

REVISTA
cartográfica

Número 94 • Enero a Junio • 2017



Instituto Panamericano de
Geografía e História

**AUTORIDADES DEL
INSTITUTO PANAMERICANO DE GEOGRAFÍA E HISTORIA
2013-2017**

PRESIDENTE

Ing. Rigoberto Magaña Chavarría

El Salvador

VICEPRESIDENTE

Dr. Roberto Aguiar Falconi

Ecuador

SECRETARIO GENERAL

Dr. Rodrigo Barriga-Vargas

Chile

COMISIÓN DE CARTOGRAFÍA

(Uruguay)

Presidente:

Dr. Carlos López Vázquez

Vicepresidente:

Mg. Yuri Sebastián Resnichenko Nocetti

COMISIÓN DE GEOGRAFÍA

(Estados Unidos de América)

Presidenta:

Geóg. Jean W. Parcher

Vicepresidenta:

Dra. Patricia Solís

COMISIÓN DE HISTORIA

(México)

Presidenta:

Dra. Patricia Galeana Herrera

Vicepresidente:

Dr. Adalberto Santana Hernández

COMISIÓN DE GEOFÍSICA

(Costa Rica)

Presidente:

Dr. Walter Fernández Rojas

Vicepresidente:

M. Sc. Walter Montero Pohly

MIEMBROS NACIONALES DE LA COMISIÓN DE CARTOGRAFÍA

Argentina

Agrimensor Sergio Rubén Cimbaro

Belice

Sr. Wilbert Vallejos

Bolivia

Cnl. DAEN José Oviedo Bustillos

Brasil

João Bosco de Azevedo

Chile

Dr. Carlos Mena Frau

Colombia

Fernando León Rivera

Costa Rica

M.Sc. Max Alberto Lobo Hernández

Ecuador

Tenl. Rafael Delgado

El Salvador

Sr. Mario Antonio Zeledón Flores

Estados Unidos de América

Eric Van Praag

Guatemala

Ing. Marcos Osmundo Sutuc Carillo

Haití

Ing. Arch. Pierre Alexilien Versaille

Honduras

Arq. Marilyn Villatoro

México

Ing. Raúl Ángel Gómez Moreno

Nicaragua

Lic. Israel Sánchez

Panamá

Cnel. SG Antonio Gavilán Estigarribia

Paraguay

Mayor EP Reynaldo Flores Rivero

Perú

Geóg. Susana Hernández

República Dominicana

Cnel. Daniel Píriz

Uruguay

Ing. Sergio Rodríguez

Venezuela

COMITÉS DE LA COMISIÓN DE CARTOGRAFÍA

Fortalecimiento Institucional y Cooperación Técnica

(Estados Unidos de América)

Hidrografía

(México)

Infraestructura de Datos Espaciales

(Colombia)

Cartografía Temática

(Argentina)

**INSTITUTO PANAMERICANO
DE GEOGRAFÍA E HISTORIA**

REVISTA
cartográfica



NÚMERO 94

ENERO-JUNIO 2017

REVISTA CARTOGRÁFICA

Publicación anual fundada en 1952
Indizada en PERIÓDICA y Latindex
Disponible en: Cengage Learning, 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)
Av. Brasil 15.671 – Parada de Lucas
Cep 21.241-051, Rio de Janeiro, RJ, Brasil
Correo electrónico: valeria.araujo@ibge.gov.br

Canje, venta y distribución de publicaciones, escribir a:
Instituto Panamericano de Geografía e Historia
Secretaría General

Apartado Postal 18879, C.P. 11870 Ciudad de México, México
Teléfonos: (52-55)5277-5888, 5277-5791 y 5515-1910 Fax: (52-55)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, Instituto Brasileño de Geografía y Estadística (IBGE).

Fuente de la imagen / Source / Fonte da Imagem: Logotipo del Proyecto “Mapa Integrado Andino del Norte —MIAN”. Iniciativa liderada por el IPGH, CAF-Banco de Desarrollo de América Latina en el contexto del Programa GeoSUR.

© 2017 Instituto Panamericano de Geografía e Historia.

Revista Cartográfica, núm. 94, enero-junio 2017, es una publicación semestral editada por el Instituto Panamericano de Geografía e Historia, Ex-arzobispado núm. 29, Col. Observatorio, Delegación Miguel Hidalgo, C.P. 11860, Ciudad de México, Tels. (52-55)5277-5888, 5277-5791, 5515-1910, www.ipgh.org, publicaciones@ipgh.org. Editora Valéria Oliveira Henrique de Araújo, valeria.araujo@ibge.gov.br. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo núm. 04-2015-083116275400-102, ISSN 0080-2085 ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Licitud de título y contenido: en trámite. Responsable de la última actualización de este número: Departamento de Publicaciones del IPGH, Ex arzobispado núm. 29, Col. Observatorio, Delegación Miguel Hidalgo, C.P. 11860, Ciudad de México, México. Fecha de última modificación: 20 de febrero de 2018.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación.

Queda estrictamente 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 94

ENERO-JUNIO 2017

Contenido

Nota Editorial	7
El Mapa Integrado Andino del Norte <i>Ángel Martín, Juan José Contreras, Edson Salinas Percy Valverde, Rafael Balbi, Vinicius E. Medeiros Alessandra Vianey, Amadeo Fajardo, Paulina Guerrón Eliana Tene, Elizabeth Sámuels, Ariel Agrazal Reynaldo Flores, Wilman Avilés, Jean Parcher Roberto Lugo, Luis Miguel Blanco y Antonio F. Rodríguez</i>	11
When paths cross: maintaining utility of trajectory data in geomasking <i>Dara E. Seidl</i>	29
Measuring conflation success <i>Marta Padilla-Ruiz Carlos López-Vázquez</i>	41
Métodos de evaluación de la calidad posicional en Hispanoamérica: análisis de la situación <i>F. Javier Ariza-López Emerson Xavier Elena Chicaiza Xavier Buenaño</i>	65
Predicción de alturas geoidales geométricas por redes neuronales artificiales <i>José Carrión Alfonso Tierra Daniel del Cogliano</i>	89
Proyección Cónica Equivalente de Albers: propiedades y aplicación para México <i>Mariana Vallejo Velázquez Jesús Abraham Navarro Moreno</i>	105

Uso do software livre QGIS (Quantum GIS) para ensino de Geoprocessamento em nível superior <i>Marcia Harumi Ito</i> <i>Homero Fonseca Filho</i> <i>Luís Américo Conti</i>	127
Deforestation in the Kayabi Indigenous Territory: Simulating and Predicting Land Use and Land Cover Change in the Brazilian Amazon <i>Hugo de Alba Martínez</i>	149
Detección digital de Sistemas Convectivos de Mesoescala a partir de imágenes meteorológicas multiespectrales <i>Salomón Ramírez</i> <i>Ivan Lizarazo</i>	165
El Mapa de América Meridional de Juan de la Cruz Cano de 1775, y los problemas territoriales de España en Brasil <i>José Andrés Jiménez Garcés</i>	189
Instructivo para autores	209

Revista Cartográfica número 94

Comité Editorial

Alexandre Jose Almeida Teixeira
Instituto Brasileiro de Geografia e
Estatística —IBGE e Centro Universitário
Moacyr Sreder Bastos (Brasil)

