 211 ISO 19113, 19114, 19135 y 19138. Los elementos generales de calidad (no cuantitativos) tienen que ver con el uso, propósito y linaje de los datos. En cambio los propios de la calidad (cuantitativos) son la exactitud posicional, temática y temporal así como la consistencia lógica y compleción.

Estos elementos de la calidad deben estar descriptos en los metadatos. Otro estándar de aptitud de uso de los datos es por ejemplo el NSSDA (FGDC, 1998).

La mejora de la calidad del mapa no solo tiene beneficios obvios para el usuario en términos de exactitud y precisión, sino que también desempeña un papel importante en la economía de la producción cartográfica al afectar los costos de producción y la rentabilidad.

Hay un ciclo virtuoso que se da: costo → calidad → beneficios (véase Figura 3).

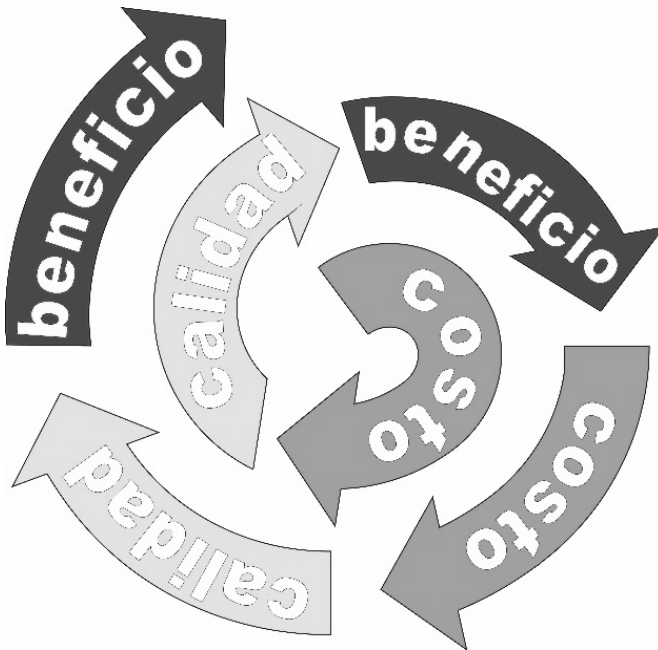


Figura 3. Ciclo virtuoso del costo, calidad y beneficio.
Fuente: Elaboración propia.

Pero no hay que olvidar que la calidad tiene costos, éstos son típicamente de: prevención, evaluación, fallos internos y fallos externos. Los costos de prevención son todos los gastos realizados para evitar que se cometan errores. El costo de evaluación es el resultado de presupuestar la producción ya terminada y la auditoría del proceso. Los costos de baja calidad son llamados también de mala calidad (CMC). Según López Fojo (2014), al seguir su enfoque de costo de la baja calidad, define este término como la suma de los costos internos o externos. Estos CMC internos son todos los errores que tiene la empresa y que han sido detectados antes que los bienes o servicios sean aceptados por el cliente. Los CMC externos son todos aquellos errores en que incurre el productor porque al cliente externo se le suministran productos o servicios inaceptables, García y otros (2002). Estos costos de fallas son llamados resultantes y son considerados pérdidas (véase Figura 4).



Figura 4. Los costos ocultos de la Cartografía. Tomado y adaptado de <<http://www.showeet.com>>.

Ejemplos por el mundo de CMC externos relacionados a la Cartografía, López (2013):

- 1998: Alemania, un BMW se precipitó en el río Havel en el embarcadero de un ferry. El conductor seguía fielmente las instrucciones de un sistema GNSS con mapas instalado. El mapa decía “puente” y debió decir “ferry”.

- 1999: Embajada China en Belgrado, bombardeada por la OTAN “por error”. Los mapas decían que era una instalación serbia (había sido antes).
- 2010: Costa Rica, “invasión” de Nicaragua a ese país basándose en límites según Google Maps. Un alto mando militar se ampara en la “exactitud” de Google para contravenir toda la cartografía de la historia limitrofe y justificar su incursión y reclamar soberanía.
- 2010: Estados Unidos, Lauren Rosenberg cruzó a pie la autopista y fue atropellada. Creyó lo que le decía Google Maps y siguiendo las instrucciones del GPS cruzó una autopista a pie. Fue atropellada por un auto. En consecuencia demandó a Google Maps por US\$100,000.
- 2013: Filipinas, barreminas encallado. Este barco militar a toda máquina encalla en arrecife de coral. Era un área protegida y existió peligro de derrame de fuel. La carta náutica digital ubicaba el arrecife a 8 millas del lugar.

También hay ejemplos de CMC en Uruguay:

- 1997: Punta del Este, derrame de petróleo de barco petrolero. En pleno verano a 40km del centro turístico, por una roca sumergida que no figuraba en las cartas náuticas oficiales, se derramó un estimado entre 200 a 3,000 toneladas.
- 2013: Interconexión eléctrica Brasil-Uruguay.

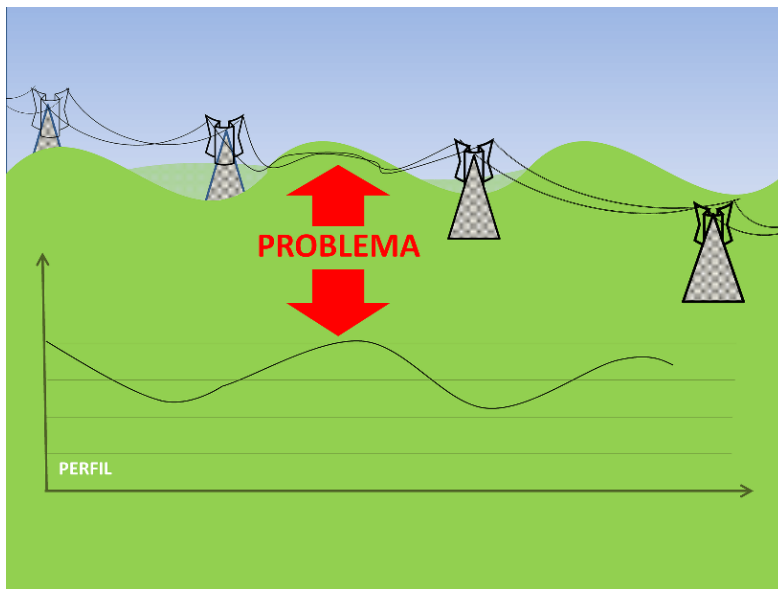


Figura 5. Problema producido por errores en la planialtimetría
Fuente: Elaboración propia.

Dentro del proyecto de interconexión en Extra Alta Tensión entre Brasil y Uruguay, la empresa de energía eléctrica estatal uruguaya tiene que pagar un sobrecosto entre 14,5 y 15,5 millones de dólares a la empresa constructora de la obra, por correcciones en las alturas de 300 torres causadas por “diferencias” con los planos provistos por dicha empresa estatal. El costo primario del proyecto fue de 130 millones de dólares (véase Figura 5).

Este caso en concreto justifica un comentario ampliado ya que los costos incurridos son de público conocimiento. Los planos provistos por la empresa de energía eléctrica fueron realizados por otra empresa privada. Dicho relevamiento planialtimétrico se realizó sobre una faja de 80m donde se relevaron cotas del eje de la línea y cotas de los aspectos relativos a la vegetación, uso del suelo, alambrados, caminería, construcciones, cursos de agua, etc., SAAP UTE (2009). La empresa constructora al comenzar el trabajo detecta diferencias entre los planos recibidos y la realidad del terreno. Un estudio realizado por terceros confirma esas diferencias.

El problema más importante fue la necesidad del aumento de tamaño de alrededor de 300 torres. El costo de estas modificaciones fue convenido entre 14,5 y 15,5 millones de dólares, Alem (2013), que la empresa estatal debe pagar.

Hay otras fuentes locales de errores que, de no tenerse en cuenta, pueden resultar en CMC tales como:

- Uso de modelos de elevación defectuosos.
- Uso de origen altimétrico equivocado (tenemos en el país diferentes orígenes aceptados como el Cero Oficial, el Warthon, otros).
- Uso de la zona 21 “ampliada” (zona 22 como si fuera la zona 21) en la proyección UTM sin considerar las anamorfosis (lineal y superficial) que se producen fuera de la zona original. En caso de la superficies éstos pueden ser del orden de 0.2% del total (por ejemplo, para 500ha (hectáreas) reales nos dará proyectado 1ha más, es decir 501ha).

Simley (2001), menciona fuentes bibliográficas donde expresa que los CMC en la producción cartográfica podrían oscilar entre un 15% y un 40% del costo total del producto. Según Climent (2003), en una encuesta realizada en la comunidad valenciana de si se “tienen en cuenta los informes sobre los costes de calidad para la toma de decisiones”, la respuesta fue afirmativa en el 90.20% de los casos. Se puede afirmar que el CMC que muchas veces es despreciado pero que es muy importante y que se debe tener en cuenta en la toma de decisiones. Por eso el CMC para la cartografía se considera un costo oculto.

Costos y beneficios

Sin embargo la generación así como el mantenimiento de productos geográficos también es un proceso caro, costoso y complejo. El modelo de análisis de costo beneficio, AGESIC (2013), utiliza para los costos los criterios del TCO (Costo Total de Propiedad), siendo éstos tanto directos como indirectos. Los Costos Directos son los que se pueden identificar o cuantificar plenamente con el producto cartográfico terminado. Ellos serán los sueldos, las tecnologías, el hardware y software, las comunicaciones, las imágenes y fotos aéreas, equipos GNSS, otros materiales, etc. Los Costos Indirectos por el contrario son aquellos que no se pueden identificar o cuantificar plenamente con los productos terminados. Son ejemplos la depreciación de los equipos, sueldos de directores, etc. La publicación de un mapa topográfico nacional a escalas 1:25.000 o 1:50.000 exige realizar todo el proceso cartográfico. Ello implica el concurso de diversos equipos experimentados y bien organizados, una inversión considerable y años de trabajo, Bernabé y López-Vázquez (2012).

Los costos visibles, directos e indirectos, que se podrían estimar para el Uruguay para hacer una nueva cartografía, adaptado de Konecny y otros (2009):

- Cartografía rural (escala 1:50.000 o 1:25.000) de todo el territorio:

Vuelo fotogramétrico, el MDT y la ortofoto	→ US\$ 5 millones y medio
Restitución de los objetos geográficos	→ US\$ 5 millones
Total	→ US\$ 10 millones y medio

- Cartografía urbana de todos los centros poblados (2.000km²)

Vuelo fotogramétrico, el MDT y la ortofoto	→ US\$ medio millón
Restitución de los objetos geográficos 3D	→ US\$ 14 millones y medio
Total	→ US\$ 15 millones

Entonces se podría concluir que hacer la cartografía rural del Uruguay podría costar unos 10 millones y medio de dólares. “Sin embargo, si bien las nuevas tecnologías podrían reducir los costos relacionados, los hay y los seguirá habiendo en la creación, gestión y mantenimiento de este contenido”, Carpenters y Snell (2013).

Junto a la calidad y los costos, están los beneficios. Existe dificultad para evaluar los beneficios o impactos en una IDE ya que son generalmente intangibles. Estos pueden definirse en términos de eficiencia, eficacia y beneficios socio-políticos (al ciudadano, al gobierno y a los negocios), Workshop (2006). Cuando se habla de eficiencia se refiere al aumento de productividad por ahorro de tiempo, de gastos, por mejores servicios y credibilidad, mayor exactitud y consistencia, etc., algunos tangibles y otros no. Cuando se habla de eficacia se refiere a las políticas y programas que se benefician con mejor información (mejor análisis, formulación de poli-

ticas, intercambio de información, divulgación, etc.). En resumen se trata de la disponibilidad de recursos y servicios que se ofrecen y cómo la utilizan los usuarios (gobierno, academia, empresas, ciudadanos, etc.). Un resultado esperado es la disminución de la “brecha geomática” entre productores y usuarios de información geográfica. Si se ve desde el punto de vista de gobierno electrónico se puede tomar el modelo para el análisis de los costos y beneficios de, AGESIC (2013) que para los beneficios utiliza dos áreas:

- Para la ciudadanía
 - económicos (tiempo, gastos)
 - sociales (transparencia, acceso, uso y disponibilidad)
- Para el estado
 - económicos (tiempo, gastos)
 - sociales (beneficios de gestión tales como gestión humana, calidad de la gestión e imagen)

Por consiguiente, los costos y los beneficios se utilizan para la toma de decisiones en la producción cartográfica. Una forma es cuantificar todos estos beneficios así como los costos incurridos, en una técnica llamada “Análisis Costo-Beneficio”, que permite definir si un proyecto es beneficioso o no, brindando un instrumento trascendente para la toma de decisiones. El reto es obtener el financiamiento sustentable para la implantación y operación de estas IDE así como de la obtención y calidad de sus datos, en especial los fundamentales. Para ello será menester mostrarle al Gobierno el valor de los datos así como los beneficios y el impacto que tienen.

Algunos indicadores que se usan:

- VPN o VAN: Valor Presente Neto o Valor Actual Neto
- TIR: Tasa Interna de Retorno (o ROI)
- IVAN: VPN/Inversión
- B/C: Relación Costo-Beneficio

En este ensayo se utiliza el indicador B/C donde el numerador es la cuantificación de todos los beneficios y el denominador de todos los costos incurridos. Si el resultado es >1 el proyecto es beneficioso y si es <1 no lo es. En el mundo existen muy pocos estudios de este tipo tanto para la IG como para las IDE. Los datos indican valores que oscilan entre 1.82:1 y 23:1, siendo típico un valor de 4:1 (que es lo mismo que expresarlo como 4). Su amplio rango dependía del contexto tecnológico, de casos de uso de aplicación parcial, otras realidades sociales, etc., Workshop (2006).

En la Tabla 1 se muestran algunos resultados de estudios de Costo/Beneficio:

Tabla 1
Ejemplos de estudios Costo/Beneficios

Año	Título	IDE/IG	B/C	Beneficio Anual			Región	Fuente
				En mill. U\$S	% PBI de la región	% PBI Región x PBI Uruguay en mill.U\$S		
2010	Valor de la IG en los servicios públicos de Inglaterra y Gales	IG	2,5:1	534	0,0200	11,14	Inglaterra y Gales	Deducido y disponible de: < http://www.local.gov.uk/c/document_library/get_file?uuid=b6875678-4150-4d74-8b16-bdd96531774d&groupId=10180 >, accedido el 05-10-2014
2004	Un análisis costo/beneficio para el Mapa Nacional de Estados Unidos	IG	6:1	120	0,0010	0,56	Estados Unidos	Deducido y disponible de: < http://pubs.usgs.gov/circ/2004/1271/ >, accedido el 05-10-2014
2011	Impacto socio-económico de la IDE de Cataluña (II)	IDE	6,5:1	2.9	0,0012	0,67	Cataluña	Deducido y disponible de: < http://www.geoportal-idec.cat/geoportal/cas/documentacio/documents/EstudiImpacteEditatJG_V2_ES.pdf >, accedido: 05-10-2014
2004	Evaluación de impacto de INSPIRE	IDE	8,3:1	740	0,0076	4,23	Europa	Deducido y disponible de: < http://www.ec-gis.org/sdi/ws/costbenefit2006/reports/report_sdi_crossbenefit%20.pdf >, accedido el: 05-10-2014

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar en la Tabla 1 en la tercera columna hay bastante diferencia en los B/C anuales y que son como consecuencia de la metodología empleada y de si se refiere a IG o a IDE. En otra columna se presenta el beneficio anual en millones de dólares y el porcentaje de PBI correspondiente a la región del estudio. Luego se proyecta ese porcentaje al PBI de Uruguay y se obtienen valores de 0,56 a 11,14 millones de dólares, que podrían ser los beneficios anuales de la IG o de la IDE en nuestro país. Estos valores son bastante importantes como para despreciarlos aunque podrían estar afectados por la economía de escala.

Según estudios, CP-IDEA (2011), sólo un 10% de los países de América participantes de la UN-GGIM Américas, tienen implementado modelos de Retorno de la Inversión y/o monitoreos de los impactos económicos y sociales de las IDE.

Costo de oportunidad

Sin embargo el análisis Costo-Beneficio puede estar disminuido si no se le complementa con el Costo de Oportunidad. Este costo es el valor de la mejor opción no realizada, Wikipedia (2). Es la renuncia a las oportunidades y posibilidades futuras durante el ciclo de vida del mapa. Los beneficios perdidos al descartar la siguiente mejor alternativa son los costos de oportunidad de la acción escogida. Ese valor normalmente está cargado de subjetividad ya que es muy difícil su medida.