Anna Lucia Barreto de Freitas
Consultora (Brasil)

André Figueiredo Rodrigues
Universidade Estadual Paulista —UNESP
(Brasil)

Andrea Lopes Iescheck
Universidade Federal de Rio Grande do
Sul —UFRGS (Brasil)

Carlos Frederico de Sá Volotão
Instituto Militar de Engenharia —IME
(Brasil)

Carlos López-Vázquez
Laboratorio LatinGEO SGM e Universidad
ORT (Uruguay)

Christophe Claramunt
Naval Academy Research Institute
(França)

Cláudia Robbi Sluter
Universidade Federal do Paraná —UFPR
(Brasil)

Claudio A. Valdenegro Cerda
Consultor (Chile)

Cláudio João Barreto dos Santos
Universidade do Estado do Rio de Janeiro
—UERJ (Brasil)

Diego Alfonso Erba
Consultor (Argentina)

Fabián Barbato
Land & Sea Surveyor Engineer (Uruguay)

Katia Regina Goes Souza
—IBGE (Brasil)

Leonardo Scharth Loureiro Silva
—IBGE e Universidade Federal
Fluminense — UFF (Brasil)

Luis Vilches
Pontificia Universidad Javeriana
(Colômbia)

Luíz Henrique Guimarães Castiglione
Universidade do Estado do Rio de Janeiro
—UERJ (Brasil)

María Virginia Mackern
Universidad Nacional de Cuyo (Argentina)

Mauricio Gonçalves e Silva
—IBGE (Brasil)

Moema José de Carvalho Augusto
Consultora (Brasil)

Oswaldo Muñoz Solari
Texas State University (Estados Unidos de
América)

Paulo Roberto Alves da Silva
Universidade Federal Fluminense —UFF
(Brasil)

*Raquel Aparecida Abrahão Costa e
Oliveira*
Instituto Militar de Engenharia —IME
(Brasil)

Roberto Teixeira Luz
—IBGE e Universidade do Estado do Rio
de Janeiro —UERJ (Brasil)

Ronaldo dos Santos Rocha
Universidade do Estado de Rio Grande do
Sul —UFRGS (Brasil)

Valéria Oliveira Henrique de Araújo
—IBGE (Brasil)

Yuri Resnichenko
Universidad de la República (Uruguay)

Nota Editorial

En este último número de la *Revista Cartográfica* bajo mi gestión, celebramos el final de la jornada 2013-2017 que fue provechosa y positiva para todos.

Específicamente en este período que tuve la oportunidad de coordinar los trabajos, tuvimos grandes avances que seguramente van a elevar el padrón de calidad de la Revista, haciendo que cada vez sea más leída y reconocida por lectores de las Américas y del mundo.

Hoy, la Revista está disponible en formato digital en la nueva página web <<http://comisiones.ipgh.org/CARTOGRAFIA/revista-cartografica.html>> y a través de las ediciones impresas que todavía se hacen a pedido. En el año 2015 obtuvimos el Latindex, importante indexador de publicaciones de las Américas y en 2016 la periodicidad pasó de una para dos ediciones al año con una media de 12 artículos por edición, teniendo como meta futura la obtención de otros indexadores de prestigio. El cuadro de revisores del Comité Editorial pasó de ocho a setenta profesionales altamente calificados, de diversos países y con artículos en los cuatro idiomas oficiales del IPGH (español, inglés, portugués y francés). Los criterios y procedimientos de revisión también se perfeccionaron mediante el uso del doble ciego y de la hoja de revisión padrón, para la colocación de los comentarios de los revisores. La Comisión de Cartografía creó el “Premio de Tesis”, que además de honrar importantes trabajos de maestría y doctorado, fomenta parte de los artículos que se publican en la Revista.

En esta edición contamos con cuatro artículos oriundos del “Premio de Tesis”, dos de los proyectos sometidos a las Convocatorias del IPGH y los demás presentados por investigadores distintos de la comunidad científica. Son un total de diez artículos de siete países diferentes.

Destaco aquí, por la importancia, el alcance geográfico y el número de profesionales involucrados en el artículo del “Proyecto Mapa Integrado Andino Norte”, que trata de la oferta de datos geoespaciales para la región a través de la disponibilidad y acceso a la información cartográfica regional certificada, de calidad, integrada y armonizada a nivel supranacional. Una constatación durante el desarrollo de este proyecto fue que además de la generación de datos e informaciones hubo la oportunidad de entendimiento y confraternización entre las diversas instituciones de las Américas y fuera de ella. Actualmente, el IPGH y sus asociados trabajan en el Mapa Integrado de América del Sur. Para eso, IPGH cuenta con el apoyo del Centro Nacional de Información Geográfica de España —CNIG, dependiente del Instituto Geográfico Nacional de España, así como con el apoyo del Banco de Desarrollo de América Latina (CAFF), en el contexto del Programa GeoSUR. Es importante destacar que ese mapa permitirá la transferencia de conocimiento especializado a los institutos de los países participantes, lo que ciertamente contribuirá al fortalecimiento de la capacidad técnica de las instituciones involucradas.

Veo que potencialmente los resultados de este proyecto podrán añadirse a la Red Academia de las Américas del UN-GGIM (ANA), que tendrá el objetivo de facilitar el acceso a la investigación y capacitación en la región.

Aprovecho la oportunidad para despedirme y decir que fue un placer formar parte de este equipo durante los últimos cuatro años. Agradezco la invitación inicial de Santiago Borrero para coordinar la Revista; el apoyo incondicional de Rodrigo Barriga en la Secretaría General del IPGH y de todo su equipo; a Julieta García y colaboradores del sector de Publicaciones del Instituto un agradecimiento especial por la enorme paciencia y estupenda educación en soportarme con mis innumerables y siempre urgentes demandas; a Carlos López mi gratitud muy especial por todo lo que me enseñó y por el compañerismo demostrado en el trabajo conjunto, ejecutado en el ámbito de la Comisión de Cartografía. Y finalmente, mis sinceros agradecimientos a los colegas revisores y a los autores que, respectivamente, dedicaron su tiempo las revisiones detalladas de los muchos artículos y creyeron en la Revista como canal de divulgación de conocimiento geocientífico.

¡Gracias a todos y hasta pronto!
Valeria Oliveira Henrique de Araújo

Editorial

In the last edition of the *Cartographic Journal* as its publisher, I celebrate a fruitful and positive 2013-2017 journey.

In this period, I had the opportunity to coordinate major advances, which will certainly rise the quality standard of the journal, making it even more recognized by readers in the Americas and in the world.

The journal is now published in digital format in the new web page <<http://comisiones.ipgh.org/CARTOGRAFIA/revista-cartografica.html>>, though the printed editions are still published on demand. We obtained the Latindex in 2015, an important indexing system of publications in the Americas. In 2016, the periodicity changed to two editions per year, with an average of 12 articles per edition. As a future goal, we aim at obtaining other prestigious indexing systems. The number of reviewers of the Editorial Board changed from eight to 70 highly-skilled professionals from different countries, reviewing articles in the four official languages of the PAIGH (Spanish, English, Portuguese and French). The review criteria and procedures have also been improved, by using the double blind system and standard sheets to include the reviewers' comments. The Cartography Commission created the "Prize for the Outstanding Postgraduate's Thesis", which fosters part of the articles published in the journal, in addition to awarding relevant Master's and Doctorate's works.