A continuación se va a calcular cuánto hubiera sido el Costo de Oportunidad si no se hubiera tomado la opción de hacer el vuelo fotogramétrico de los años 1966-1967 en Uruguay. En ese momento se realizaron los vuelos de todo el territorio nacional a dos escalas: 1:40.000 para fines cartográficos y otro al 1:20.000 para atender áreas de suelos, hidrología, catastro, forestación, geología, etc. El vuelo 1:40.000 fue realizado por la empresa Sofratop de Francia. El vuelo a 1:20.000 fue realizado por el Consorcio brasileño Servicios Aerofotogramétricos Vasp, Cruzeiro do Sul, Natividade y Prospec. Ambos vuelos son los únicos de esas características realizados en toda la historia del país. En la Figura 6 se detallan algunos productos cartográficos derivados de esas fotos 1:40.000.

Como se observa en la Figura 6, una profusa producción cartográfica se ha realizado por casi 60 años, hoy ya digitales, derivados de estas fotos. Se muestran en el cuadro más de 40 productos (considerando 1 producto = 1 plan cartográfico con múltiples hojas), pero hay muchos más, más de 100 productos de diversas instituciones. Esta IG ha permitido el desarrollo de las infraestructuras energéticas, viales, agropecuarias, urbanas, etc., así como atender aspectos sociales, sanitarios, emergencias, de gobierno y administración, entre otros. Se valoriza un sólo producto, la cartografía papel 1:50.000 realizada por el SGM entre 1980 y 1994. Se utiliza el costo de US\$55.000 dado para una carta topográfica 1:25.000 por el USGS en 2007, Craun (2010), aunque sabemos que las nuevas tecnologías han reducido sensiblemente hoy ese valor. Para un total de 300 cartas de nuestro país, estaríamos en 16 millones y medio de dólares de costo del plan. Este sería el Costo de Oportunidad, más algunos millones adicionales al incluir los más de 140 productos derivados, de no haber tomado la CIDE (Comisión de Inversiones y Desarrollo Económico) la decisión de realizar los vuelos fotogramétricos en cuestión. Como este costo muchas veces no se considera en las decisiones, se dice que es un costo oculto.

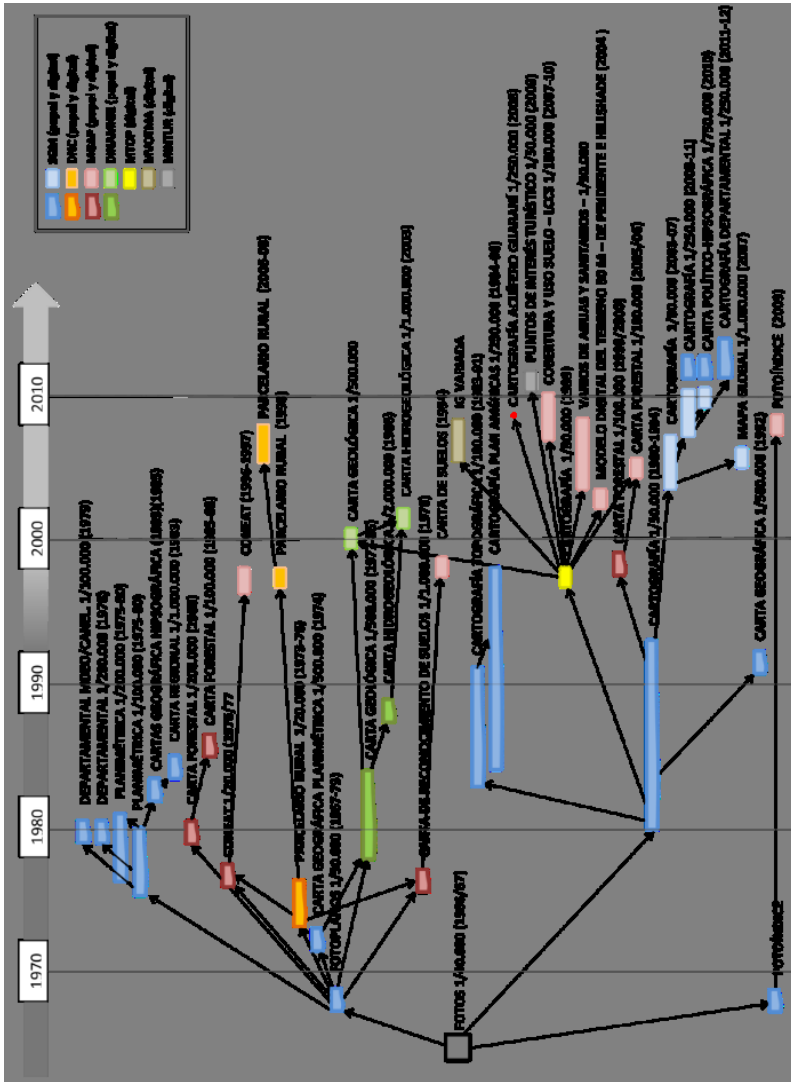


Figura 6. Herencia de la cobertura fotográfica 1:40,000 (1966-1967). Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones

Si nuestro país hubiera dispuesto de una cartografía de calidad y oportuna se hubiera evitado el costo de la mala calidad de 15 millones de dólares que el estado debe pagar de sobrecostos. La opción tomada en 1966-1967 de realizar los vuelos fotogramétricos fue la mejor opción y generó beneficios por muchísimo más de 16 millones de dólares. Si no se hubieran realizado esos vuelos el Costo de Oportunidad tomaría ese valor. Entonces, estos “costos ocultos”, tomados aislada o conjuntamente con un análisis Costo-Beneficio, pueden y deben, por su magnitud e impacto, ser utilizados para la toma de decisiones de inversión en información geográfica.

En conclusión, montos de 5 o 10 millones de dólares para invertir hoy en cartografía parecen más que razonables y oportunos. Podríamos esperar beneficios superiores a 10 o 20 millones de dólares y también evitar los costos de la mala calidad que se están produciendo.

Tendría que definir y asegurarse la sustentabilidad de esta cartografía basándose en ciclos de actualización acordes y financiados.

Hace algunos años, presentando este mismo tema, se comenzó la exposición expresando que la Organización de las Naciones Unidas (ONU) ha dicho que “el desarrollo de un país se mide por el desarrollo de su cartografía” y se finalizó con un proverbio chino que dice “El mejor momento de plantar un árbol fue hace 20 años. El segundo mejor momento es ahora”.

¿No será el momento ahora de que tomemos una buena opción?

Bibliografía

- AGESIC (2013), *Modelo para el análisis de costos y beneficios*, disponible en <http://www.agesic.gub.uy/innovaportal/file/3262/1/modelo_para_el_analisis_de_costos_y_beneficios.pdf>, accedido el 2/10/2014.
- Alem (2013), Parlamento Nacional sesión del 27 de noviembre de 2013, *Palabras del Gerente de Área de la Asesoría Técnico Jurídica de UTE Dr. Alem*, disponible en: <<http://www.parlamento.gub.uy/sesiones/AccesoSesiones.asp?Url=/sesiones/diarios/senado/html/20131127s0060.htm>>, accedido el 2/10/2014.
- Bernabé, M.A. y López-Vázquez, C. (2012), *Fundamentos de las Infraestructuras de Datos Espaciales*, UPM Press, Madrid, España, 596 pp.
- Canas Torres, J.A. (2001), “La cartografía como infraestructura de las infraestructuras: La Cartografía. Infraestructura para la toma de decisiones”, *Revista “El campo de las ciencias y las artes*.
- Carpenters y Snell (2013), Iniciativa de las Naciones Unidas sobre la Gestión Global de la Información Geoespacial, *Tendencias a futuro en la gestión de infor-*

mación geoespacial: La visión de cinco a diez años, UN-GGIM (ed.), Naciones Unidas.

- Climent (2003), *La calidad y su coste como decisiones estratégicas empresariales*, Facultad de Economía, Universidad de Valencia, disponible en: <<http://www.uv.es/~scliment/investigacion/2003/seminario.PDF>>, accedido 2/10/2014.
- Clinton, W. (1994). Presidential Documents, *Orden Ejecutiva 12906 de creación de la NSDI* (EEUU), disponible en: <<http://www.archives.gov/federal-register/executive-orders/pdf/12906.pdf>>, accedido el 2/10/2014.
- CP-IDEA (2011). *Diagnóstico sobre temas relevantes de la gestión de información geoespacial y desarrollo de las Infraestructuras de Datos Espaciales* – IDE en los países de las Américas, disponible en: <<http://www.cp-idea.org/index.php/component/jdownloads/finish/42-9-reunion-cp-idea/245-diagnostico-sobre-temas-relevantes-de-la-gestion-de-informacion-geoespacial-y-desarrollo-de-las-infraestructuras-de-datos-espaciales--ide-en-los-paises-de-las-americas?Itemid=0>>, accedido el 12/10/2014.
- Craun (2010), *Creation of next generation U.S. Geological Survey Topographic Maps*, disponible en: <<http://www.isprs.org/proceedings/XXXVIII/part4/files/Craun.pdf>>, accedido el 2/10/2014.
- FGDC (Federal Geographic Data Committee), 1998, “Geospatial Positioning Accuracy Standards; Part 3: National Standard for Spatial Data Accuracy”, FGDC-STD-007.3, Washington, D.C., 28 pp., disponible en: <<http://www.fgdc.gov/standards/projects/FGDC-standards-projects/accuracy/part3/chapter3>>, accedido el 2014/10/14.
- IBM, Big Data, *What is big data?*, disponible en: <<http://www-01.ibm.com/software/data/bigdata/what-is-big-data.html>>, accedido el 2/10/2014.
- García M.; Quispe C. y Ruez L., (2002). “Costo de la calidad y la mala calidad”, *Revistas UNMSM*, Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Industrial, disponible en: <http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibVirtual/publicaciones/indata/v05_n1/calidad.htm>, accedido el 2/10/2014.
- Konecny et al. (2009). *Economic Considerations for Photogrammetric Mapping*, disponible en: <http://gis.vsb.cz/GIS_Ostrava/GIS_Ova_2009/sbornik/Lists/Papers/067.pdf>, accedido el 2/10/2014.
- López, C. (2013). Curso de “Control de errores en Datos Geográficos”.
- López Fojo (2014). *Costos de calidad. En busca de la calidad de gestión*, Monografía, disponible en: <<http://www.monografias.com/trabajos75/costos-calidad-calidad-gestion/costos-calidad-calidad-gestion2.shtml#ixzz3GbiGUWx>>, accedido el 2/10/2014.
- SAAP UTE (2009), Solicitud de Autorización Ambiental Previa, mayo, disponible en: <http://www.ute.com.uy/pags/institucional/documentos/Tomo1Docs/Tomo%20I_090529_5%20entrega.pdf>, accedido el 2/10/2014.

- Simley (2001). Cartography and Geographic Information Science, *Improving the Quality of Mass Produced Maps*.
- Wikipedia (1), *ISO 8402*, disponible en <http://es.wikipedia.org/wiki/ISO_8402>, accedido el 2/10/2014.
- Wikipedia (2), *Costo de Oportunidad*, disponible en <http://es.wikipedia.org/wiki/Coste_de_oportunidad>, accedido el 2/10/2014.
- Workshop (2006), *Reporte del Workshop Internacional sobre Costo-Beneficio / Retorno de la Inversión en las IDEs*, disponible en: <http://www.ec_gis.org/sdi/ws/costbenefit2006/reports/report_sdi_crossbenefit%20.pdf>, accedido el 2/10/2014.

Acrónimos

- AGESIC. Agencia para el Desarrollo del Gobierno de Gestión Electrónica y la Sociedad de la Información y del Conocimiento.
- B/C. Relación Costo-Beneficio.
- CMC. Costos de la Mala Calidad.
- CP-IDEA. Comité Permanente para la Infraestructura de Datos Geoespaciales de las Américas.
- DINAMIGE. Dirección Nacional de Minería y Geología.
- GNSS. Sistemas de Navegación Global Satelital.
- IDE. Infraestructura de Datos Espaciales.
- IG. Información Geográfica.
- ISO. Organización Internacional de Normalización.
- IVAN – VPN. Inversión.
- LIDAR. Light Detection and Ranging.
- MDT. Modelo Digital del Terreno.
- MGAP. Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca.
- MINTUR. Ministerio de Turismo y Deportes.
- MTOP. Ministerio de Transporte y Obras Públicas.
- MVOTMA. Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente.
- NSSDA. National Standard of Spatial Data Accuracy.
- OTAN.- Organización del Tratado del Atlántico Norte.
- PBI. Producto Bruto Interno.
- ROI. ReturnOverInvestment – Retorno de la Inversión.
- SGM. Servicio Geográfico Militar.
- TC 211. Comité Técnico 211 Información Geográfica/Geomática.
- TCO. Costo Total de Propiedad.
- TIR. Tasa Interna de Retorno.
- UN-GGIM Américas. Comité Regional de las Naciones Unidas sobre la Gestión Global de Información Geoespacial para las Américas.

USGS. U.S. Geological Survey.

VAN. Valor Actual Neto.

VPN. Valor Presente Neto.

Wharton. Es un cero que se ubica a 0,91m por debajo del cero oficial.

MOSA (Mission-Oriented Sensor Arrays): uma nova abordagem para o sensoriamento remoto embarcado em VANT's

Nina Machado Figueira*
Onofre Trindade Junior*
Eduardo do Valle Simões*
Ana Carolina de Sousa Silva**

Recebido el 28 de abril de 2015; aceito el 16 de agosto de 2015

Abstract

The use of Unmanned Autonomous Vehicles (UAV's) is progressively shifting from military missions to civilian applications and becoming a viable alternative for remote sensing and automated thematic mapping. This work presents the concept of Mission-Oriented Sensor Arrays, or MOSA. A MOSA system is composed of a set of sensors and computing devices that are integrated and embedded into an UAV to perform specific missions autonomously, among them, mapping missions. The main objective of a MOSA system is the on-board processing of sensory data, producing real-time, ready-to-use information. MOSA also allows the reduction of information traffic on the often limited communication channel between the aircraft and the ground station. Within the MOSA concept, the aircraft is structured as such: mission control (MOSA) and flight control (autopilot). This increases the robustness of the whole system, since it is only necessary to exchange the MOSA to adapt the UAV to a new mission. In this paper we present a reference architecture and a development methodology for MOSA systems. The specification of a MOSA system applied to the mapping of ground-based sound sources is also presented to illustrate the proposed approach. The modeled MOSA is based on the integration of

* Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação (ICMC) da Universidade de São Paulo, Campus São Carlos, curso de pós-graduação em Ciência da Computação, Av. Trabalhador São-Carlense, 400, Centro, São Carlos, SP; e-mail: nina.figueira@dsg.eb.mil.br; onofre.trindade.junior@gmail.com; simoes@icmc.usp.br

** Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA) da Universidade de São Paulo, Campus Pirassununga, Rua Duque de Caxias Norte, 225, Vila Esperança, Pirassununga, SP, e-mail: anacss@usp.br

data from a thermal imaging sensor and a tridimensional sensor for the localization of sound sources. The positional information provided by the applied sensors are integrated into a single cartographic base. This article aims the presentation of MOSA systems concept, including architecture, design methodology, and a reference application model for the automatic mapping of sound sources.

Key words: *Unmanned Aerial Vehicles (UAV), Mission-Oriented Sensor Arrays (MOSA), automated thematic mapping, embedded processing, sensor data fusion.*

Resumen

El uso de Vehículos Aéreos No Tripulados (UAV, por sus siglas en inglés) ha emigrado gradualmente de la esfera militar al empleo civil, siendo una alternativa viable, versátil en numerosas actividades relacionadas con la teledetección, en particular la relacionada con la generación automática de mapas temáticos. En este trabajo se describe el concepto de matrices de sensores orientados a misión (MOSA—Mission-Oriented Sensor Arrays). Un sistema de MOSA comprende un conjunto de sensores y dispositivos computacionales integrados que pueden ser transportados en un UAV para la realización de misiones específicas autónomas, incluidas las misiones de mapeo. El objetivo principal del sistema MOSA es el procesamiento a bordo de los datos sensoriales, la producción en tiempo real y la información lista para su uso. MOSA también permite la reducción del tráfico de información en el canal de comunicación, a menudo limitada entre la aeronave y la estación terrestre. Dentro del concepto MOSA, el avión se estructura como control de la misión (MOSA) y control de vuelo (piloto automático). Esto aumenta la robustez de todo el sistema, ya que únicamente es necesario un cambio del MOSA para adaptar el UAV a una nueva misión. Así mismo se presenta una arquitectura de referencia y una metodología de desarrollo de sistemas de MOSA. La especificación de un sistema de MOSA aplicada a la cartografía de las fuentes de sonido basados en tierra también se presenta para ilustrar el enfoque propuesto. El MOSA modelado se basa en la integración de los datos de un sensor de imagen térmica y un sensor tridimensional para la localización de las fuentes de sonido. Las informaciones de posición proporcionada por los sensores aplicados están integradas en una sola base cartográfica. Este artículo tiene como objetivo la presentación de MOSA como un concepto de sistemas, incluyendo la arquitectura, la metodología de diseño, y un modelo de aplicación de referencia para la asignación automática de las fuentes de sonido.