Four articles from the Prize for Thesis are included in this edition, two from projects submitted to PAIGH's calls and the others submitted by different researchers from the scientific community. They are ten articles from seven different countries.

Considering the importance, geographic coverage and number of professionals involved, I highlight the article on the "North Andean Integrated Map Project", which deals with the supply of geo-spatial data for the region through the access to certified, high-quality, integrated and harmonized regional cartographic information at supranational level. Beyond the generation of data and information, this project was an opportunity for agreement and confraternization among different institutions within and outside of the Americas. Today, the PAIGH and its partners work in the Integrated Map of South America. To accomplish this, the PAIGH is supported by the Spain's National Center for Geographic Information —CNIG, subordinate to the National Geographic Institute of Spain, as well as by the Development Bank of Latin America —CAF, under the GeoSUR Program. It is worth highlighting that this map will allow the transfer of expertise to the participating countries, which will certainly contribute to strengthen the technical skills of the institutions involved.

I envisage that the results of this project will be included in the UN-GGIM's Academy Network of the Americas —ANA, which aims at facilitating the access to research and qualification in the region.

I take this opportunity to say goodbye and state that it was a pleasure to be part of this staff over the four last years. I thank Santiago Borrero for the initial invitation to coordinate the journal; the full support of Rodrigo Barriga and his team at the PAIGH's General Secretariat; a special gratitude to Julieta Garcia and her team at the PAIGH's Publications sector for the extreme patience and superb education in supporting me with countless and always urgent demands; a special thanks to Carlos Lopez for everything he taught me and the partnership in the Cartography Commission. Finally, my sincere thanks to the reviewers who dedicated their time to detailed reviews of a number of articles, and to the authors who considered the journal a dissemination channel of geoscientific knowledge.

Thank you all! See you soon!
Valeria Oliveira Henrique de Araújo

Editorial

Neste último número da *Revista Cartográfica*, sob a minha gestão, celebramos o final da jornada 2013-2017 de forma proveitosa e positiva para todos.

Especificamente neste período que tive a oportunidade de coordenar os trabalhos tivemos grandes avanços que certamente vão elevar o padrão de qualidade da revista fazendo com que a mesma seja cada vez mais lida e reconhecida por leitores das Américas e do mundo.

Hoje, a revista agora é disponibilizada em formato digital na nova página web <<http://comisiones.ipgh.org/CARTOGRAFIA/revista-cartografica.html>> e as edições impressas ainda são feitas, entretanto, sob demanda. Em 2015 obtivemos o Latindex, importante indexador de publicações das Américas e, em 2016 a periodicidade passou de uma para duas edições ao ano com uma média de 12 artigos por edição, tendo como meta futura a obtenção de outros indexadores de prestígio. O quadro de revisores do Comitê Editorial passou de oito para setenta profissionais altamente qualificados de diversos países com artigos nos quatro idiomas oficiais do IPGH (espanhol, inglês, português e francês). Os critérios e procedimentos de revisão também foram aperfeiçoados através do uso do duplo cego e de planilha padrão para colocação dos comentários dos revisores. A Comissão de Cartografia criou o “Prêmio de Teses” que, além de premiar importantes trabalhos de mestrado e doutorado fomenta parte dos artigos que são publicados na revista.

Nesta edição contamos com quatro artigos oriundos do Prêmio de Teses, dois dos projetos submetidos as Convocatórias do IPGH e os demais apresentados por pesquisadores distintos da comunidade científica. São um total de dez artigos de sete países diferentes.

Destaco aqui, pela importância, abrangência geográfica e número de profissionais envolvidos o artigo do “Projeto Mapa Integrado Andino Norte” que trata da oferta de dados geoespaciais para a região através da disponibilização e acesso à informação cartográfica regional certificada, de qualidade, integrada e harmonizada a nível supranacional. Uma constatação durante o desenvolvimento desse projeto foi que além da geração de dados e informações houve a oportunidade de entendimento e congraçamento entre as diversas instituições das Américas e fora dela. Atualmente, o IPGH e seus parceiros trabalham no Mapa Integrado da América do Sul. Para isso, IPGH conta com o apoio do Centro Nacional de Informação Geográfica da Espanha –CNIG, subordinado ao Instituto Geográfico Nacional da Espanha, bem como com o apoio do Banco de Desenvolvimento da América Latina (CAF), no contexto do Programa GeoSUR. Importante destacar que esse mapa permitirá a transferência de conhecimento especializado aos institutos dos países participantes, o que certamente contribuirá para o fortalecimento da capacidade técnica das instituições envolvidas.

Vejo que potencialmente os resultados desse projeto poderão se agregar à Rede Academia das Américas do UN-GGIM (ANA), que terá o objetivo de facilitar o acesso à pesquisa e capacitação na região.

Aproveito a oportunidade para me despedir e dizer que foi um prazer fazer parte dessa equipe ao longo desses últimos quatro anos. Agradeço o convite inicial de Santiago Borrero para coordenar a revista; o apoio incondicional de Rodrigo Barriga na Secretaria Geral do IPGH e de toda a sua equipe; a Julieta Garcia e toda equipe do setor de Publicações do IPGH um agradecimento especial pela enorme paciência e estupenda educação em me suportar com minhas inúmeras e sempre urgentes demandas; a Carlos Lopez um muito obrigada muito especial por tudo o que me ensinou e pela parceria do trabalho conjunto no âmbito da Comissão de Cartografia. E, finalmente meus sinceros agradecimentos aos colegas revisores e aos autores que, respectivamente, dedicaram seu tempo as revisões detalhadas dos muitos artigos e, acreditaram na revista como canal de divulgação de conhecimento geocientífico.

Obrigada a todos e até breve!
Valéria Oliveira Henrique de Araújo

El Mapa Integrado Andino del Norte

Ángel Martín, Juan José Contreras, Edson Salinas y Percy Valverde*
Rafael Balbi y Vinicius E. Medeiros**
Alesandra Vianey y Amadeo Fajardo***
Paulina Guerrón y Eliana Tene■
Elizabeth Sámuels y Ariel Agrazal◆
Reynaldo Flores y Wilman Avilés●
Jean Parcher y Roberto Lugo✦
Luis Miguel Blanco y Antonio F. Rodríguez✦

Recibido el 28 de noviembre de 2016; aceptado el 30 de enero de 2017

Abstract

The Integrated North Andean Map, is an initiative led by the Pan American Institute for Geography and History (PAIGH) and supported by the CAF/Latin American Development Bank, in the context of the GeoSUR Program. The aim of this initiative is to develop the first Integrated Map of the countries of the North Andean area at 1:250,000 scale through the coordinated work of the Geographic Institutes of Panama, Colombia, Ecuador, Peru and Bolivia.

This initiative also receives the specialized guidance and technical coordination provided by the National Centre for Geographic Information (CNIG) of the National Geographic Institute of Spain. In addition, the National Section of the PAIGH in the United States of America has made special contributions through the International Technical Assistance Program of the Department of the Interior (DOI-ITAP) and the United States Agency for International Development (USAID); there has also

* Instituto Geográfico Militar (IGM Bolivia).

** Instituto Brasileiro de Geografia y Estadística (IBGE).

*** Instituto Geográfico Agustín Codazzi de Colombia (IGAC).

■ Instituto Geográfico Militar (IGM Ecuador).

◆ Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia de Panamá (IGNTG).

● Instituto Geográfico Nacional (IGN Perú).

✦ Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS).

✦ Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG, España).

been the specialized advice of the Geological Service of the United States (USGS).

The map is intended to benefit all of the geographic information users in the countries of the Community of Andean Nations by means of making available and providing access to quality regional cartographic information that is official, integrated and harmonized at supranational level.

This project integrates the main feature types of Hydrography, Administrative Boundaries, Settlements and urban areas, Transport networks, Land Morphology and some elements considered as indispensable to understanding the geography of each country, grouped under the title Miscellaneous.

A participative methodology makes it possible not only to integrate technical criteria for the geospatial information of five countries, but also to ensure continuity for this Project by means of the commitment and integration between the official Geographic Institutes of each country, at a scale that is useful for regional planning and territorial organization.

Among the potential uses of this information, one can mention planning for development projects, environmental studies, infrastructure, environmental impact, management of natural disasters, climate change studies and projects for cross-frontier integration, among others.

The expectation for the future of this map is to integrate it with the Integrated Map of Centroamerica and then, with the Integrated Map of the rest of South America.

Key words: *Central America Integrated, Andean, PAIGH, CAF, GeoSUR, Panama, Colombia, Ecuador, Peru and Bolivia.*

Resumo

O Mapa Integrado Andino do Norte, é uma iniciativa liderada pelo Instituto Panamericano de Geografia e História (IPGH) e apoiada pelo Banco de Desenvolvimento da América Latina (CAF), no contexto do Programa GeoSUR, que tem por objeto desenvolver o Primeiro Mapa Integrado dos países Andinos do Norte na escala 1:250,000 através do trabalho coordenado dos Institutos Geográficos do Panamá, Colômbia, Equador, Peru e Bolívia.

Esta iniciativa contou com a assessoria especializada e coordenação técnica do Centro Nacional de Informação Geográfica (CNIG) do Instituto Geográfico Nacional da Espanha e com a contribuição especial da Seção Nacional do IPGH nos Estados Unidos da América, através do Programa de Assistência Técnica Internacional do Departamento do Interior (DOI-ITAP), da Agência dos Estados Unidos para o Desenvolvimento Internacional (USAID) e, com a assessoria do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS).

O mapa tem por finalidade beneficiar o conjunto de usuários de informação geográfica dos países da Comunidade Andina das Nações através da disponibilização e acesso a informação cartográfica regional oficial, de qualidade, integrada e harmonizada a nível supranacional.

Este projeto integra os principais elementos da Hidrografia, Limites Administrativos, Povoados, Vias, Morfologia do Terreno e alguns elementos considerados como indispensáveis para entender a geografia de cada país, agrupados sob o título de Miscelâneas.

Uma metodologia participativa permite integrar não somente critérios técnicos da informação geoespacial de cinco países, também permite assegurar a continuidade deste projeto através do compromisso e integração dos Institutos Geográficos oficiais de cada país, a uma escala útil para o planejamento regional e o ordenamento do território.

Dentre os potenciais usos desta informação se pode mencionar o planejamento de projetos de desenvolvimento, estudos ambientais, infraestrutura, impacto ambiental, prevenção de desastres naturais, estudos de mudança climática e projetos de integração fronteiriça, entre outros.

A perspectiva deste mapa no futuro, é integrá-lo ao mapa da América Central e posteriormente ao resto dos países da América do Sul.

Palavras chave: *Integrado, Andino, IPGH, CAF, GeoSUR, Panamá, Colômbia, Equador, Peru e Bolívia.*

Resumen

El Mapa Integrado Andino del Norte, es una iniciativa liderada por el Instituto Panamericano de Geografía e Historia (IPGH) y apoyada por CAF-Banco de Desarrollo de América Latina, en el contexto del Programa GeoSUR, que tiene por objeto desarrollar el Primer Mapa Integrado de los países Andinos del Norte a escala 1:250.000 a través del trabajo coordinado de los Institutos Geográficos de Panamá, Colombia, Ecuador, Perú y Bolivia.

Esta iniciativa contó con la asesoría especializada y coordinación técnica del Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG) del Instituto Geográfico Nacional de España y con la contribución especial de la Sección Nacional del IPGH en Estados Unidos de América, a través del Programa de Asistencia Técnica Internacional del Departamento del Interior (DOI-ITAP), de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID) y con la asesoría del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS).

El mapa tiene por finalidad beneficiar al conjunto de usuarios de información geográfica de los países de la Comunidad Andina de Naciones a través de la disponibilidad y acceso a información cartográfica regional oficial, de calidad, integrada y armonizada a nivel supranacional.

Este proyecto integra los principales elementos de la Hidrografía, Límites Administrativos, Poblados, Vías, Morfología del Terreno y algunos elementos considerados como indispensables para entender la geografía de cada país, agrupados bajo el título Miscelánea.

Una metodología participativa permite integrar no solo criterios técnicos de la información geoespacial de cinco países, también permite asegurar la continuidad de este proyecto a través del compromiso e integración de los Institutos Geográficos oficiales de cada país, a una escala útil para la planificación regional y el ordenamiento del territorio.

Entre los potenciales usos de esta información se puede mencionar la planificación de proyectos de desarrollo, estudios ambientales, infraestructura, impacto ambiental, prevención de desastres naturales, estudios de cambio climático y proyectos de integración fronteriza, entre otros.

La proyección futura de este mapa es unirlo con el Mapa Integrado de Centroamérica y en el futuro con el Mapa Integrado de toda Sudamérica.

Palabras clave: *Integrado, Andino, IPGH, CAF, GeoSUR, Panamá, Colombia, Ecuador, Perú y Bolivia.*

Antecedentes

Los innumerables eventos y desastres naturales que han venido aconteciéndose en las diferentes partes del mundo han tenido grandes repercusiones desde el punto de vista económico, ambiental y social.

En ese contexto, disponer de información confiable y oportuna es la base fundamental para una adecuada planificación preventiva y una gestión eficaz de la situación posterior, es aquí en donde la geoinformación se convierte en un instrumento básico y fundamental para que los países puedan realizar una adecuada toma de decisiones.

Un desastre natural no tiene límites políticos ni administrativos, su afectación traspasa fronteras y los fenómenos que lo provocan son transnacionales; por tal motivo, la información requerida para su gestión es de escala global y se necesita una amplia participación de todos quienes habitamos este planeta.

Esa información requerida es de diferente índole y temática, pero en cualquier caso se construye sobre la cartografía básica, la cual es generada de manera oficial por los institutos cartográficos o geográficos de cada país. Lograr un mapa base unificado a nivel mundial era un objetivo que perseguía la iniciativa internacional del Mapa Global y nuestra región contribuyó a través del Grupo de Trabajo del Mapa Global de las Américas (MGA) en el 2005, a la escala de trabajo 1:1.000.000. Este objetivo fue alcanzado parcialmente a través del proyecto “Integración de Datos Mapa Global de Sudamérica” que fue concretado a fines del año 2012 (Hunt, 2012).