Palabras clave: *Vehículos Aéreos No Tripulados, Generación Automática de Mapas Temáticos, matrices de sensores orientados a misión, procesamiento a bordo, integración de datos.*

Resumo

O uso de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT's), têm migrado rapidamente da esfera militar para o emprego civil, mostrando ser uma alternativa viável versátil em inúmeras atividades relacionadas com o sensoriamento remoto, particularmente às relacionadas com a geração automática de mapas temáticos. Em paralelo está em desenvolvimento o conceito de arranjos de sensores orientados à missão, MOSA (*Mission-Oriented Sensor Array*), que é objeto deste artigo. Um sistema MOSA é composto por um conjunto de sensores e dispositivos computacionais integrados que podem ser embarcados em VANT's, visando à realização de missões específicas de forma autônoma, entre as quais, missões de mapeamento. O objetivo mais importante de um sistema MOSA é o processamento a bordo da aeronave dos dados básicos obtidos pelos sensores, produzindo-se em tempo real informação pronta para uso. Sistemas MOSA também permitem a redução do volume de informação que trafega no canal de comunicação existente entre a aeronave e a estação de solo, normalmente com capacidade de comunicação limitada. A aeronave, sob o ponto de vista do conceito MOSA é estruturada em: controle de missão (MOSA) e o controle de voo (piloto automático). Isso aumenta a segurança de todo o sistema, uma vez que, para adaptar o VANT a uma nova missão, basta substituir o sistema MOSA existente. Neste trabalho, é apresentada uma arquitetura de referência de sistemas MOSA e uma metodologia de desenvolvimento para esta classe de sistemas. É descrita a especificação de um sistema MOSA para uso no mapeamento de fontes sonoras em solo para esclarecer detalhes da abordagem proposta. O MOSA modelado nesta aplicação é baseado na integração de dados provenientes de um sensor de imageamento termal e um sensor tridimensional para localização de fontes sonoras. Um dos aspectos importantes é a integração das informações de posicionamento providas pelos sensores utilizados em uma base cartográfica única. Este trabalho foca na apresentação do conceito de sistemas MOSA, incluindo arquitetura, metodologia de desenvolvimento e a modelagem de uma aplicação de referência, representada pelo sistema de mapeamento automático de fontes sonoras.

Palavras chave: *Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT's), Mission-Oriented Sensors Arrays (MOSA), Mapeamento temático automatizado, Processamento embarcado, fusão de dados de sensores.*

Introdução

O sensoriamento remoto é a arte, a ciência e a tecnologia empregadas para obter, sem contato físico, informações confiáveis sobre o ambiente e os objetos físicos presentes, através do registro, interpretação de imagens e representações digitais dos padrões de energia obtidos por sistemas sensores. A fotogrametria é a forma de

sensoriamento remoto mais antiga, sendo que usa principalmente imagens aéreas obtidas de aeronaves para fins de geração de mapeamento topográfico, com base em um arcabouço próprio para medições tridimensionais, embora antes do advento das imagens óticas de satélites, tivesse também como atividade fim a geração de mapas temáticos, através da fotointerpretação.

A relação estabelecida entre o sensoriamento remoto e o processo de representação gráfica é iniciada no momento da aquisição de imagens da superfície, compondo a base que possibilita a construção de mapas e produtos cartográficos em geral. As diversas formas de mapeamento tais como ortofotos, mosaicos, cartas topográficas, mapas temáticos, modelos digitais de elevação, entre outras, são fundamentais para o planejamento e controle de atividades civis e militares.

O termo UAV (Unmanned Aerial Vehicle) foi adotado pela FAA (Federal Aviation Administration) e pela comunidade acadêmica internacional para designar sistemas que incluem não apenas os aviões, mas todos os elementos associados, tais como a carga útil (*payload*), a estação de controle terrestre (Ground Control Station—GCS) e os *links* de comunicação (GAO, 2008). No Brasil esses sistemas são conhecidos como VANT's, ARP's (Aeronaves Remotamente Pilotadas) ou vulgarmente denominados Drones. Um VANT pode operar por um longo período de tempo sem a intervenção de um operador humano. Os VANT's têm sido amplamente utilizados como plataformas nas quais são embarcados sensores de altitude, vídeo e imagens, caracterizando uma forma relevante de aquisição de informações geográficas.

Existem diferentes tipos de VANT's apresentando diferentes capacidades. Algumas aeronaves podem voar de forma autônoma, seguindo uma trajetória de voo pré-programada (baseada em um *grid* ou uma sequência de *way points*) (Trindade *et al.*, 2010), enquanto outras voam recebendo comandos de pilotos humanos a partir da GCS. De acordo com a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) atualmente, por questões de segurança do tráfego aéreo, não é permitido realizar voos autônomos além da linha de visada com a GCS. O piloto na GCS deve estar em condições de assumir o voo manual no caso de haver incidentes que comprometam a segurança da operação, na maioria dos casos o processamento dos dados é realizado em escritório. Já no cenário militar as GCS's (além de controlar a missão) são dotadas de sistemas de inteligência e auxílio à tomada de decisão que são capazes de processar dados recebidos e gerar quadros situacionais inteligentes em tempo real. O tamanho da aeronave pode variar bastante e a GCS pode ser implementada em *smartphones*, *tablets*, *notebooks* ou redes de estações de controle em solo. A aeronave pode variar não apenas em tamanho, mas também na forma, no tipo de propulsão e no desempenho.

Muitos artigos relacionados a VANT's, encontrados na literatura, apresentam sistemas que utilizam abordagens tradicionais (OSD, 2002; OSD, 2005; OSD,

2009a; OSD, 2009b, Valavanis, 2007, Trindade *et al.*, 2002). Outros documentos procuram prever os avanços esperados para os VANT's nos próximos anos e são publicados periodicamente por organizações militares, como a Força Aérea dos Estados Unidos (USAF, 2009).

Os VANT's devem popular nos próximos anos uma boa parte do espaço aéreo para a realização de diferentes missões civis, desde o monitoramento agrícola e ambiental, passando por inspeções de fronteira e defesa pública até o transporte automático de cargas. Esse uso crescente dos VANT's tem contribuído fortemente para a sua popularização, passando a ser comercializados de forma mais ampla.

A geração de informações processadas, a partir dos dados brutos coletados pelos sensores, é a principal tarefa em aplicações civis. Este processamento geralmente é realizado no escritório, por pessoal treinado utilizando algoritmos específicos para a o mapeamento. Na maioria dos casos existe inspeção manual dos dados, mas nem sempre é possível alcançar os requisitos de resolução temporal, em virtude dos sistemas não contemplarem o processamento de dados em tempo real para a aplicação desejada. Um bom exemplo é o processamento de dados para aplicativos de gerenciamento agrícola, onde a detecção de doenças e pragas deve gerar mapas temáticos e de aplicativos dentro de um intervalo de tempo específico, caso contrário, a cultura pode ser seriamente comprometida. Vale a pena notar que o ciclo de vida de culturas anuais, como a soja, se estende por apenas três meses a cada ano e qualquer ação corretiva deve ser feita poucos dias após a coleta de dados.

A arquitetura MOSA proposta neste trabalho tem o potencial de fornecer informações processadas para utilização imediata (pronto emprego), reduzindo a necessidade de mão de obra especializada na ECS. Além disso, essa arquitetura também visa reduzir ou eliminar as exigências sobre os canais de comunicação utilizados para o transporte de dados em tempo real entre a aeronave e a ECS, tais como imagens de alta resolução. No exemplo da agricultura de precisão, mapas temáticos requerem muito menos memória e consequente banda do canal de comunicação do que os dados sensoriais (normalmente imagens), utilizados na sua geração.

A geração automática de mapas, a partir de dados adquiridos por arranjos de sensores MOSA, exige a utilização de conhecimentos provenientes de diversas disciplinas notadamente os Sistemas de Computação e fotogrametria. Neste trabalho, apresenta-se uma proposta de como integrar essas áreas, dentro da arquitetura proposta para os sistemas MOSA. São apresentadas a arquitetura MOSA e a definição dos principais aspectos do sistema através de um modelo e uma implementação de referência. As técnicas propostas neste trabalho facilitarão o desenvolvimento de aplicações automatizadas de VANT's, permitindo que esses veículos possam ser inseridos e incorporados mais facilmente no espaço aéreo e

contribuindo para a sua disseminação. Nesse sentido serão apresentados nas seções seguintes: uma seleção de trabalhos relacionados com a pesquisa em questão; uma introdução ao modelo e à arquitetura MOSA; a metodologia de desenvolvimento de um MOSA; uma proposta de modelagem para um MOSA no contexto do monitoramento ambiental; as conclusões e os trabalhos futuros.

Trabalhos relacionados

Diversos trabalhos têm utilizado sensores embarcados em VANT's para a produção de mapas e outras formas de representação de informações prontas para o usuário ou aplicação fim. Muitas dessas incorporam etapas de processamento automático ou semiautomático (supervisionado), feito a bordo da aeronave, como proposto em etapas que compõe a construção de sistemas MOSA. Essas iniciativas, entretanto, não contemplam uma arquitetura ou uma organização geral de *hardware* e *software* para facilitar a implementação de novas aplicações.

A quantidade de trabalhos relacionados que pode ser encontrada é bastante grande, refletindo o interesse cada vez maior no emprego de VANT's em aplicações civis. Nos parágrafos abaixo menciona-se alguns destes trabalhos, considerados representativos, com uma breve descrição dos seus objetivos e resultados obtidos. Nenhum dos referidos trabalhos pode ser considerado um MOSA, no entanto servem como referência para alguns dos blocos que compõe a totalidade do sistema.

Fusão de dados de multissensores

Sistemas multissensores vem sendo utilizados tanto para mapeamento de ambientes (Abielmona *et al.*, 2010) como para detecção e classificação de atividades humanas (Ugolotti *et al.*, 2013). Turolla *et al.* (2004) desenvolveram um método para o rastreamento de objetos utilizando múltiplas câmeras de vídeo em aplicações de vigilância utilizando fusão de dados. Li Ying-cheng *et al.* (2011) utilizaram fotografias aéreas adquiridas por um VANT para realizar o mapeamento topográfico de uma ilha.

Nagai *et al.* (2009) desenvolveram um sistema de mapeamento tridimensional a partir da integração de multissensores embarcados em VANT's. Polychronopoulos *et al.* (2006) apresentaram um trabalho sobre fusão de dados em plataformas multissensores para a percepção de áreas utilizando um algoritmo de fusão que oferece novas soluções para o problema do gerenciamento de espaços e percepção de largura. Molina *et al.* (2012) e (2013) discutiram os desafios técnicos e operacionais do uso combinado de visão térmica e óptica (infravermelho e visível) para o reconhecimento de pessoas. Com base na análise da qualidade geodésica e no uso do sistema EGNO's (European Geostationary Navigation Overlay Service) foi possível obter uma estimativa realista e precisa da posição de pontos de

interesse no terreno. Foi desenvolvida uma plataforma computacional reconfigurável visando aplicações de baixo custo.

Klausner *et al.* (2006) demonstraram o potencial de combinar fusão multissensorial à computação embarcada em tempo real. No que se refere ao processamento embarcado de imagens tem-se desafios como complexidade dos algoritmos, o volume dos dados processados e limitações para a transmissão desses dados. Um sistema de processamento embarcado de imagens deve conciliar uma solução para os problemas mencionados com um baixo consumo de energia. Mejías *et al.* (2007) fez um levantamento do estado da arte em processamento embarcado de imagens.

Processamento embarcado de dados

Grigoriou, Dollas e Bourbakis (2012) apresentaram uma arquitetura de *software* reconfigurável para a segmentação de cores em sistemas embarcados utilizando o método FRS (Fuzzy Like Reasoning). O método foi escolhido devido ao bom desempenho em aplicações envolvendo: detecção de face, detecção de movimento e reconhecimento automático de alvos.

Kealy *et al.* (2013) apresentam um estudo sobre navegação cooperativa (ou colaborativa) utilizando diferentes plataformas de sensores de posicionamento e de localização com precisão diferentes para o compartilhamento de localizações absolutas e relativas. Esse é um cenário típico de aplicação para: deslocamento de tropas no terreno, enxames de VANT's, equipes de robôs e equipes de emergência.

Mapeamento móvel

Yi Lin *et al.* (2013) propõem um estudo no qual apresentam o desenvolvimento de um novo sistema para o Sensoriamento Remoto, o AGRS (Air-Ground Remote Sensing), visando o levantamento de pontos de interesse. O trabalho consiste basicamente em associar o AGRS a imagens de um sistema de mapeamento móvel (Mobile Mapping System — MMS) a bordo de um VANT.

Hruska *et al.* (2005) apresentam um fluxo de trabalho/arquitetura para o processo de aquisição de imagens georreferenciadas de alta resolução utilizando pequenos VANT's, incluindo o planejamento inicial da missão, a seleção e a integração dos sensores, a coleta, o processamento e a análise das imagens visando a obtenção de informações geográficas para o mapeamento topográfico.

Zhang e Kovacs (2012) realizaram uma revisão de trabalhos envolvendo a utilização de pequenos VANT's na agricultura de precisão. Os resultados destes estudos indicam que, para proporcionar um produto final confiável para os agricultores, são necessários: avanços no projeto das plataformas de aquisição, análise de detalhes técnicos da produção, padronização no georreferenciamento e mosaicação de imagens.

Choi e Lee (2013) desenvolveram um algoritmo de triangulação aérea sequencial para o georreferenciamento direto em tempo real de sequências de imagens adquiridas por um sistema multissensor aerotransportado. Este algoritmo pode ser utilizado para aplicações que requerem georreferenciamento de imagens em tempo real, tais como no monitoramento de desastres e na navegação baseada em imagens.

Li-Chee-Ming e Armenakis (2012) introduziram um sistema de mapeamento estéreo móvel (MSMS — Mobile StereoMapping System), utilizando VANT's, projetado para a navegação rápida e coleta de dados espaciais tridimensionais por meio de georreferenciamento direto e integração de multissensores.

Sistemas MOSA – Conceitos e Arquitetura

Arquitetura é uma estrutura que identifica, define e organiza componentes (Shaw e Garlan, 1996). O relacionamento e os princípios de projeto dos componentes, funções e interface estabelecidas entre os subsistemas também podem ser definidos por uma arquitetura. Um modelo de referência para uma arquitetura é uma estrutura onde as entidades, relacionamentos e unidades de informação envolvidos nas interações entre e dentro dos subsistemas e componentes são definidos e modelados. Em resumo, é um modelo que incorpora o objetivo básico ou a ideia do sistema e pode ser considerado como uma referência para várias finalidades (Shaw e Garlan, 1996).

A Figura 1 mostra a proposta de diagrama funcional simplificado da arquitetura MOSA e o inter-relacionamento entre os componentes do sistema. O diagrama pode variar em complexidade e número de componentes, dependendo de cada aplicação em particular.

Diversos sensores podem integrar um sistema MOSA. Os dados provenientes desses sensores inicialmente são adquiridos e pré-processados por módulos específicos de *hardware* e/ou *software*. Estes dados podem sofrer processamento adicional em módulos especializados que são utilizados na geração de informações úteis como saída do sistema.

Fontes de dados internas podem estar presentes em sistemas MOSA. Entre essas, citam-se os dados provenientes de unidades inerciais, dados de posicionamento provenientes de receptores GPS e dados previamente armazenados em uma base de dados local, como por exemplo, modelos digitais de elevação do terreno (DTM — Digital Terrain Model).

Todos os dados disponíveis podem ser combinados no módulo de “Fusão de Dados e Controle da Missão”, gerando resultados finais, p. ex., coordenadas de elementos de interesse para a construção de mapas temáticos, que podem ser armazenados na base de dados local e transmitidos para a estação de controle de terra através de serviços de comunicação providos pela aeronave.