Una mayor escala con un mayor grado de detalle fue el siguiente reto, esta necesidad fue presentada inicialmente a través de una solicitud al Instituto Panamericano de Geografía e Historia (IPGH) en el 2009 y se plasmó en la iniciativa del “Mapa Integrado de Centroamérica” a escala 1:250,000 (Norori y otros, 2013) (véase la Figura 1).

En la ejecución de este proyecto se desarrollaron cuatro talleres técnicos llevados a cabo desde el 2011 hasta el 2014, contando con la participación de los institutos geográficos, cartográficos, centros y direcciones nacionales responsables de la cartografía oficial de los países de Centroamérica y de México, se obtuvo como resultado un mapa digital integrado con la cartografía base de toda esa región: sur de México, Belice, Guatemala, Honduras, El Salvador, Nicaragua, Costa Rica y Panamá, con la cooperación del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) y el apoyo de la CAF-Banco de Desarrollo de América Latina.

La información cartográfica básica obtenida de ese proyecto fue: poblados, mancha urbana, límites administrativos, carreteras, ríos y cuerpos de agua.

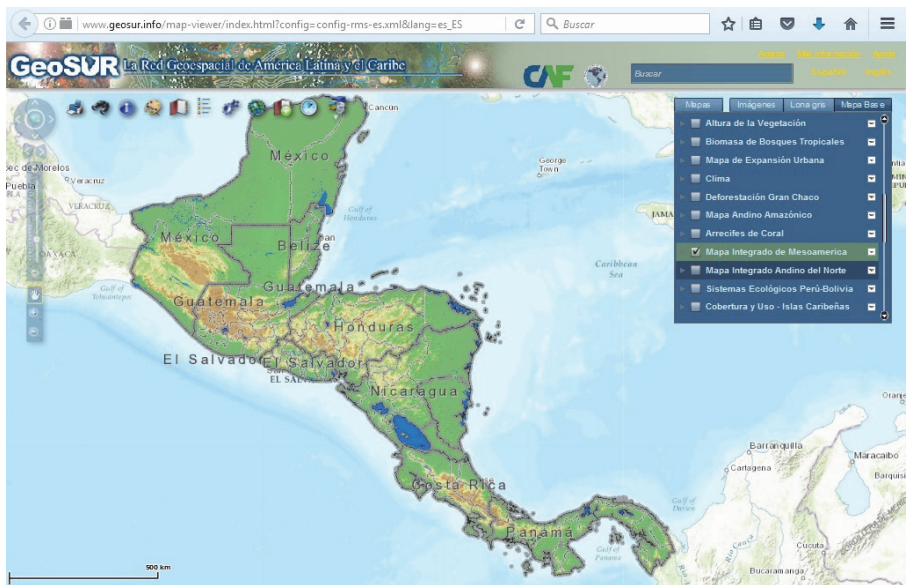


Figura 1. Mapa Integrado de Centroamérica.

Siguiendo con esa iniciativa en el 2014 nace el proyecto “Mapa Integrado Andino del Norte (MIAN)”, con la participación de los Institutos Geográficos de la región norte de Suramérica: Panamá como enlace con el proyecto “Mapa Integrado de Centroamérica”, Colombia, Ecuador, Perú y Bolivia. Para este proyecto se contó con la asesoría y asistencia técnica del Centro Nacional de Información Geográfica

de España (CNIG), la cooperación del USGS y el auspicio de la CAF-Banco de Desarrollo de América Latina.

Para la ejecución del MIAN se desarrollaron tres talleres técnicos en el 2015, y un taller intermedio, con la participación del Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia de Panamá, el Instituto Geográfico Agustín Codazzi de Colombia, el Instituto Geográfico Militar de Ecuador, el Instituto Geográfico Nacional de Perú y el Instituto Geográfico Militar de Bolivia. En el tercer taller se obtuvo como resultado una primera versión del Mapa Integrado de estos países a escala 1:250,000, con la información de poblados, mancha urbana, límites administrativos, carreteras, ríos, cuerpos de agua, formas hidrográficas, línea de ferrocarril, islas.

En mayo de 2016, se desarrolló el cuarto taller del MIAN, en el cual se incorporó el Instituto Brasileño de Geografía y Estadística (IBGE), como una iniciativa para el enlace con el nuevo proyecto de “Mapa Integrado de América del Sur” (MIAS), el cual tuvo también la colaboración del CNIG y en el tema del grafo de hidrografía la asistencia técnica del USGS.

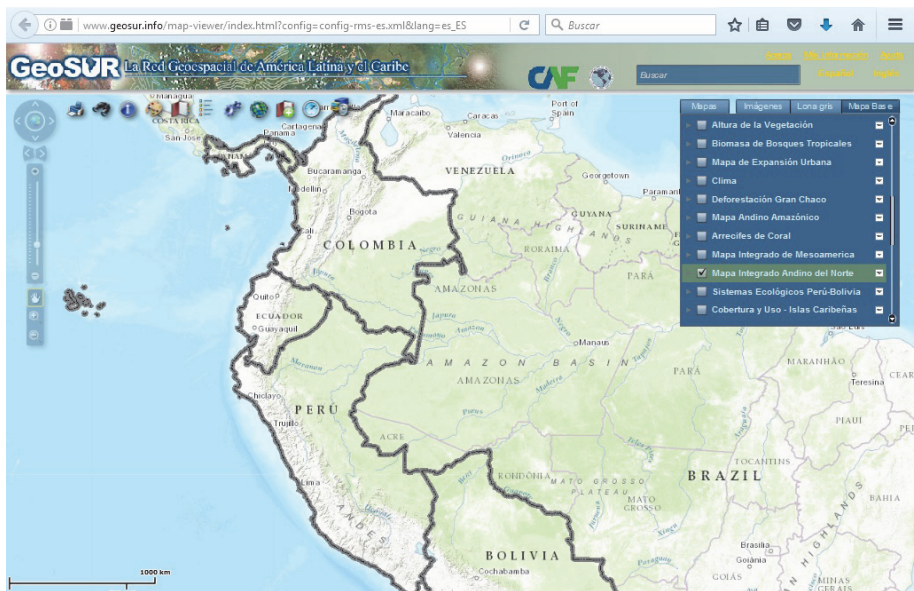


Figura 2. El WMS MIAN en el Visualizador regional del Programa GeoSUR.

Con los resultados obtenidos del “Mapa Integrado de Centroamérica” y la primera versión obtenida del “Mapa Integrado Andino del Norte”, ya se tiene disponible una base cartográfica consensuada, continua, armonizada y oficial de 12 países

de Centro y Suramérica, generada por los organismos rectores de la cartografía en sus respectivos países.

El servicio WMS de la base cartográfica del MIAN (Rodríguez, 2016) está disponible en el Visualizador regional del Programa GeoSUR (véase la Figura 2) y tiene una licencia consensuada por los países miembros del tipo CC BY 4.0, la cual permite un libre uso y requiere la mención de la fuente de la siguiente forma: CC BY 4.0 CAF, IPGH, Programa GeoSUR, IGM Bolivia, IGAC Colombia, IGM Ecuador, IGTG Panamá, IGN Perú.

Todas las iniciativas plasmadas y ejecutadas a través de los proyectos MI (Mapas Integrados) de Centroamérica, MIAN y MIAS, conllevan al cumplimiento de un objetivo macro, la conformación y generación del Mapa de las Américas.