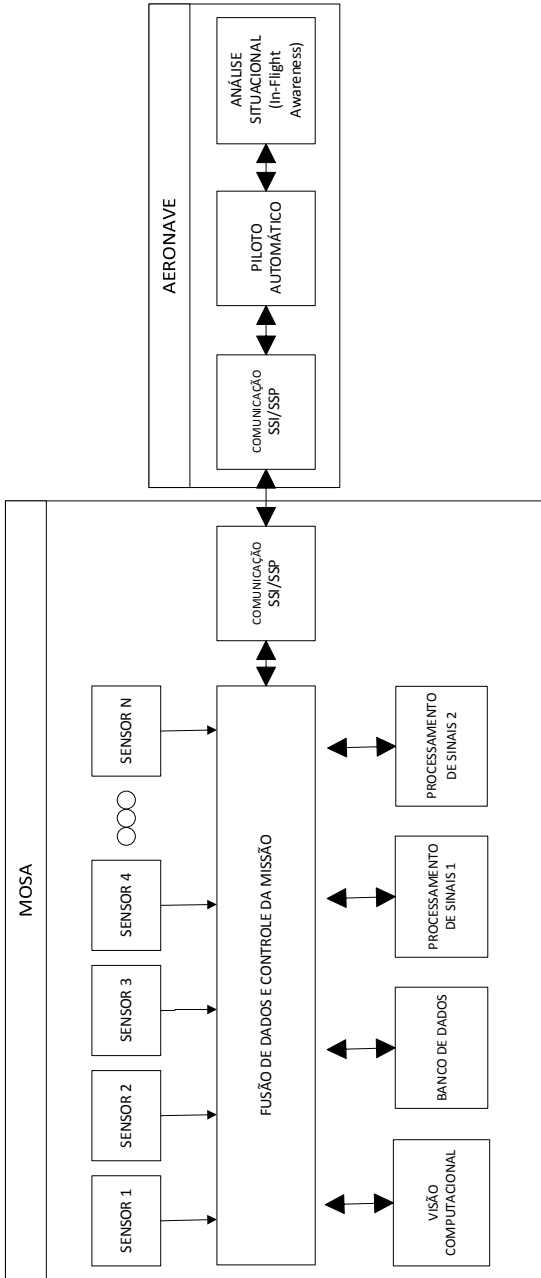


Figura 1. Diagrama funcional da arquitetura de um sistema MOSA.

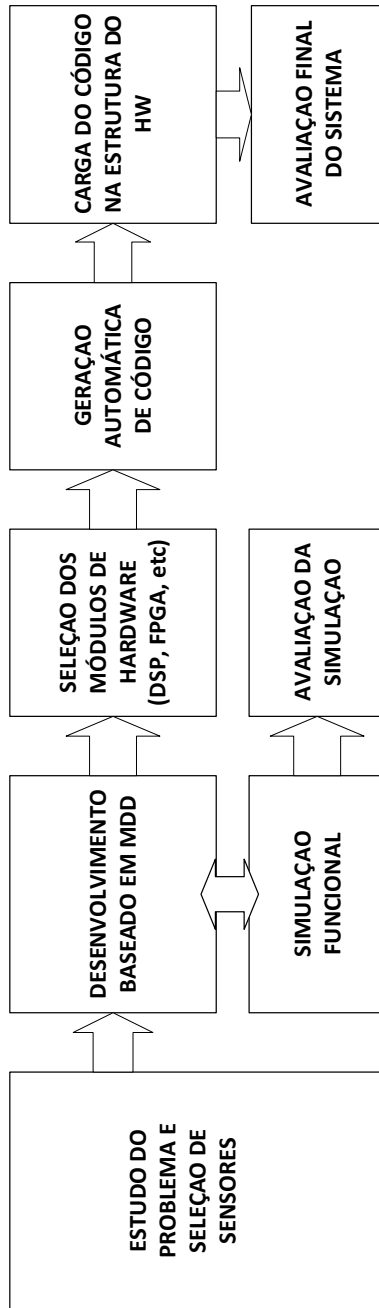


Figura 2. Fluxo de desenvolvimento de um MOSA.

Para comunicar-se com a aeronave, o MOSA utiliza uma interface padrão, denominada SSP/SSI (Smart Sensor Protocol/Smart Sensor Intertace) SSP é o protocolo de comunicação utilizado enquanto SSI é a interface que permite que o sistema MOSA possa utilizar diversos serviços providos pela aeronave, notadamente os serviços de transporte (voo) e de comunicação com a estação de controle em solo. A Figura 1 ilustra este relacionamento.

Conceitualmente é possível utilizar sistemas MOSA em diferentes aeronaves, o que depende apenas das interligações de tecnologias em uma arquitetura flexível. O protocolo deve utilizar mecanismos *plug-and-play* para determinar se a aeronave é ou não capaz de realizar uma determinada missão. Por exemplo, em uma missão específica pode ser necessária autonomia muito grande ou maior estabilidade de voo, entre outros fatores limitantes. O sistema MOSA deve ser capaz de determinar se a missão prevista pode ou não ser realizada, de forma plena ou parcial.

Materiais e Métodos para o desenvolvimento de um MOSA

O MOSA integra vários sensores, módulos de *hardware/software* e *hardware* de comunicação. Seus principais componentes são:

- *Hardware*: sistema modular e configurável dispondo de sensores específicos para a missão e diferentes níveis de processamento de sinais/dados, dependendo da missão pretendida. Pode incluir componentes de *hardware* programável baseado em FPGA (Field Programmable Gate Arrays);
- *Software*: Componentes de *software* desenvolvidos com metodologia MDD (Model Driven Development). Embora existam diversos ambientes de desenvolvimento baseados em MDD, o Matlab Simulink® (MathWorks Inc., R2013b) tem sido utilizado nas primeiras aplicações. As principais bibliotecas utilizadas são a de processamento de sinais e imagens, visão computacional e mapeamento, além de blocos básicos, com capacidade de geração automática de código.

A configuração de *hardware* e *software* de um sistema MOSA varia de acordo com a necessidade de cada missão. Para desenvolver uma nova aplicação, é proposta a sequência de etapas ilustrada na Figura 2.

A metodologia de desenvolvimento segue a Prolices, definida em Braga *et al.* (2011). Recomenda-se, para melhor entendimento do contexto de desenvolvimento a leitura desta referência citada. As etapas do fluxo de desenvolvimento apresentadas na Figura 2 são descritas nos itens seguintes:

- I. Estudo do problema e seleção de sensores: nessa etapa é realizada a especificação e projeto do sistema MOSA compreendendo o levantamento de

requisitos, seleção e verificação das características de cada tipo de sensor a ser utilizado, o plano de voo, busca por documentos cartográficos além de informações político-sociais referentes à área de interesse.

Entradas:

- Estudo do terreno (onde será executada a missão?);
- Requisitos da missão;
- Especificações técnicas da aeronave;
- Especificação de múltiplos sensores (sonares, radares, visíveis, lasers);
- Normas de operação;
- Manuais, avisos, documentos cartográficos;
- Previsões climáticas;
- Natureza dos sinais e dos alvos,
- Resoluções espaciais, radiométrica e temporal da aquisição dos alvos;
- Escala do mapa temático;
- Finalidade de missão.

Saídas:

- Definição dos sensores;
- Plano de voo;
- Especificações da missão (alvos, tipo de mapa temático a ser produzido, resolução temporal da aquisição);
- Métrica utilizada para avaliar o sistema.

II. Desenvolvimento do sistema baseado em Model Driven Development (MDD): no desenvolvimento orientado a modelos, um DFD (Diagrama de Fluxo de Dados) é construído onde são definidos inicialmente, com base nos requisitos da missão, os blocos de processos que serão utilizados na solução do problema. Em seguida é feita a decomposição dos blocos, de forma hierárquica e incremental, até o nível das funções básicas necessárias à execução de cada bloco. As funções básicas são selecionadas dentro da taxonomia de funções básicas desenvolvida para sistemas MOSA (Braga *et al.*, 2011). Alguns dos blocos podem ser especificados utilizando-se máquinas de estados finitos, que facilitam o projeto de blocos com comportamento reativo ou de tempo real. Alguns blocos podem ser especificados em linguagem Matlab, diretamente, quando isso for conveniente. É possível também o encapsulamento de código desenvolvido em outra linguagem e outras metodologias.

Entradas:

- Especificações da missão e do voo.

Saídas:

- Modelos;
- Fluxogramas;
- Estado de máquinas finitas;

- Taxonomias de blocos de funções.

III. Simulação funcional: essa etapa tem por objetivo validar funcionalmente o sistema através da simulação do mesmo no ambiente Simulink.

Entradas:

- Modelos;
- Fluxogramas;
- Estado de máquinas finitas;
- Taxonomias de blocos de funções.

Saídas:

- Modelo Simulink;
- Requisitos de HW.

IV. Seleção dos módulos de hardware: além da verificação funcional do sistema, a simulação pode fornecer dados de desempenho que podem nortear a partição hardware/software e podem servir de apoio para a seleção da potência computacional dos módulos de processamento utilizados. Neste sentido, blocos funcionais podem ser mapeados em processos dentro de módulos de processamento enquanto sistemas que demandam alta potência computacional podem ser mapeados em módulos de hardware específicos, eventualmente implementados utilizando-se FPGA's (Field Programmable Gate Arrays);

Entradas:

- Modelo Simulink;
- Requisitos de HW.

Saídas:

- Seleção dos HW.

V. Geração automática de código: os algoritmos especificados pelo DFD do sistema e as outras técnicas de especificação mencionadas podem dar origem, de forma automática, aos códigos que serão executados nos módulos de processamento. Módulos de hardware também podem ser gerados automaticamente por este procedimento, utilizando-se código gerado em Linguagens de Descrição de Hardware tal como VHDL e Bluespec;

Entradas:

- Modelos Simulink;
- Seleção dos HW.

Saídas:

- Código gerado automaticamente.

VI. Carga do código na estrutura do hardware: uma vez carregado no hardware, o código pode ser avaliado utilizando-se a técnica de hardware-in-the-loop (Braga *et al.*, 2011). Essa técnica permite a avaliação do sistema em solo, evitando-se os riscos associados com os testes em voo. O ambiente Matlab/Simulink pode

ser utilizado nesta etapa para a geração/simulação das entradas e saídas correspondentes aos sensores e ao protocolo SSP;

Entradas:

- Código gerado automaticamente.

Saídas:

- Hardware implementado com o código proposto.

VII. Avaliação final do sistema: por ser tratar de um sistema embarcado, os testes finais de aceitação do sistema devem ser realizados nas condições reais de utilização, neste caso específico, com a realização de missões aéreas especificamente planejadas.

Entradas:

- Protótipo do sistema,
- Estudo de caso;
- Dados de referência.

Saídas:

- PSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio);
- PEC (Padrão de Exatidão Cartográfica);
- RMSE (Root-Mean-Square Error).

Exemplo de Sistema MOSA – Mapeador Automático de Fontes Sonoras

A atividade de monitoramento ambiental consiste na realização de medições e/ou observações específicas, dirigidas a indicadores e parâmetros, com a finalidade de verificar se determinados impactos estão ocorrendo, podendo ser dimensionada sua magnitude e avaliada a eficiência na adoção de eventuais medidas preventivas e corretivas (Bitar e Ortega, 1998). Segundo Machado (1995), a elaboração de um registro dos resultados do monitoramento ambiental (uso do solo, análise do comportamento animal, catástrofes, etc) é de fundamental importância para o acompanhamento da situação e auxílio a tomada de decisão em todas as esferas de nossa sociedade.

Muitas são as atividades de monitoramento ambiental que atualmente demandam soluções diferenciadas que vão além da aquisição de imagens. No sentido de complementar e enriquecer as informações fornecidas pelas câmeras convencionais (fotográfica e vídeo) é proposta a utilização de sensores acústicos.

O exemplo de MOSA apresentado nessa seção integra o processamento de sons, imagens, coordenadas, ângulos de atitude das plataformas de aquisição e dados de referência visando à identificação e a classificação automática de alvos. A Figura 3 mostra um diagrama de blocos da proposta de um sistema para o mapeamento automático de fontes sonoras em solo no contexto do monitoramento ambiental (detecção de caçadores e atividades ilícitas).

MAPEADOR AUTOMÁTICO DE FONTES SONORAS

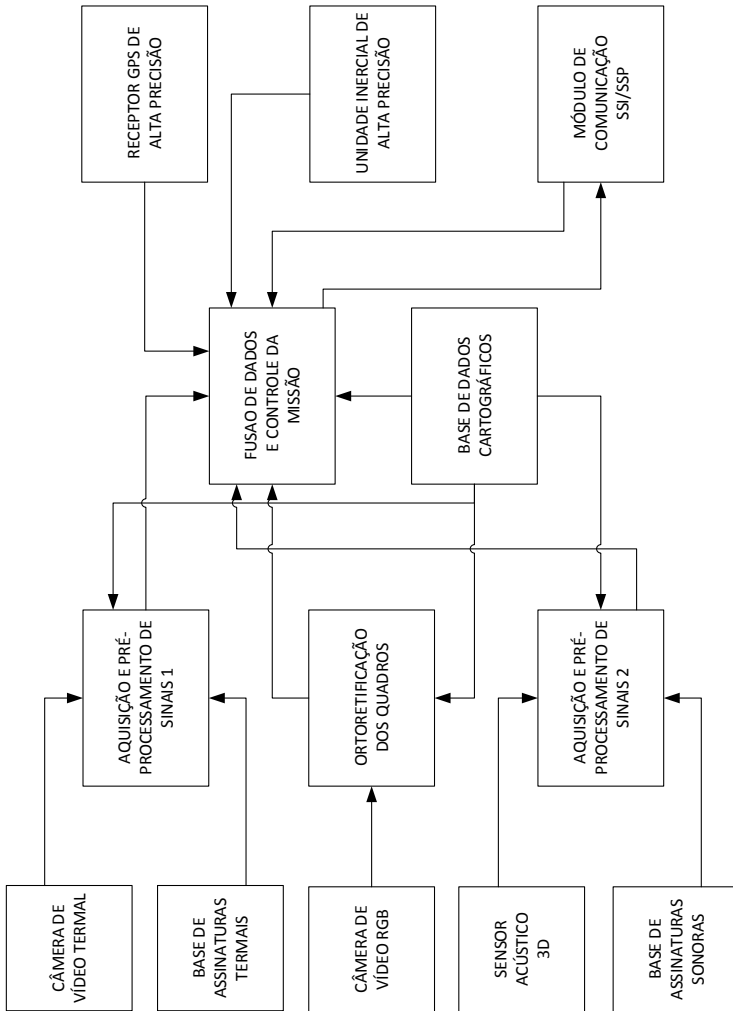


Figura 3. Proposta de implementação para um Mapeador Automático de Fontes Sonoras.

A modelagem ilustrada na Figura 3 foi proposta com base nas etapas de desenvolvimento de um MOSA (Figura 2), sendo composta pelos seguintes blocos:

- Sensores: câmera de vídeo termal, câmera de vídeo RGB, unidade inercial de alta precisão e receptor GPS de alta precisão;
- Bases de assinaturas termais: visam o reconhecimento automático de padrões/classificação de imagens térmicas;
- Base de assinaturas acústicas: visam o reconhecimento automático de padrões sonoros/classificação;
- Aquisição e pré-processamento de sinais 1: processamento básico das imagens termais incluindo correções radiométricas e geométricas;
- Aquisição e pré-processamento de sinais 2: processamento básico dos arquivos de áudio incluindo filtros de ruídos;
- Base de dados cartográficos: contém os documentos de referência necessários ao georreferenciamento direto aos demais processos;
- Ortorectificação dos quadros: corrige as distorções devido ao relevo através de modelos de elevação e outros documentos cartográficos de referência;
- Fusão de dados e controle da missão: integra os dados de diferentes sensores utilizando técnicas específicas, tais como filtros de Kalman e redes neurais artificiais. O controle da missão é capaz de alterar rotas em função das informações obtidas por meio da fusão de dados para que a missão possa ser adaptativa a situações atuais do cenário sobrevoado;
- Módulo de comunicação: realiza a conexão entre o MOSA e a aeronave (SSI/SSP).

Conclusão e trabalhos futuros

Este trabalho apresentou o conceito MOSA, sob um ponto de vista arquitetural, como um sistema integrado de informações para o sensoriamento remoto. O sistema incorpora *hardware* e *software* necessários para processar os dados brutos coletados por um conjunto de sensores que interagem entre si de maneira inteligente. A ideia principal é produzir em tempo real, informação geográfica e temática de pronto emprego, transmitida através de canais de comunicação de baixa largura de banda para uma estação de solo. Em solo, na ECS, um Sistema de Informação Geográfico poderia ser usado para produzir mapas temáticos derivados.