Objetivos

Objetivo general

El objetivo general y esencial del proyecto MIAN es producir de manera colaborativa el primer mapa digital integrado de datos geoespaciales a escala 1:250.000 basado en datos oficiales de los países Andinos del Norte, Bolivia, Colombia, Ecuador y Perú, y como enlace con Centroamérica, Panamá.

El concepto de integrado quiere decir que se trata de una mapa digital con continuidad geométrica y semántica, con un modelo único y sin costuras (*seamless*), es decir que no presenta diferencias técnicas al pasar de un país a otro más allá de las que se derivan de diferencias en el mundo real.

Objetivos específicos

- Desarrollar talleres técnicos de integración y empalme de los datos geoespaciales oficiales a escala 1:250.000, proporcionados por los Institutos Geográficos de cada país participante.
- Consensuar acuerdos referentes a: Especificaciones Técnicas, Catálogo de Objetos, Modelo UML, Política de Datos, Metadatos, Licencia de uso, entre otros.
- Producir documentación técnica complementaria y normalizada: especificaciones de producto, catálogo de objetos, catálogos de representación (Proyecto MIAN, 2016) y documentación (artículos, presentaciones, etc.).
- Llevar a cabo una campaña de difusión del proyecto MIAN en blogs, redes sociales y listas de correo, además de eventos presenciales.

- Publicar las bases cartográficas oficiales generadas y consensuadas en el Proyecto MIAN, unificadas en un único conjunto de datos a través de un servicio WMS visible en el Visualizador Regional del Programa GeoSUR.

Desarrollo de los talleres participativos

En los talleres del proyecto MIAN han participado regularmente el doctor Rodrigo Barriga (IPGH), el doctor Santiago Borrero (CAF y GeoSUR), el ingeniero Roberto Lugo (USGS), los ingenieros Antonio F. Rodríguez y Luis Miguel Blanco (CNIG) y técnicos especialistas de los Geoinstitutos implicados (véase la Figura 3):

- Instituto Geográfico Militar (Bolivia)
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (Colombia)
- Instituto Geográfico Militar (Ecuador)
- Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia (Panamá)
- Instituto Geográfico Nacional (Perú)

Además, han colaborado los directores de los Institutos implicados en el Primer Taller, el Director del Instituto anfitrión en cada caso, designó personal de apoyo, al comité organizador local y expertos adicionales, y por último, en el Cuarto Taller se tuvo una nutrida representación del IBGE de Brasil.



Figura 3 De izquierda a derecha y de arriba abajo, 1º, 2º, 3º y 4º Taller MIAN.

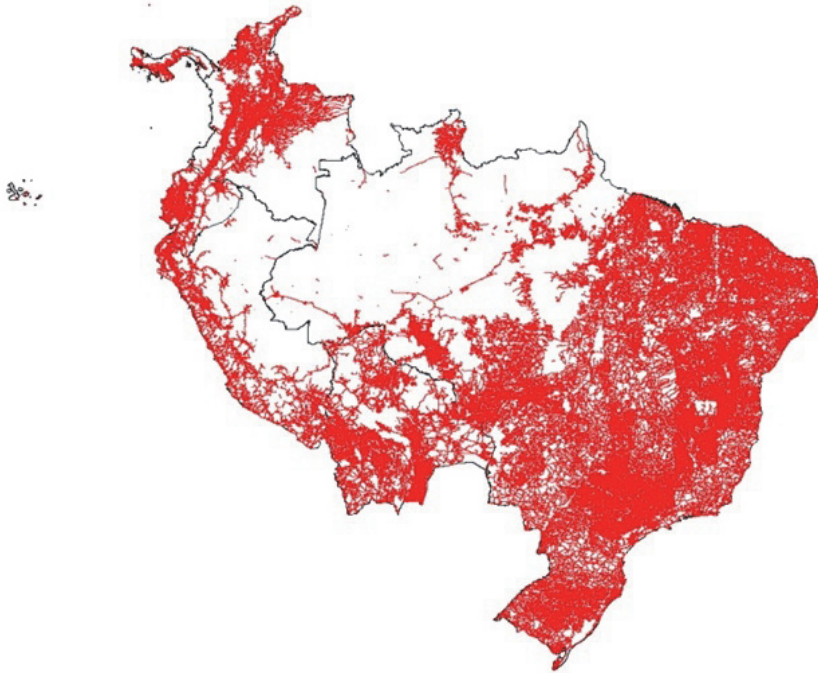


Figura 4. Carreteras de los países MIAN y Brasil.

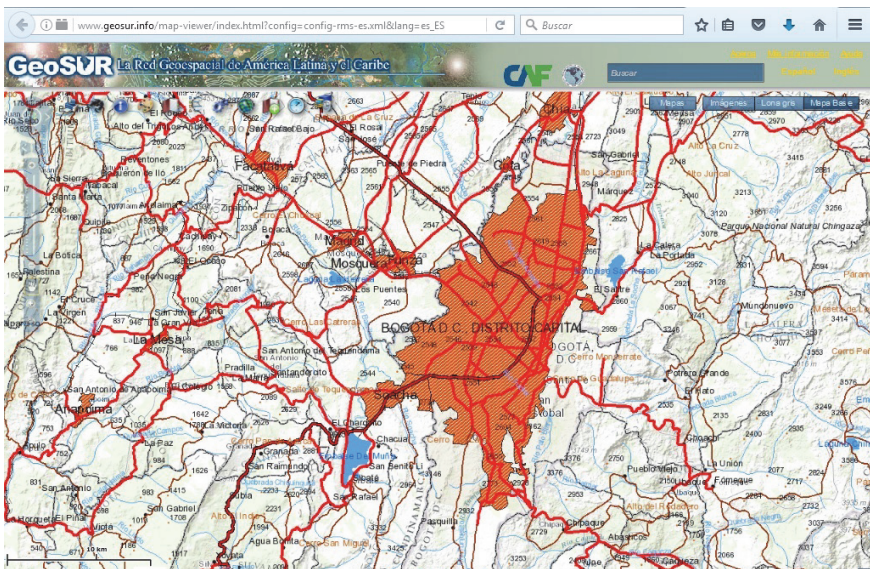


Figura 5. Web Map Service del Mapa Integrado Andino del Norte.

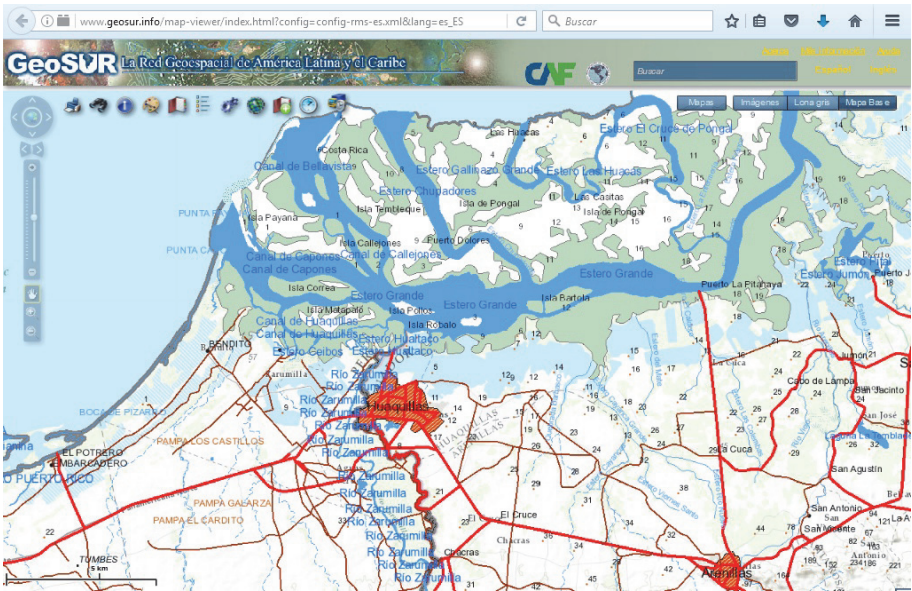


Figura 6. Visualización del Mapa integrado Andino del Norte.

Se han llevado a cabo cuatro talleres de trabajo práctico conjunto de una semana de duración, de lunes a viernes, entre seis y siete horas de trabajo al día, con una reunión previa de coordinación el domingo anterior, excepto en el Cuarto Taller que se celebró el mismo lunes por la mañana, al que asistieron los participantes del IPGH, GeoSUR, USGS, CNIG y el comité organizador local.

Adicionalmente se ha celebrado un taller intermedio de dos días de duración.

Primer Taller

Se celebró del 9 al 13 de febrero de 2015 en la sede del IGAC en Bogotá, Colombia.

Como preparación previa al taller, el CNIG había distribuido una encuesta para conocer en detalle las especificaciones de los datos que cada país aportaría al proyecto. En este Taller de arranque se contó con la presencia y el compromiso directo de los directores de los Geoinstitutos participantes. Se cohesionó un equipo de trabajo multinacional y cada país expuso las características principales de su cartografía.

Como resultados, se definió el marco general de trabajo, se consensuaron las decisiones más importantes: una primera versión de especificaciones y de Catálogo de objetos. Se comenzó el trabajo de case de contornos de país y de Hidrografía. Se consensuó un programa de trabajo para seguir avanzando.

Taller Intermedio

Tuvo lugar el 7 y 8 de abril de 2015 en las oficinas del Instituto Geográfico Nacional (IGN) de Perú, Lima. Los objetivos de este taller eran dos, por un lado incorporar al Instituto Geográfico Militar de Bolivia, que no asistió al Primer Taller por causas de fuerza mayor, consensuando los objetivos, las especificaciones generales, el plan de trabajo y la filosofía general, y empezar a trabajar en los casos entre Bolivia y Perú.

Se incorporó al Instituto Geográfico Militar de Bolivia a los consensos generados en el Primer taller, se elaboró un calendario de entregas de datos para esta institución y se iniciaron los trabajos de case.

Segundo Taller

Celebrado del 13 al 17 de julio de 2015 en la sede del Instituto Geográfico Militar (IGM) de Ecuador. Se perfiló un Catálogo prácticamente definitivo de objetos geográficos, estructurado en temas, objetos y atributos, un modelo conceptual en UML y se progresó notablemente en la finalización de los contornos de país y los casos de información, con lo que quedaron una serie de problemas puntuales cuya resolución quedó planificada antes del siguiente taller.

Se resolvieron las incidencias encontradas en los procesos de chequeo ejecutado por el CNIG, se planteó e inició la generación de los ejes de la Hidrografía y hubo una primera sesión de exposición de la metodología de generación del grafo de Hidrografía a cargo del ingeniero Roberto Lugo (USGS).

Tercer Taller

Tuvo lugar del 16 al 20 de noviembre de 2015, en oficinas coordinadas por el Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia (IGNTG) en la Ciudad de Panamá, Panamá.

Se corrigieron los problemas de detalle pendientes en cuanto a case de la información, y se trabajó intensamente en el refinamiento de los datos, corrigiendo las incidencias detectadas por el CNIG en sus rutinas de chequeo.

Se aprobaron una serie de decisiones y recursos: llegando a un consenso definitivo del Catálogo de Objetos Geográficos, el Modelo UML y las especificaciones de producto; se hizo una práctica de generación de metadatos conforme a LAMP v1.0 (versión 1 del Perfil Latinoamericano de Metadatos); se acordó adoptar como simbología de representación la adoptada como norma por el IPGH plasmada en dos documentos aportados por el IGM de Ecuador; se determinó no considerar las curvas de nivel, toda vez que completar el case para ese objeto constituía en varios casos un trabajo excesivo, se decidió utilizar el SRTM, gratuito y homogéneo. El tema de Morfología del Terreno queda reducido a Puntos acotados.

Se consensuó como periodo de actualización cinco años y adoptar una licencia CC BY (reconocimiento) 4.0 para el servicio WMS. Por último se eligió un editor para la redacción de un artículo para la Revista del IPGH y se repartió el trabajo.

Cuarto Taller

El cuarto y último taller del proyecto MIAN se celebró del 16 al 20 de mayo de 2016 en la sede del Instituto Brasileño de Geografía y Estadística (IBGE) en Río de Janeiro, Brasil. En él se abordaron tres líneas de trabajo: finalizar todos los detalles pendientes para publicar el WMS MIAN; avanzar en el grafo de Hidrografía, hasta el punto de que varios países obtuvieron un primer borrador, e incorporar a Brasil al proyecto, casando los contornos de país y progresando en el resto de temas, con la complejidad que supone al suponer un país de más de 8.5 millones de km² de superficie, una red hidrográfica muy densa y unos 14,700 km de frontera.

Los cinco talleres fueron un éxito y en todos ellos se alcanzaron los objetivos previstos, contando con la compleción de algunas tareas en los periodos entre talleres y, lo que es más importante, se ha formado un equipo de trabajo en el que los técnicos de los países implicados han trabajado juntos en una atmósfera de sana colaboración y cooperación.

Metodología

Datos de partida

La mayoría de los cinco institutos geográficos participantes en el proyecto aportaron datos geográficos digitales a escala 1:250.000, excepto Perú y Colombia que disponían de datos a escala 1:100.000 que tuvieron que generalizar y simplificar en mayor o menor medida (véase la Tabla 1).

Política de datos

La dirección de los cinco institutos participantes acordó adoptar una política de datos para el Servicio Web de Mapas (WMS) basado en una licencia Creative Commons 4.0 Reconocimiento (CC BY 4.0),¹ que permite todo tipo de usos con la condición de reconocer la autoría propiedad de los datos con la siguiente expresión: CC BY 4.0 CAF, IPGH, Programa GeoSUR, IGM Bolivia, IGAC Colombia, IGM Ecuador, IGNTG Panamá, IGN Perú.

¹ <<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>>.

Tabla 1

<i>Organización</i>	<i>Resolución</i>	<i>Proceso de producción</i>	<i>Fecha de los datos</i>	<i>Exactitud estimada</i>
IGN Bolivia	1:250.000	Digitalización sobre Landsat 7 y adaptación a datos existentes	2013	+ 50 m
IGAC Colombia	1:250.000	Generalización de datos 1:100.000	2013	+ 75 m
IGM Ecuador	1:250.000	Generalización 1:50.000 y cartografía binacional en fronteras	2014	+ 50 m
IGNTG Panamá	1:250.000	Generalización 1:50.000 y actualización	2014	+ 30 m
IGN Perú	1:100.000	Restitución fotogramétrica	2014	+ 50 m

Fuente: Datos de cada Instituto geográfico.