A arquitetura do MOSA é apresentada para destacar a integração de todos os conceitos envolvidos neste trabalho. A composição se dá através de mecanismos *plug-and-play*: SSP/SSI (Smart Sensor Protocol/Smart Sensor Intertace, permitindo troca de informação otimizada entre o MOSA e aeronave. Aeronave e MOSA comunicam-se durante a inicialização do sistema, trocando os requisitos da missão

e parâmetros de voo (altitude, alcance, performance etc.), a fim de definir a viabilidade (total ou parcial) da missão.

São apresentadas e discutidas as etapas de desenvolvimento e a modelagem de referência de um MOSA concebido no contexto do monitoramento ambiental, no qual dados acústicos e ter mais são integrados para a obtenção de um mapa temático que reflita um quadro situacional inteligente da área de interesse sobrevoada.

Trabalhos futuros incluem testes de voo para validar aspectos de desempenho. Estes testes podem sugerir algumas mudanças no DFD proposto. Os primeiros resultados incentivam o desenvolvimento mostrando que o emprego de MOSA's pode representar um grande passo para uma melhor usabilidade de VANT's em sensoriamento remoto.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Instituto de Ciências Matemáticas e Computação da Universidade de São Paulo (ICMC-USP) e ao Exército Brasileiro.

Bibliografia

- Abielmona, R.S. *et al.* (2010). "Distributed intelligent sensor agent system for environment mapping", *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, Springer-Verlag, 1(2), 95-110.
- Bitar, O.Y. e Ortega, R.D. (1998). "Gestão Ambiental", in Oliveira, A.M.S., Brito, S.N.A. (Eds.), *Geologia de Engenharia*, São Paulo, Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE), cap. 32, 499-508.
- Braga *et al.* (2011). "Prolices: An approach to develop product lines for safety-critical embedded systems", in XXXVII Latin-American Informatic Conference (CLEI XXXVII), 1-16.
- Choi, K e Lee, I. (2013). "A sequential aerial triangulation algorithm for real-time georeferencing of image sequences acquired by an airborne multi-sensor system", *Remote Sensing*, 5, 57-82.
- GAO, U.S. Government Accountability Office (2008). "Unmanned aircraft systems - federal actions needed to ensure safety and expand their potential uses within the national airspace system", GAO-08-511.
- Grigoriou, C.; Dollas, A. e Bourbakis, N.G. (2012). "An embedded software-reconfigurable color segmentation architecture for image processing systems", *Microprocessors and Microsystems - Embedded Hardware Design*, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, The Netherlands, 36(3), 215-231.

- Hruska, R.C. *et al.* (2005). “Small UAV-acquired, high-resolution, georeferenced still imagery”, in AUVSI’s Unmanned Systems North America, Proceedings... Idaho Nacional Laboratory (INL—US Energy Department), 837-840.
- Kealy *et al.* (2013). “Collaborative navigation field trials with different sensor platforms”, Workshop on Positioning Navigation and Communication (WPNC), 10th, Proceedings... IEEE, 1-6.
- Klausner, A.; Rinner, B. and Tengg, A. (2006) “I-SENSE: Intelligent Embedded Multi- Sensor Fusion”, in International Workshop on Intelligent Solutions in Embedded Systems, Vienna, Proceedings... IEEE, 1-12.
- Li-Chee-Ming, J. and Armenakis, C. (2012). “Introduction to a portable stereo mapping system for unmanned vehicles”, *Geomatica*, 66(4), 323-332.
- Li Ying-cheng; Ye Dong-mei; Ding Xiao-bo; Teng Chang-sheng ; Wang Guang-hui and Li Tuan-hao (2011). “UAV Aerial Photography Technology in Island Topographic Mapping”, Image and Data Fusion (ISIDF), International Symposium, 1-4.
- Machado, P.A.L. (1995). “Direito ambiental brasileiro”, 5a. ed. São Paulo, Malheiros Editores, 696 pp.
- Mejías, L.; Mondragón, I.; Correa, J.F.; Campoy, P. (2007). “Colibri: Vision-guided helicopter for surveillance and visual inspection”, in Video Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation, Proceedings... Rome, Italy, April, 2760-2761.
- Molina, P. *et al.* (2012). “Searching lost people with UAV’s: the system and results of the CLOSE-SEARCH project”, in Congress of The International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 22nd, Melbourne, Australia, 2012. Proceedings... International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 39(B1), 441-446.
- Molina, P. *et al.* (2013); “Navigation and Remote Sensing payloads and methods of the SARVANT Unmanned Aerial System”, *Internacional Archieves of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information*, XL-1-W2, 275-280.
- Nagai *et al.* (2009). “UAV-Borne 3-D Mapping System by Multisensor Integration”, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing Society, 47(3), 701-708.
- OSD, Office of the Secretary of Defense (2002). “UAV Roadmap 2002-2027”, (Acquisition, Technology, and Logistics) Air Warfare.
- OSD, Office of the Secretary of Defense (2005). “Unmanned Aircraft Systems Roadmap 2005-2030”. (Acquisition, Technology, and Logistics) Air Warfare.

- OSD, Office of the Secretary of Defense (2009a). “Unmanned Systems Roadmap 2007-2032”, (Acquisition, Technology, and Logistics) Air Warfare.
- OSD, Office of the Secretary of Defense (2009b). “Unmanned Systems Integrated Roadmap FY2009-2034”, (Acquisition, Technology, and Logistics) Air Warfare.
- Polychronopoulos, A. *et al.* (2006). “Data fusion in multi sensor platforms for wide-area perception”, in Intelligent Vehicles Symposium, Proceedings... IEEE, 412-417.
- Shaw, M., Garlan, D.; (1996). “Software Architecture. Perspectives on an Emerging”, Discipline, Prentice Hall.
- Trindade Jr., O., Neris, L.O., Barbosa, L., and Branco, K.R.L.J.C. (2010). “A Layered Approach to Design Autopilots”, in IEEE-ICIT 2010 International Conference on Industrial Technology, Viña del Mar. IEEE-ICIT 2010 International Conference on Industrial Technology. Santiago, Chile: IEEE Press, vol. 1., 1395-1400.
- Trindade Jr., O.; Barbosa, Neris, L.C.P.; L. O. and Jorge, L.A.C. (2002). “A Mission Planner and Navigation System for the ARARA Project”. in ICAS - 23rd International Congress of Aeronautical Sciences, Toronto.
- Turolla, A.; Marchesotti, L. and Regazzoni, C.S. (2004). “Multicamera object tracking in video surveillance applications”, in Target Tracking, *Algorithms and Applications*, IEE. Proceedings... IEEE, 85-90.
- Ugolotti, R. *et al.*; (2013). “Multi-sensor system for detection and classification of human activities”. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*. Springer-Verlag, 4(1), 27-41.
- USAF —United States Air Force Washington DC. (2009). “United States Air Force Unmanned Aircraft Systems Flight Plan 2009-2047”.
- Valavanis, K.P. (2007). “Advances in Unmanned Aerial Vehicles: State of the Art and the Road to Autonomy”, *International Series on Intelligent Systems, Control, and Automation: Science and Engineering*, vol. 33.
- Yi Lin *et al.* (2013). “Development of a UAV-MMS-Collaborative Aerial-to-Ground Remote Sensing System – A Preparatory Field Validation”. *Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*. IEEE, 6(4), 1893-1898.
- Zhang C. and Kovacs, J.M. (2012). “The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: A review”, *Precision Agriculture*, 13(6), 693-712.

Localización y estudio subpíxel del Volcán de Colima, México, en una imagen NOAA

José Miguel Gaspar Soriano*

Recibido el 1 de abril de 2015; aceptado el 16 de agosto de 2015

Abstract

This article describes the processes involved for the location of the Volcano of Colima in a NOAA satellite image by subtraction between the band T3 and T4 to calculate the effective temperature of the hot point and locate the pixel containing the volcano, after converting the digital values to temperature. Once the pixel is detected, the image is transformed by different interpolation methods and incorporating a DTM (Digital Terrain Model) to check its subpixel location in a NOAA image. This study provides a better understanding of the area and more precise studies of volcanic risks, thus serving as a basis for further analysis applied to environmental studies

Key words: *Volcano of Colima, subpixel, DTM, effective temperature, NOAA.*

Resumo

Este artigo descreve o processo que foi realizado durante a localização do Vulcão de Colima em uma imagem de satélite NOAA, mediante a subtração da banda T3 e T4 para calcular a temperatura efetiva do ponto de calor e localizar o píxel que contém o vulcão e depois converter os valores digitais em valores de temperatura. Uma vez detectado o píxel se transforma a imagem mediante diferentes métodos de interpolação e incorpora-se un MDT (Modelo Digital de Terreno) para comprovar sua localização a nível subpíxel. Este estudo proporciona un melhor conhecimento da zona e estudos de riscos vulcânicos mais precisos, servindo assim de base para posteriores análises aplicadas a estudos de meio ambiente.

Palavras chave: *Vulcão de Colima, MDT, subpíxel, temperatura efetiva, NOAA.*

* Centro de Investigaciones en Ciencias del Ambiente CUICA, México, en convenio con la Universidad Politécnica de Valencia, España, correo electrónico: jogasso@topo.upv.es

Resumen

Este artículo describe el proceso que se ha llevado a cabo durante la ubicación del Volcán de Colima en una imagen satelital NOAA, mediante la resta entre la banda T3 y T4 para calcular la temperatura efectiva del punto caliente y localizar el píxel que contiene al volcán, tras convertir los valores digitales a valores de temperatura. Una vez detectado el píxel se transforma la imagen mediante diferentes métodos de interpolación e incorporando un MDT (Modelo Digital del Terreno) para comprobar su ubicación a nivel subpíxel. Este estudio proporciona un mejor conocimiento de la zona y estudios de riesgos volcánicos más precisos, sirviendo así de base para posteriores análisis aplicados en estudios medioambientales.

Palabras Clave: *Volcán de Colima, MDT, subpíxel, temperatura efectiva, NOAA.*

Objetivo

Localizar el Volcán de Colima con precisión subpíxel en una imagen NOAA. En primer lugar se procede a georreferenciar la imagen y calcular el píxel que contiene el mayor valor de temperatura, que se corresponde con el Volcán de Colima. Dicho proceso, implica partir de la conversión de los valores digitales a valores de temperatura y realizar la resta entre las bandas T3 y T4 (temperatura del punto caliente y ambiente)¹ para obtener la temperatura real del objeto, en este caso del volcán. Una vez se ha detectado el píxel en la imagen NOAA se realiza un análisis subpíxel mediante una interpolación por el método del vecino más próximo "Nearest Neighbor". El estudio finaliza con la incorporación de un modelo digital del terreno para comprobar el resultado geoméricamente.

Antecedentes

El Volcán de Colima o de Fuego se sitúa en el estado de Colima (Figura 1a) al oeste de México, limitado por el estado de Jalisco al norte y noreste, linda al sureste con Michoacán y al oeste se encuentra el Océano Pacífico. Se encuentra muy próximo a la propia ciudad de Colima (capital del estado de Colima) y a unos 10km se encuentra Comala, un pequeño pueblo rústico. Esto hace referencia a la gran proximidad que existe entre el volcán y algunas ciudades colindantes, que en más de una ocasión han sido advertidas por las grandes actividades volcánicas existentes en la zona, como el gran temblor ocurrido en 1913 en todo el Estado y otros tantos ocurridos en años recientes, que han sido causa de grandes destrozos en la misma ciudad de Colima (21 de enero del 2003). Actualmente, está considerado como el de mayor actividad volcánica en el oeste de México con una altitud de

¹ Galindo, I.; J.P. López-Pérez and M. Evangelista-Sálazar (2003). "Real-time AVHRR fires detection in Mexico (1998-2000)", *Int. J. Remote sensing*, 24, 19-22.

3,850m, cerca de él se sitúa el Volcán Nevado de Colima a 4,320m. La última erupción constatada fue en el año 2005.

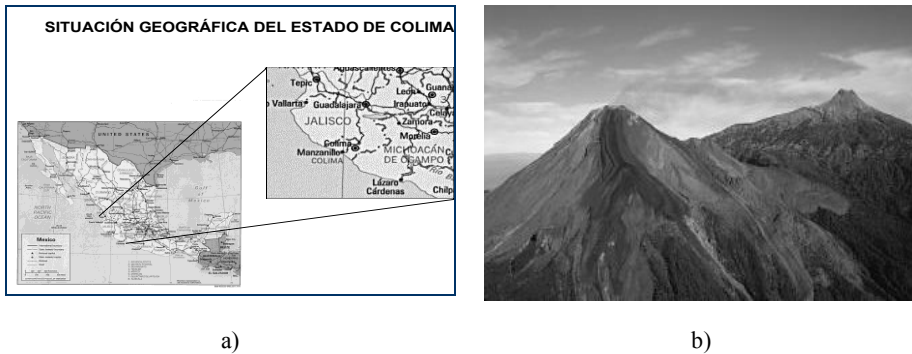


Figura 1. a) Mapa político del estado de Colima; b) Se observa el Volcán de Colima y el Volcán Nevado (al fondo).

Justificación del uso de los satélites NOAA

La temperatura del suelo es una de las variables que mayor repercusión tiene para muchos estudios medioambientales. Actualmente, la temperatura del suelo se obtiene mediante termómetros o termisores con la problemática asociada al alto costo económico para grandes zonas o de difícil acceso. Una buena alternativa, debido al desarrollo desde hace algún tiempo de la tecnología infrarroja, es la utilización de satélites artificiales como el Television Infrared Operation Satellite (TIROS), hasta los actuales satélites de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) y Land Satellite (LANDSAT), que permiten el acceso de información de la superficie de la tierra a escala sinóptica.

En concreto, los satélites de tipo NOAA permiten realizar un seguimiento con una amplia resolución temporal, muy superior a otros satélites, de esta forma se obtienen registros históricos muy interesantes para la mayoría de estudios en esta área, a un costo asequible. Tiene aplicaciones en detección de incendios, estimación de temperatura de la superficie terrestre y evapotranspiración, etc. Aunque se es consciente que cualquier estimación realizada por satélite debe ser contrastada con observaciones *in situ*. Por el contrario, su resolución espectral y espacial es muy baja, siendo este factor el principal motivo del estudio realizado, que persigue determinar el Volcán de Colima en un subpíxel de la imagen NOAA. Si dicha metodología es exacta, en posteriores estudios podría servir para automatizar la localización subpíxel en este tipo de imágenes.

Funcionamiento del satélite NOAA

El satélite utilizado en este estudio es un satélite meteorológico que pertenece a la serie NOAA “National Oceanic and Atmospheric Administration de los Estados Unidos” que garantiza, en todo momento, la existencia de un par de satélites funcionando sincronizados de manera que la observación de cualquier área de la Tierra se produce con un intervalo de tiempo máximo de seis horas. De hecho, la coexistencia de más de dos satélites operativos y un importante solape lateral entre las pasadas laterales, tanto más acusado cuanto mayor sea la latitud, implica que el periodo real de registro sea significativamente menor. Describen una órbita polar heliosincrónica (el paso sobre un área determinada tiene lugar aproximadamente a la misma hora), es decir orbitan la Tierra de polo a polo, a unos 833km de altura, tardando unos 102 minutos en dar una vuelta a la Tierra; cada día realizan unas catorce vueltas y el ciclo preciso de captación se repite exactamente con un periodo de 11 días.²

AVHRR, APT y HRPT de los polares

El sensor ubicado en los satélites NOAA es el AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer), radiómetro muy avanzado que opera en dos modos, uno de baja resolución APT (Automatic Picture Transmission) y otro de alta HRPT (High Resolution Picture Transmission). Transmiten sus datos en dos frecuencias, una para cada modo. El APT trabaja en la banda 137 MHz, con dos canales VIS e IR, resolución espacial de 4km y 255 tonos de grises. El modo HRPT trabaja en la banda de 1,700 MHz, con cinco bandas espectrales (Tabla 1), dos en el espectro visible y tres en el infrarrojo, con resoluciones entre 1 y 4km. Es un escáner multiespectral de barrido con sensibilidad en las zonas visibles, infrarrojo próximo, medio y térmico del espectro electromagnético.

La combinación de los diferentes canales espectrales permite generar imágenes en falso color, a continuación se muestra una imagen del Estado de México captada por el NOAA, mediante el módulo HPRTRReader se visualizan imágenes con diferentes composiciones, imágenes en falso color y de temperaturas.

La ventaja de este tipo de satélites meteorológicos se fundamenta en la posibilidad de visualizar el conjunto Tierra-atmósfera, extrae la máxima información posible a través de distintas técnicas y procesos para realizar un análisis cualitativo y cuantitativo de las imágenes obtenidas. Estas imágenes se aplican, principalmente, en la visualización y clasificación de nubes, observación

² Katherine B. Kidwell (1995). *NOAA Polar Orbiter Data*, National Oceanic and Atmospheric Administration National environmental satellite, data, and information service national climatic data center satellite data services division (user guide).

del vapor de agua existente en la media-alta atmósfera y en el cálculo de la temperatura superficial del mar y *de la tierra*.

Tabla 1
Tabla informativa sobre los 5 canales de la imagen del NOAA en modo HRPT

<i>Características</i>	<i>Canales espectrales</i>
Resolución espacial: 1.1km en el nadir	Canal 1: 0.58-0.68 μm
Resolución radiométrica: 10 bits	Canal 2: 0.72-1.00 μm
IFOV: 1.3 X 1.3 mrad	Canal 3A: 1.58-1.64 μm^*
Píxeles por línea: 2,048	Canal 3B: 3.55-3.93 μm
Ángulo de barrido: 55.4° a cada lado del nadir	Canal 4: 10.3-11.3 μm
	Canal 5: 11.5-12.5 μm

Fuente: NOAA.

* El canal 3A, dedicado a la observación de la nieve y el hielo, se incorporó a partir del satélite NOAA-15, en horas diurnas sustituye al canal 3B. El área de barrido del sensor AVHRR es aproximadamente de unos 3,000km por día, obteniendo un total de cinco o seis imágenes sobre una determinada zona del área de cobertura de la estación NOAA. Se alimenta de energía mediante paneles solares, que suministran unos 200 watts de potencia.

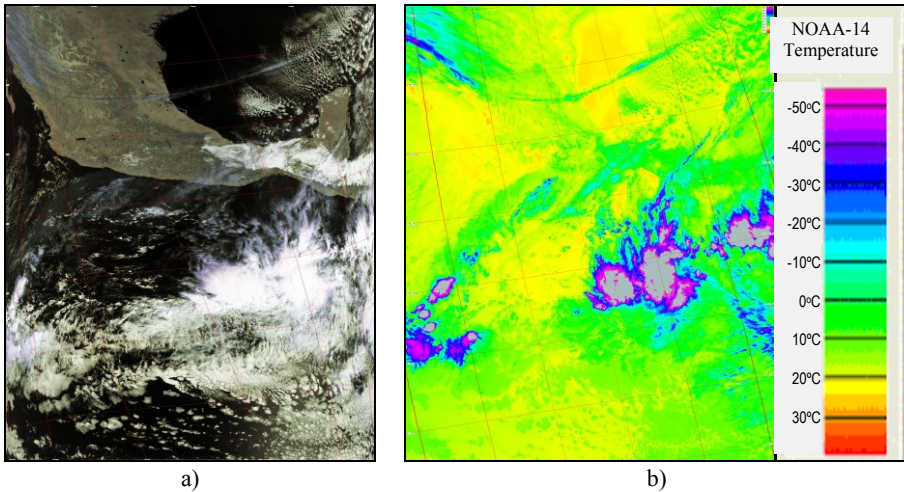
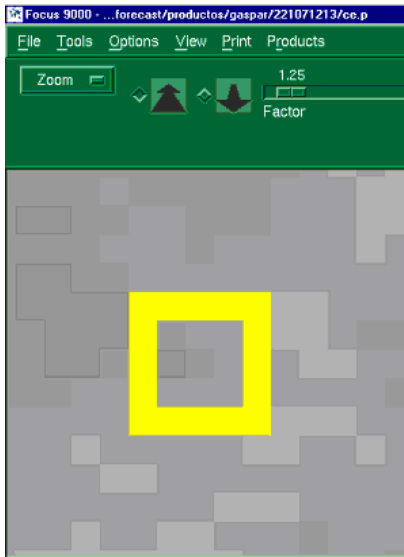
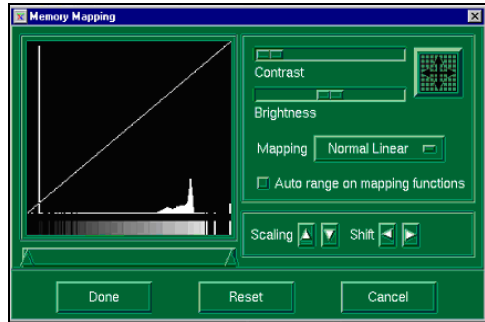


Figura 2. a) Imagen en falso color, combinación de los canales 4 (rojo), 2 (verde) y 1 (azul); b) Imagen de temperatura.

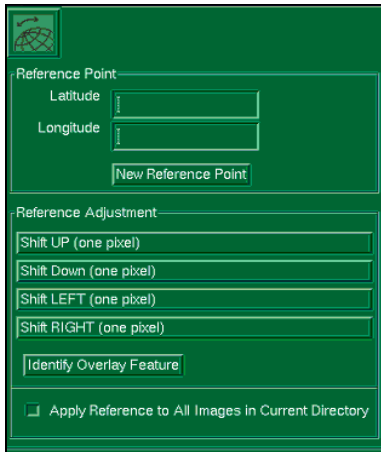


a)

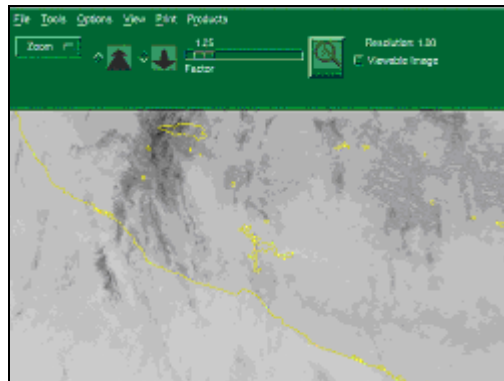


b)

Figura 3. a) Imagen NOAA; b) Interface para ajustar el histograma de la imagen. Diferentes módulos del programa FOCUS 9000.



a)



b)

Figura 4. a) Cuadro de diálogo donde el usuario es capaz de mover la imagen píxel a píxel o introducir coordenadas geográficas en un punto identificable de la imagen; b) Visualización de las líneas de costas y volcanes almacenados en la base de datos.

Parámetros orbitales

Están compuestos de datos numéricos, utilizados para representar matemáticamente las órbitas de los satélites y conocer en qué posición se encuentran, así se logra un correcto seguimiento sabiendo el horario de paso y sus ubicaciones. Los elementos orbitales de los TIROS-NOAA (Television and InfraRed Observation Satellite-National Oceanic and Atmospheric Administration) se envían en partes denominados TBUS, actualizadas constantemente ya que las órbitas no son perfectas y sufren de anomalías que provocan pequeños desplazamientos en los satélites. Existen fuerzas que modifican los parámetros orbitales; el efecto de achatamiento e irregularidades de la Tierra, las atracciones del Sol y la Luna, el roce y empuje de la atmósfera, la presión del viento solar, imprecisiones de la puesta en órbita, etc. Por este motivo, es importante disponer de unas efemérides precisas y actualizadas en el momento de la toma de la imagen para poder llevar a cabo una correcta georreferenciación.

Predicción de las órbitas

Con estos datos numéricos TBUS y programas específicos se calculan las órbitas para predecir el paso de los satélites en futuras épocas. Cada época dispone de elementos nuevos, éstos son obtenidos y distribuidos por diferentes entidades (por ejemplo: la NASA) que siguen minuciosamente el recorrido del satélite detectando sus anomalías para aplicar las debidas correcciones a los nuevos elementos.

Sensores remotos

Los sensores ubicados en los satélites meteorológicos, tanto polares como geostacionarios, están fabricados especialmente para detectar radiación electromagnética en las bandas correspondientes a la luz visible (reflejada por el Sol) e infrarroja que es la radiación natural emitida por la Tierra (espectros de emisión). La banda de absorción infrarroja es utilizada también en los geostacionarios para la detección del vapor de agua.

Sistemas de transmisión de datos

Los radiómetros de los satélites polares capturan los datos a través de un barrido, línea por línea hasta completar una imagen. De acuerdo al tipo de imagen que se procese (si la imagen tiene mayor o menor resolución) los datos son tratados de diferente manera. El procesamiento fino y la calibración son realizados en las estaciones de Tierra, donde forman la imagen compuesta por píxeles cuyos tonos de grises se corresponden con un valor de temperatura de brillo determinado en los canales IR y un valor de albedo en los visibles. Los datos brutos son valores de radiancia que se envían como señal radioeléctrica, luego del proceso de calibración,

el resultado son datos en unidades representativas, como por ejemplo la temperatura del ambiente, brillo, etc. De esta forma, a cada punto de la imagen le corresponde un valor de temperatura o un albedo asociado a un tono de gris.

Los satélites geoestacionarios barren línea a línea, grabándose en una cinta hasta completar la imagen y luego la envían a Tierra, es un proceso lento y sólo es posible obtener imágenes cada media hora. Los polares, en cambio, no graban sus imágenes y emiten cada línea a medida que barren la superficie de la Tierra en su recorrido, se pueden obtener entonces imágenes compuestas casi en tiempo real.

Tratamiento de imágenes

Las imágenes cuantitativas HRPT contienen gran cantidad de información porque son de alta resolución y las componentes de la imagen están sumamente procesadas, pueden utilizarse para la observación, análisis y estudio más exacto de la atmósfera y el suelo, como es el caso que abarca este proyecto. Las imágenes de baja resolución ATP son utilizadas para meteorología sinóptica, análisis de nubes, formación de frentes, estimaciones globales, etc.

Espectro Visible (VI); la radiancia detectada en la banda visible es una medida de la reflectividad de la Tierra. Las zonas de alta reflectividad aparecen blancas y las de menor más oscuras, así hasta el negro. A esta radiación se le asocia un albedo de 1 a 100 y las componentes de una imagen HRI o HRPT se expresan en albedos relacionados con un tono de gris.

Espectro infrarrojo (IR); en este intervalo se sitúa la banda infrarroja media, la Tierra y la atmósfera emiten radiación térmica confinada dentro del intervalo espectral de 3 a 100 μ m. En estas longitudes de onda la reflectividad es virtualmente nula y la radiación solar despreciable, por eso se considera como radiación de cuerpo negro y se relaciona con la temperatura medida en grados Kelvin. En los productos HRI y HRPT los componentes de las imágenes IR se expresan en °K y se le asocia un tono de gris. Las imágenes en el IR se utilizan principalmente para la observación de las estructuras cuando no hay radiación solar, es decir de noche. En estas imágenes, los puntos cálidos aparecen oscuros y las zonas frías están representadas de color blanco.

Imágenes de vapor de agua (VA); son en su mayoría representativas de la humedad en la media y alta troposfera, utilizan la banda de absorción correspondiente a 6 μ m dentro de la radiación IR.

Este tipo de satélites tiene multitud de aplicaciones: Medición de la temperatura diaria y cambios de humedad en los océanos (aviación mundial y marina), nubosidad (suplemento del Sistema Automatizado de Observación Superficial "ASOS"), estabilidad atmosférica, límites termodinámicos, cambios atmosféricos conducidos por microestallidos y precipitaciones. En el área de desastres, las previsiones de trayectorias en los huracanes son más precisas al disponer de

elementos de movimiento y definiciones de masas más exactas. Este estudio se enfoca en la medición de la temperatura efectiva o del objeto.

Ventajas

En resumen, los satélites meteorológicos están provistos de una baja resolución espacial pero una alta resolución espectral y temporal, que los convierte en instrumentos ideales para realizar el correcto seguimiento y monitoreo de las actividades volcánicas que se presentan. Ofrecen una frecuencia elevada en áreas concretas junto con observaciones magnéticas y térmicas. El objetivo de este proyecto es detectar el punto caliente a partir de datos infrarrojos de longitud de onda obtenidos mediante percepción remota en satélites tipo NOAA.

Metodología y fundamentos

Calibración de los datos imágenes en los canales infrarrojos

Para poder detectar el punto caliente en la imagen NOAA se debe primeramente transformar los valores de radiancia en valores de temperatura. El proceso de cálculo de la temperatura inicia con los niveles digitales detectados por el sensor, dichos valores codifican un valor de radiancia correspondiente al infrarrojo térmico.³ Mediante la relación entre el flujo emitido por el suelo y el recibido por el sensor se constata que la atmósfera emite su propia energía lo que hace distorsionar la radiancia recibida en la imagen, por lo tanto se debe eliminar dicha afectación, es necesario conocer el flujo emitido por el suelo para conocer realmente su temperatura, mediante la ley de Planck.

Paso 1. Obtención de radiancias

- Calibración lineal: $E_i = S_i C + I_i$
- Calibración no lineal: $Radi = A E_i + B (E_i)^2 + C$

Donde S, I son datos proporcionados por el satélite y los coeficientes A, B y C son proporcionados por NOAA, válido para las bandas 3, 4 y 5, según se muestra en la Tabla 2.

Paso 2. Conversión de radiancia a temperatura de brillo

La radiancia se convierte a temperatura utilizando la función de Planck sobre la respuesta espectral del canal, invirtiendo la ecuación queda la siguiente función:

³ Pérez Gutiérrez, Carlos y Muños Nieto, Ángel L. (2006). *Teledetección nociones y aplicaciones*, Universidad de Salamanca, 157 pp.

$$T_i = \frac{C_2 \cdot \nu}{\ln \left(1 + \frac{C_1 \cdot \nu^3}{Rad_i} \right)} \quad (1)$$

Tabla 2
Valores de los coeficientes A, B y C

Coeficientes	Canal 3	Canal 4	Canal 5
A	1.00359	0.92378	0.96194
B	0	0.0003822	0.0001742
C	-0.0031	3.72	2.00

Fuente: NOAA.

Fórmula 1. Función de Planck invertida para calcular la temperatura del canal.

Donde:

T_i = temperatura en el canal i , en grados Kelvin.

$C1 = 1,1910659 \cdot 10^{-5} \text{ mWm}^{-2}\text{sr}^{-1}\text{cm}^{-4}$

$C2 = 1,438833 \text{ cmK}$

ν = número de onda (longitud de onda central de la banda térmica)

El cálculo de los valores de radiancia a Temperatura en la banda 3B (T3B) hacen referencia a la temperatura de brillantez del objeto,⁴ y en la banda 4 (T4) indica la temperatura ambiente. El canal 3 se sitúa entre el espacio espectral de la luz solar reflejada y la radiación de la Tierra, y es muy sensible a fuentes de calor extremas.

Georreferenciación

Las imágenes APT (Automatic Picture Transmission) sufren una contracción transmitidas por los componentes del satélite y por este motivo se aplica una corrección para mejorar la apariencia visual sin deformaciones espaciales.

Existe un procedimiento de determinación de la órbita y geometría de observación del sensor AVHRR a bordo de los satélites NOAA, basado en la obtención en tiempo adelantado (dos días antes) de los parámetros orbitales de estos satélites que presentan menos variaciones (periodo, excentricidad, semieje mayor,

⁴ J.C. Parra; J.A. Sobrinob; P.S. Acevedoa y L.J. Moralesc. *Estimacion de la temperatura de suelo desde datos satelitales AVHRR NOAA aplicando algoritmos de split window*, 238-245.

inclinación y argumento del perigeo), mientras que la ascensión recta del nodo ascendente referida al meridiano de Greenwich y la anomalía media de la primera línea de la imagen se obtienen por ajuste para minimizar el error de localización geográfica de una serie de puntos distribuidos por la imagen cuyas coordenadas geográficas se conocen de forma precisa (*ground control points*), proceso que se realiza bajo Focus 9000. Una vez determinados todos los parámetros orbitales correspondientes al satélite que ha generado la imagen (y válidos únicamente para esa determinada imagen) se obtienen las coordenadas geográficas de todos los píxeles de la imagen. Posteriormente se procede a la proyección de la imagen, superponibles a diferentes mapas en la misma proyección.

En las imágenes HRPT (High Resolution Picture Transmissions) los puntos de control en tierra se toman sobre la imagen y por tanto se obtienen mejoras notables en los errores esperados de georreferenciación al ser el detalle lineal cuatro veces mayor que en las APT. Este tipo de imágenes HRPT son las utilizadas en este estudio, y son transmitidas tal y como el sensor las obtiene, sin ningún tipo de contracción para su reforma antes de la transmisión como en el caso de las APT. De esta forma, la deformación geométrica que presentan las imágenes HRPT es mucho mayor que en el caso de las APT, siendo este efecto máximo en los bordes de las imágenes. A pesar de estas deformaciones, se consiguen errores de georreferenciación en los puntos de control del orden de medio píxel HRPT.

Tabla 3
Característica de transmisión de los satélites NOAA

<i>Satélite</i>	<i>Formato</i>	<i>Canales</i>	<i>Res.</i>	<i>Pixel/línea</i>	<i>Bits/píxel</i>	<i>Velocidad (kbit/s)</i>
NOAA	APT	1Vis 1Inf	4km	909	8	33.28
NOAA	HRPT	2 Vis 3Inf	1.1km	2048	10	665.4

Fuente: NOAA.

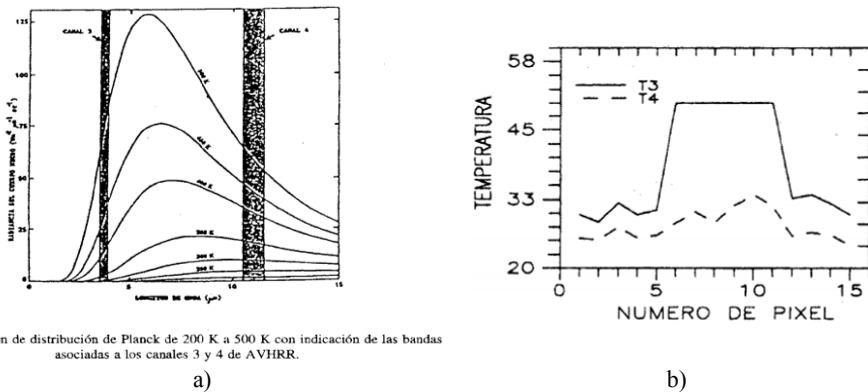
El proceso de georreferenciación manual se realiza mediante el módulo *Forecast* perteneciente al programa Focus 9000 (Figura 3) que permite hacer operaciones de análisis con la imagen corregida, proyectada y calibrada. Se visualizan los valores de temperatura en los píxeles de las bandas 3 y 4.

Después del proceso de georreferenciación con las efemérides precisas (proceso automatizado y aproximado), se visualizan los elementos geográficos almacenados en la Base de Datos (costas y volcanes coloreados en amarillo) para servir de referencia e ir ajustando con más precisión la imagen proyectada. De este modo, se puede realizar una monitorización más exacta y de forma inmediata.

Cálculo de la temperatura efectiva de un punto caliente

Como se ha citado anteriormente, el canal 3B presenta una gran sensibilidad de las altas temperatura y puede ser utilizada para su seguimiento y prevención, ya sea para un incendio forestal o para un volcán como en este caso. Un píxel en blanco representará una saturación en ese lugar.

En algunos estudios se han aplicado diferentes combinaciones de las medidas de los canales 3B y 4 propuestos por Dozier (1981) y Matson y Dozier (1981)⁵ para determinar la temperatura a escala subpíxel, así como la determinación de la porción subpíxel que se está quemando. Esta técnica presupone que en el caso que un píxel parcialmente incendiado, la radiancia medida por el satélite estará constituida por una contribución de la fracción incendiada, S , que emite a mayor temperatura que la fracción no incendiada, $1-S$, que se supone emite a temperatura menor, y que puede evaluarse a partir de la determinación de la temperatura de un píxel próximo que no esté caliente.



Función de distribución de Planck de 200 K a 500 K con indicación de las bandas asociadas a los canales 3 y 4 de AVHRR.

Figura 5. a) Valores de los canales 3 y 4 de AVHRR según la función de distribución de Planck de 200k a 500k, b) Valores de temperatura y número de píxeles en las bandas 3 y 4.

En la anterior Figura 5a) se observa según la distribución de Planck los intervalos correspondientes a los canales 3 y 4. Para un incremento de temperaturas dado, el crecimiento de radiancia es mayor en el intervalo espectral del canal 3 que en el canal 4, esto hace que la temperatura de brillo medida en el canal 3 sea mayor que la medida en el canal 4,⁶ cuando el píxel se compone de la contribución de

⁵ Dozier, J.A. (1981). "A method for satellite identification of Surface temperatura fields of subpixel resolution", *Remote Sens. Environ.*, 11, 221.

⁶ L. Alados Arboledas; D. Pozo Vázquez; J. López Martí y F.J. Olmo Reyes. *Aplicaciones de los satélites meteorológicos polares al seguimiento de procesos ambientales*, Universidad de Granada, 15 pp.

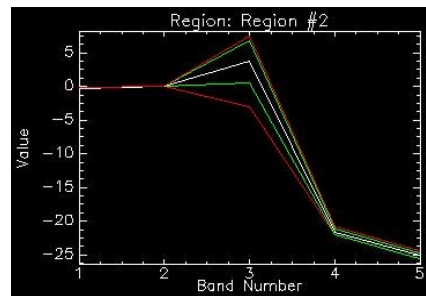
porciones S y 1-S. La Figura 3.b muestra el comportamiento de las temperaturas de brillo de los diferentes canales a lo largo de una línea que cruza el centro del incendio. Se observa la mayor sensibilidad del canal 3 a altas temperaturas, responsable de la saturación que tiene el lugar en la región central del incendio o punto caliente.

Según la función de Planck, para un incremento determinado de temperatura, el crecimiento relativo del área bajo las curvas para la banda del canal 3 es mayor que el correspondiente al canal 4. Por lo tanto la temperatura de brillo de un píxel que contenga un volcán activo sería mayor en el canal 3. Entonces, a partir de la temperatura en el canal 3B se detectaría el Volcán de Colima, con una resolución espacial media que es prácticamente la del punto nadir $1.1 \times 1.1 \text{ km}^2$, ya que los canales 3 y 4 permiten detectar focos de temperaturas elevados. Si un píxel incluye un volcán activo, su temperatura de brillo es mayor en el canal 3 que en canal 4.

En cuanto a la detección del punto caliente, los píxeles del borde en zonas calientes presentan una diferencia apreciable de temperatura en los dos canales, se detectan con facilidad en el canal 3B, siendo no vivibles en el canal 4, pero conforme aumenta el área del punto caliente la diferencia entre T3B-T4 va disminuyendo significativamente, y va siendo más visible en el canal 4. En cuanto a la temperatura del punto caliente, las mayores diferencias entre T3B-T4 se obtienen cuando el área es pequeña.

Region: Region #2				
Band	Min	Max	Mean	Stddev
1	-0.317091	-0.162736	-0.238429	0.051667
2	0.065040	0.065040	0.065040	0.000000
3	-3.048333	7.398216	3.701995	3.125102
4	-22.075369	-20.729504	-21.590200	0.432666
5	-25.604105	-24.316616	-25.074702	0.397151

a)



b)

Figura 6. a) Tabla que muestra los datos estadísticos correspondientes con 5 bandas de la imagen NOAA sin la banda 3; b) Gráfica de los valores digitales en cada una de las bandas.

Como conclusión, un volcán activo es un punto caliente que representa un área pequeña, por lo tanto la elección de elegir la banda 3 y 4 es acertada, con una diferencia máxima entre ambas bandas. Además, la banda 4 contiene información atmosférica que al restarla con la banda 3 nos daría una temperatura del objeto más cercana a la realidad, aunque para ser más preciso haría falta realizar mediciones *in*

situ, este mecanismo sería una forma de saber el momento en que el volcán presenta actividad, atendiendo a la siguiente fórmula 2:

$$\text{Temperatura del volcán} = T3 - T4 \quad (2)$$

$T3$ = temperatura de brillo del canal 3B

$T4$ = temperatura ambiente

La imagen es visualizada en formato HPRT tras definir la proyección, aplicar diversas correcciones (Módulo Forecast del programa FOCUS 9000) y convertir los niveles digitales a valores de temperaturas mediante el proceso anteriormente comentado. Las bandas interesantes para la ejecución de este estudio se corresponden con la banda 3B porque hace referencia a la temperatura de brillantez del objeto y la banda 4 que indica la temperatura ambiente. Se obtienen los siguientes datos estadísticos de cada una de las bandas:

Se aprecian los valores correspondientes a cada una de las bandas de la imagen NOAA, el máximo valor se encuentra en la banda tres correspondiente con la temperatura de brillantez del cuerpo. Para calcular la temperatura efectiva se utiliza el algoritmo $T3 - T4$ (temperatura de brillantez del cuerpo menos temperatura ambiente) que permite localizar el punto caliente (el volcán). Las bandas $T3$ (3B) y $T4$ pertenecen al infrarrojo térmico y aportan información sobre la temperatura de la superficie. No se utiliza el infrarrojo cercano o reflejado (0.7-0.3 micrómetros) debido a que en esta región, normalmente, las temperaturas predominantes en la superficie de incidencia van desapareciendo en pequeñas cantidades de radiación.

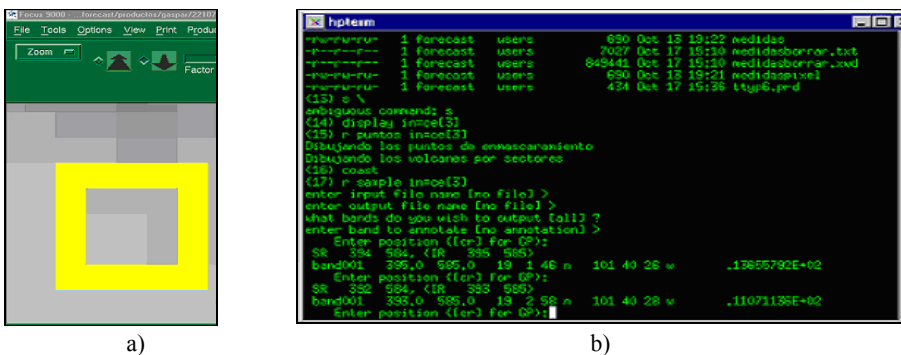
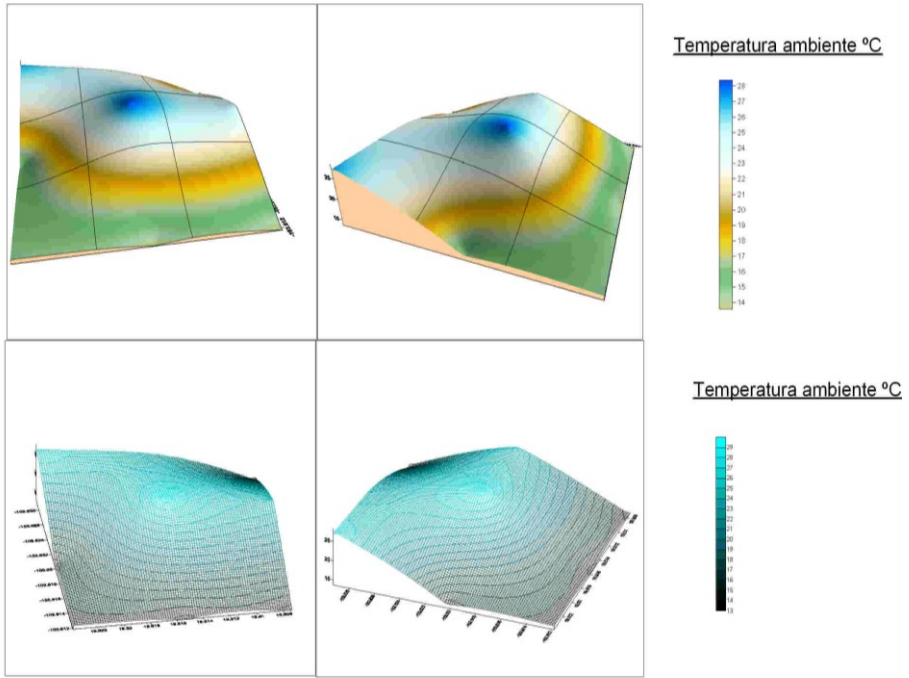


Figura 7. a) Visualización de la región de estudio compuesta por 9 píxeles donde se ubica el volcán; b) interface del programa que permite visualizar la imagen junto con los elementos geográficos almacenados en la base de datos. Se observan los valores de los píxeles englobados por la región de interés (recuadro amarillo) en cada una de las bandas.



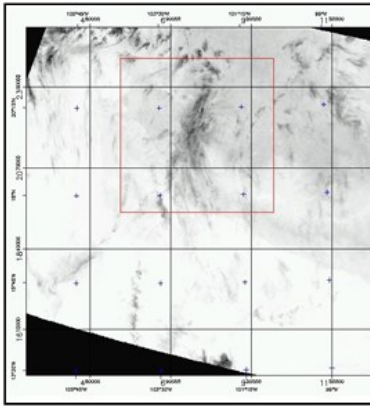
Coordenadas Geográficas. Imagen NOAA

Figura 8. Representación gráfica de la región de interés compuesta por nueve píxeles, cuyos valores hacen referencia a la temperatura efectiva, solo a nivel ilustrativo, ya que se observan datos interpolados dentro de los píxeles.

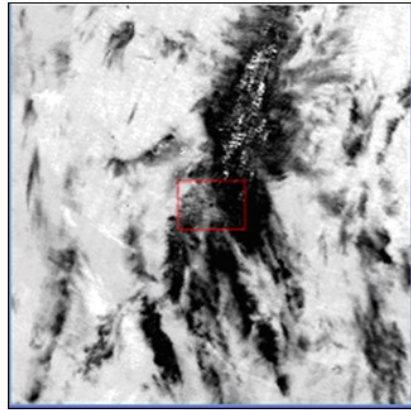
Detección del volcán

Se determina en que píxel exacto se encuentra el punto caliente. El límite amarillo engloba una zona o región aproximada dentro de la cual se sitúa el volcán. La región de interés, calculada y visualizada proyecta las posibles posiciones del volcán mediante un recuadro amarillo formado por 9 píxeles (3 x 3 píxeles, Figura 7a). Se estudia la región de interés en las bandas que aportan información útil (T3 y T4).

Los valores de los píxeles, objeto de estudio, son analizados en la imagen resultante tras aplicar el algoritmo T3-T4. El máximo valor asociado al píxel “máximo valor de temperatura efectiva” en la región de estudio se corresponde con el Volcán de Colima (Tabla 4).



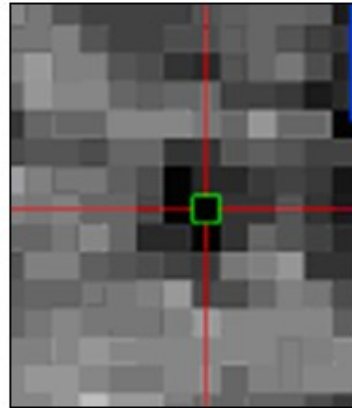
a)



b)



c)



d)

Figura 9. a) Imagen NOAA proyectada; b) zona de estudio; c) píxel que contiene el volcán; d) valor digital del píxel.

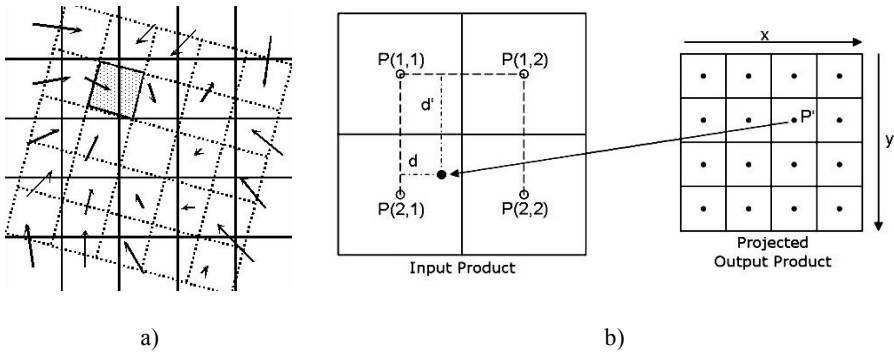


Figura 10. a) Gráfica representativa del método Nearest Neighbor; b) cálculo de la distancia.

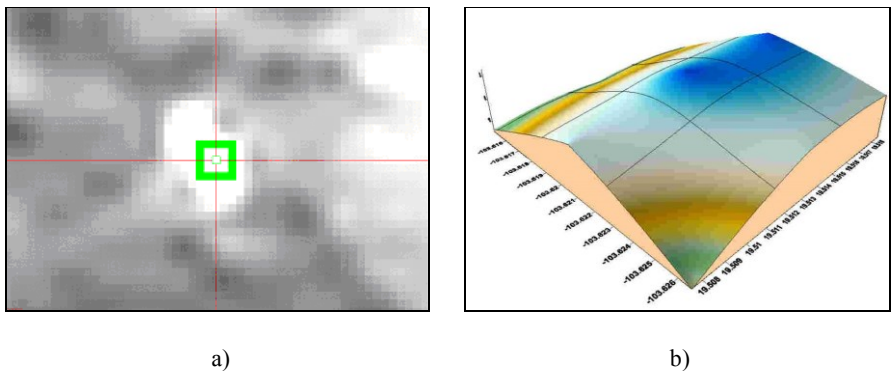


Figura 11. a) Imagen interpolada tras aplicar la resta entre las bandas T3B-T4; b) se visualiza la región de interés tras aplicar el método de interpolación por Nearest Neighbor formada por nueve subpíxeles (resolución de 600m) que engloba el píxel original (máximos valores de temperatura efectiva). Esta gráfica es a nivel ilustrativo, ya que se aprecian valores interpolados en el interior de los píxeles.

Se persigue detectar un máximo en la temperatura real del objeto o “Temperatura Efectiva”. Una vez se ha localizado la posición del volcán (coordenada píxel) en la imagen NOAA se procede a realizar el análisis subpíxel.

La región de interés, compuesta por nueve píxeles, contiene un máximo de temperatura efectiva igual a 28,4559 °C (Tabla 4) correspondiente con las coordenadas píxel: (408,332).

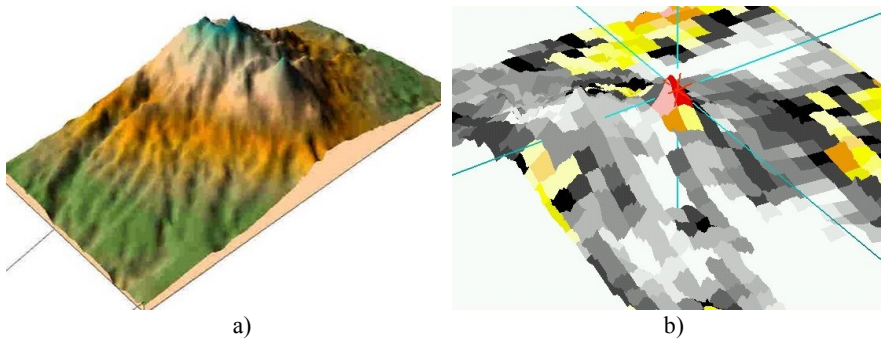


Figura 12. a) Modelo Digital del Terreno referente al Volcán de Colima y Volcán Nevado; b) se introduce un MDT en la imagen interpolada, con una resolución de 600m, donde se observan píxeles coloreados en rojo y naranja, correspondientes a los máximos valores de temperatura efectiva o del objeto y coincidentes, geoméricamente, con los de mayor elevación.

Tabla 4
Coordenadas geográficas de los centroides en los píxeles
pertencientes a la región de interés y su valor de temperatura efectiva

<i>Nº píxel</i>	<i>Coordenadas Geográficas</i>		<i>Temperatura efectiva (°C)</i>
1	19.523673	-103.620336	14.6526
2	19.523478	-103.611818	14.6526
3	19.523867	-103.628854	27.1509
4	19.51579	-103.629058	23.7549
5	19.515596	-103.620541	28.4559
6	19.515401	-103.612024	13.7851
7	19.50752	-103.620746	25.1117
8	19.507325	-103.612231	13.7682
9	19.507714	-103.629262	14.4876

Fuente: Elaboración propia.

Interpolación y MDT

La distribución espacial de una variable se evalúa desde la perspectiva de su continuidad en una determinada superficie. Así por ejemplo, un edificio, una ciudad y un volcán están definidos por ciertos atributos y por su localización o posición geográfica. En este caso la variable o fenómeno es discreto o discontinuo y las áreas adyacentes carecen de dicha característica. Por este motivo se escogió el método de interpolación que más se ajusta a la realidad *Nearest Neighbor* debido al carácter

puntual y discontinuo que presenta el volcán (aunque se hicieron diferentes estudios utilizando el Método Bilineal y de Convolución Cúbica). Este método conserva los valores originales, no promedia los valores de alrededor, es el más rápido y fácil de usar. Presenta algunos problemas en transferir rasgos lineales como carreteras, canales y otras infraestructuras longitudinales, factor que no afecta a este estudio.

Una vez localizado el punto caliente en la imagen original y conocido el píxel que debe ser estudiado, se procede a Transformar la imagen original mediante el método de interpolación *Nearest Neighbor*. Este proceso se basa en tomar el valor del píxel más cercano de los 4 que lo rodean mediante el cálculo de distancias euclidianas (Figura 10.b).

Las coordenadas píxel correspondiente al Volcán de Colima en la imagen original (resolución espacial de 1,100 x 1,100m) son: $x_p=408$, $y_p=332$. El siguiente paso se basa en estudiar el píxel objeto de estudio junto con sus vecinos en la imagen interpolada con una resolución píxel de 600m (la longitud de la zona del volcán es de 300m). La nueva región de interés está compuesta por nueve subpíxeles (3 x 3, resolución de 600m).

Los píxeles colindantes al punto caliente o que están afectados por éste presentarán una diferencia apreciable de temperatura en los dos canales, y dicha diferencia se ve representada en los nuevos valores interpolados.

Se observa una agrupación de valores máximos atendiendo únicamente a su valor de temperatura efectiva. Para definir con mayor precisión su localización se introduce un MDT para detectar que subpíxel de valor máximo de temperatura se corresponde además con el de mayor elevación. Para determinar con exactitud la posición subpíxel, se incorpora un MDT obtenido mediante LIDAR con una resolución de 5m, con un total de 70 millones de puntos en la imagen interpolada.

Conclusión

El estudio realizado en la detección espectral del Volcán de Colima mediante la resta de las bandas 3 y 4 ha permitido detectar el punto caliente satisfactoriamente en la imagen NOAA. El proceso posterior, basado en la localización subpíxel del volcán, mediante el método de interpolación *Nearest Neighbor* (resolución de 600 x 600m) y la incorporación de un MDT, determinó que los subpíxeles contiguos coloreados en rojo y magenta se corresponden con los valores máximos de temperatura efectiva y de mayor elevación.

Tras este resultado se desprenden varias interpretaciones viables, por un lado, la georreferenciación inicial no fue lo suficientemente precisa y por este motivo se produce una ambigüedad en el resultado geométrico, aunque no cabe duda de que el hecho de tener presente los valores de los píxeles colindantes puede determinar de forma más precisa el punto caliente.

Otra hipótesis consistiría en definir el píxel coloreado en rojo como la ladera más caliente del volcán, por donde bajarían los restos de material piroclástico, tal vez debido a la orografía y pendiente del mismo volcán, y el píxel de color magenta representaría la zona de menor temperatura, por donde no se deslizarían los restos volcánicos o de lava, concluyéndose, bajo este supuesto, que el Volcán de Colima abarcaría parte de los dos subpíxeles, concentrándose la mayor parte de restos piroclásticos en el subpíxel de coordenadas: $x_p=1,493$; $y_p=1,216$, con un valor de temperatura efectiva asociado de 30.65°C , constatando que durante el proceso de interpolación se produjo un aumento de 2.15°C con respecto al valor de temperatura original.

Agradecimientos

Doctor Ignacio Galindo Estrada, Director del Centro Universitario en Ciencias del Ambiente (CUICA) en la Universidad de Colima, México.

Referencias

- Dozier, J.A. (1981). "A method for satellite identification of Surface temperatura fields of subpixel resolution", *Remote Sens. Environ.*, 11, 221.
- Galindo, I.; J.P. López-Pérez and M. Evangelista-Sálazar (2003). "Real-time AVHRR forest fire detection in Mexico (1998-2000)", *Int. J. Remote sensing*, 24, 19-22.
- Galindo, Ignacio and Tonatiuh Dominquez (2003). "Real-time AVHRR Multispectral Thermal Monitoring and Ash Emission Detection in to the Atmosphere: The case of Colima Volcano (México)". *Volcanism and the Earth's Atmosphere Geophysical Monograph 139*.
- Global Imaging (1999). *HPRT Automatic Satellite Acquisition and Processing, System 9000*.
- J.C. Parraa; J.A. Sobrinob; P.S. Acevedoa y L.J. Moralesc. *Estimacion de la temperatura de suelo desde datos satelitales AVHRR-NOAA aplicando algoritmos de split window*, 238-245.
- Katherine B. Kidwell (1995). *NOAA Polar Orbiter Data*, National Oceanic and Atmospheric administration National environmental satellite, data, and information service national climatic data center satellite data services division (user guide).
- Pérez Gutiérrez, Carlos; Muños Nieto, Ángel L. (2006). *Teledetección nociones y aplicaciones*, Universidad de Salamanca, 156.
- Reyes Cárdenas, Oscar (2000). "Detección vía satélite en tiempo real de incendios forestales y quemas agrícolas a nivel nacional", tesis doctoral, Proyecto Conacyt-Symorelos.

Revista Cartográfica

Definición de la Revista

La *Revista Cartográfica* (RCA) del Instituto Panamericano de Geografía e Historia (IPGH) es una publicación anual; incluye trabajos inéditos del estado del arte, revisión de la literatura científica, resultados de estudios e investigaciones sobre las actividades relacionadas con el campo general de la Cartografía, Geodesia y/o Información Geoespacial.

Sistema de arbitraje

La *Revista Cartográfica* cuenta con un grupo de evaluadores especialistas de notorio reconocimiento. El proceso de selección de cada artículo implica la valoración de dos o más expertos en el tema, sin identificación de la autoría, con el fin de garantizar un resultado exento de cualquier influencia. Después de la evaluación, los artículos se remiten al Comité Editorial quien lleva a cabo la selección de ellos para ser publicados.

Por otra parte, compete a la editora responder dudas y resolver cualquier situación que se suscite, así como la decisión final acerca del contenido de cada número de la *Revista Cartográfica*.

Instructivo para autores

Los lineamientos generales para presentar trabajos para su publicación, son los siguientes:

- Todo artículo sometido debe ser **original**, y no publicado, ni considerado para publicación en otra revista.
- La **extensión máxima** de los artículos debe ser de 25 páginas formadas y las llamadas de nota de 5 páginas.
- Los artículos podrán ser escritos en cualquiera de los cuatro idiomas oficiales del Instituto: **español, inglés, francés y portugués**. En el caso de artículos escritos en inglés, francés o portugués, evitar corte de palabras.
- El nombre de los autores, la institución a la que pertenecen, sus direcciones postal y electrónica se incluirán a pie de página al inicio del artículo.
- Cada artículo debe ser precedido por un **resumen** corto (máximo 110 palabras), el cual debe permitir al lector tener una idea de la importancia y campo que abarca el artículo, debe presentarse al menos en español e inglés.
- Inmediatamente después del resumen, se escribirán no más de seis **palabras clave** representativas del contenido general del artículo y características de la terminología usada dentro de un campo de estudio.
- Dentro del texto, si se trata de una cita textual que abarque como máximo dos líneas, se citará el autor, se transcribirá entre comillas y enseguida entre paréntesis se apuntará el año y número de página(s). Si la cita abarca más líneas, se transcribirá el párrafo o párrafos con una sangría, sin comillas tal como se indica en la plantilla.
- Las fotografías, figuras, gráficas, cuadros y tablas deberán ser presentadas listas para ser reproducidas y su colocación dentro del texto se indicará claramente.

- Los artículos deben ser colocados en la **plantilla** correspondiente la cual debe ser solicitada al editor responsable o al Departamento de Publicaciones en la Secretaría General.
- Se incluirá la **Bibliografía** consultada al final del artículo respetando el siguiente formato:
 Autores (apellidos, iniciales nombres.), (año entre paréntesis). “Título del artículo”, *Título de la revista*, vol. (núm.), Editorial, Ciudad, número de páginas (separadas por guión).
 Seemueller, W. y Drewes, H., (1998). “Annual Report of the RNAAC SIRGAS”, *IGS 1997 Technical Reports*, IGS CB, Pasadena, pp. 173-174.
 En el caso de tesis o libros colocar el número de páginas total al final de la referencia.
- Todos los autores deberán observar estos lineamientos.
- Los artículos deben enviarse a la Editora de la *Revista Cartográfica*, quien los someterá a dictamen anónimo de dos especialistas e informará el resultado a los autores en un plazo no mayor de un año:

Valéria Oliveira Henrique de Araújo
 Editora *Revista Cartográfica*
 Instituto Brasileño de Geografía y Estadística (IBGE)
 Rua General Canabarro, 706 Maracanã
 20.271-205, Rio de Janeiro, RJ, Brasil
 Correo electrónico: valeria.araujo@ibge.gov.br

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 de Historia de América*, *Boletín de Antropología Americana*, *Revista de Arqueología Americana* y *Revista Geofísica*.

La Secretaría General 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 periódicas.

Si requiere mayor información, favor de comunicarse con:

Mtra. Julieta García Castelo
 Departamento de Publicaciones
 Secretaría General del IPGH
 Ex-Arzobispado 29 / Colonia Observatorio / 11860 México, D. F. México
 Tels.: (+52-55) 5277-5888 / (+52-55) 5277-5791 / (+52-55) 5515-1910
 Fax: (+52-55) 5271-6172 / Correo electrónico: publicaciones@ipgh.org

Edición del
Instituto Panamericano de Geografía e Historia
realizada en su Centro de Reproducción
Ex Arzobispado #29, Colonia Observatorio
11860, México, D.F.
Teléfono 5277-5791 5277-5888
publicaciones@ipgh.org
2016

**ESTADOS MIEMBROS
DEL
INSTITUTO PANAMERICANO DE GEOGRAFÍA E HISTORIA**

EL IPGH, SUS FUNCIONES Y SU ORGANIZACIÓN

Argentina

Belice

Bolivia

Brasil

Chile

Colombia

Costa Rica

Ecuador

El Salvador

**Estados Unidos
de América**

Guatemala

Haití

Honduras

México

Nicaragua

Panamá

Paraguay

Perú

**República
Dominicana**

Uruguay

Venezuela

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.

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.

El Estatuto del IPGH cita en su artículo 1o. sus fines:

- 1) Fomentar, coordinar y difundir los estudios cartográficos, geofísicos, geográficos e históricos, y los relativos a las ciencias afines de interés para América.
- 2) Promover y realizar estudios, trabajos y capacitaciones en esas disciplinas.
- 3) Promover la cooperación entre los Institutos de sus disciplinas en América y con las organizaciones internacionales afines.

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.

El IPGH se compone de los siguientes órganos panamericanos:

- 1) Asamblea General
- 2) Consejo Directivo
- 3) Comisión de:

Cartografía	(Montevideo, Uruguay)
Geografía	(Estados Unidos de América)
Historia	(México, D. F., México)
Geofísica	(San José, Costa Rica)

- 4) Reunión de Autoridades
- 5) Secretaría General (México, D.F., México)

Además, en cada Estado Miembro funciona una Sección Nacional cuyos componentes son nombrados por cada gobierno. Cuentan con su Presidente, Vicepresidente, Miembros Nacionales de Cartografía, Geografía, Historia y Geofísica.



Catastro multipropósito sostenible: una necesidad inaplazable
Manuel-G. Alcázar Molina • Levantamiento de límites de inmueble rural a partir de fotografías obtenidas por VANT, apoyadas por puntos GNSS
Gilda Maria Dias, Jeanine Cassini Peter, Marcelo Pereira, Ronaldo dos Santos da Rocha y Mário Reiss • Catastro 3D: sistemas de referencia altimétrica para parcelas y objetos territoriales
Diego Alfonso Erba, Gustavo Noguera y Aldo Mangiaterra • SIRGAS-WGIII activities for unifying height systems in Latin America
Silvio R.C. de Freitas • Cadastro Territorial como instrumento de desenvolvimento de projetos de requalificação urbana
Ricardo J. Bonilla y Andrea F.T. Carneiro • La confianza de la Información Geográfica Voluntaria (IGV)
Jesús Javier Marín López-Pastor • Reflexão contemporânea sobre a padronização dos Nomes Geográficos no Brasil
Claudio João Barreto dos Santos y Moema José de Carvalho Augusto • Comparación del método de Thiessen con alternativas más simples mediante simulación de Monte Carlo
Marcelo Guelfi y Carlos López-Vázquez • La calidad como aptitud para el uso: evaluación de la exactitud posicional de los productos topográficos digitales escala 1:50,000 del INEGI
Héctor Mario Gómora Morales • Participación y dinamicidad en las Infraestructuras de Datos Espaciales: una propuesta de indicadores para medir su impacto en la sociedad
Diego Randolf Perez, Daniela Ballari y Luis M. Vilches-Blázquez • Los costos ocultos de la Cartografía
José María Lazo Pritsch • MOSA (Mission-Oriented Sensor Arrays): una nova abordagem para o sensoriamento remoto embarcado em VANT's
Nina Machado Figueira, Onofre Trindade Junior, Eduardo do Valle Simões y Ana Carolina de Sousa Silva • Localización y estudio subpíxel del Volcán de Colima, México, en una imagen NOAA
José Miguel Gaspar Soriano

ISSN en trámite