Con la finalidad de maximizar su uso y publicar un servicio abierto que pueda ser explotado por cualquier usuario, con cualquier finalidad y en todo tipo de actividades y proyectos.

Por otro lado también acordaron que los contornos del objeto geográfico “País” son referenciales, orientativos, aproximados y no tienen ninguna validez oficial, ni probatoria, en consonancia con el Capítulo I, artículo 1 del Estatuto Orgánico del IPGH (IPGH, 2014).

Metodología de trabajo

Durante los talleres se han debatido todos los aspectos relevantes del proyecto hasta llegar a un consenso por unanimidad. También se han distribuido los datos en equipos multinacionales para abordar la edición de la información para su case y armonización. En todo momento, cada instituto participante ha conservado la soberanía y control sobre sus datos, de manera que todas las modificaciones realizadas han contado con su aprobación.

En los intervalos entre talleres se ha trabajado mediante teleconferencias, correo electrónico e intercambio de ficheros de datos y metadatos. El CNIG se ha encargado

de verificar la geometría, su consistencia lógica e identificar incidencias residuales a corregir.

La metodología de trabajo se ha basado en una serie de principios generales aceptados por unanimidad:

- Debate y discusión de los aspectos clave
- Decisiones tomadas por consenso
- Conformidad con normas ISO 19100 (ISO, 2016), estándares OGC (OGC, 2016), recomendaciones del IPGH y estándares más extendidos
- Utilización de las imágenes Landsat 8 como imágenes de referencia
- Aprovechamiento de la experiencia de los facilitadores del CNIG en proyectos similares en Europa
- Aprovechamiento de la experiencia del USGS en la generación de grafos de Hidrología
- Envío de los datos al CNIG para su chequeo y verificación entre talleres
- Trabajo por aproximaciones sucesivas de calidad creciente

Los trabajos se han estructurado según una serie de tareas necesariamente secuenciales que mantienen la lógica del proceso:

- 1) Encuesta sobre los datos disponibles, para conocer los conjuntos de datos a integrar e identificar con la máxima antelación posibles problemas potenciales, como diferencias de resolución, divergencias de modelos, calidad diferente, actualización dispar, etc.
- 2) Acuerdo de unas especificaciones de producto de datos conformes a la norma ISO 19131, consensuando un primer borrador que se irá refinando según avance el proyecto. Incluye un nombre de producto, un acrónimo, una resolución de referencia, un Sistema de Referencia de Coordenadas, un Modelo UML, un Catálogo de objetos geográficos estructurado en temas, objetos y atributos, un periodo de actualización, unos metadatos, etc.
- 3) Selección de los datos para cada país, en un proceso que puede ser delicado cuando hay varios conjuntos disponibles en un Geoinstituto a una escala cercana a la de referencia y con distintas propiedades (unos datos más actualizados, otros con mejor geometría, etcétera) y en el que el facilitador solo debe acompañar a los técnicos en su toma de decisiones.
- 4) Elaboración de contornos de país únicos y comunes, teniendo en cuenta que en el MIAN se trabaja con una línea referencial y aproximada, cartográfica y orientativa, solo para dibujar el contorno del país, pero sin validez jurídica, legal, administrativa ni de ningún tipo. No se trabaja con la frontera oficial porque ese no es el objeto de este proyecto.

- 5) Case de la geometría de Hidrografía, Carreteras y Poblaciones, en ese orden. En general, es la fase más trabajosa y que consume más horas-persona por la gran cantidad de situaciones que es necesario resolver de manera interactiva (véase la Figura 4).
- 6) Verificación de errores y chequeo. En el ínterin entre talleres, el CNIG ha procedido a ejecutar rutinas de chequeo de la geometría y topología, reportar errores y plantear a cada organización la resolución de las incidencias detectadas.
- 7) Corrección de errores. Se solicita a cada Geoinstituto que resuelva, en el tiempo entre talleres, los problemas encontrados para ir depurando y afinando la geometría, que habitualmente contiene errores residuales.
- 8) Elaboración de temas complementarios (Puntos acotados, Miscelánea...). El tema Miscelánea incluye todos los Puntos de Interés (PoI) de todo tipo que resulta inexcusable que no aparezcan en un mapa a la escala que estamos trabajando.
- 9) Generación de un grafo de Hidrografía con la metodología del USGS, que tiene gran experiencia en ese campo. Una vez casada y corregida de errores la geometría esta fase puede avanzar en paralelo a las demás.
- 10) Elaboración de metadatos, que describan conforme al Perfil Latinoamericano de Metadatos (LAMP v1.) los datos con un registro de metadatos por país, más un registro de metadatos adicional para el conjunto del MIAN; que se concibe así como una serie en la que las unidades (u hojas) son los datos de cada país que lo integran. También se catalogará el servicio WMS MIAN en cuanto esté disponible.
- 11) Publicación del WMS MIAN (véanse las Figuras 5 y 6), acompañado de una versión WMTS, con la simbología acordada, tarea que corre a cargo del USGS en el marco de su colaboración con el Programa GeoSUR.

Conclusiones

Puede considerarse un éxito y un activo de la máxima importancia el disponer de un mapa integrado, es decir continuo, multinacional, sin costuras y normalizado, de la zona andina del norte, disponible en forma de Servicio Web de Mapas,² disponible en el visualizador regional³ del Programa GeoSUR, y acompañado de los recursos que completan su definición y lo hacen realmente útil, como son especificaciones, metadatos, catálogo de objetos y catálogo de representación.

La evolución futura del proyecto contempla, en primer lugar, la armonización con el Mapa Integrado de Centroamérica, acabado en 2012, y la extensión del im-

² <http://geosur.info/arcgis/services/GeoSUR/GeoSUR_MIAN/MapServer/WMSServer?request=GetCapabilities&service=WMS>.

³ <http://www.geosur.info/map-viewer/index.html?config=config-rms-es.xml&lang=es_ES>.

pulso de producción colaborativa de mapas integrados a todo el continente, comenzando con un Mapa Integrado de América del Sur que ya está dando sus primeros pasos.

En otro orden de asuntos, se prevé la posible ampliación de recursos disponibles relacionados con el MIAN:

- Un grafo de Hidrografía con topología cadena-nodo, navegable, continuo y por cuencas hidrográficas; un insumo de considerable utilidad del que no hay precedente, por lo que conocemos.
- Un nomenclátor geográfico basado en los objetos considerados en MIAN junto con sus nombres, que permite implementar en la región un servicio de búsqueda por nombre basado en datos oficiales.
- La posibilidad de implementar un servicio de descarga de los datos en un formato abierto y de acuerdo a las licencias y condiciones de cada uno de los Geoinstitutos participantes.
- La implementación de nuevos servicios OGC, como WFS, WCS, WPS, etc., de funcionalidad y posibilidades crecientes.

Las ventajas diferenciales que presenta el MIAN como producto digital de datos geográficos del presente producto provienen en primer lugar de sus fuentes y del carácter de los organismos que lo han producido: son datos geográficos fundamentales y oficiales, fiables, sostenibles y producidos por los Institutos geográficos de la región, que atesoran una larga experiencia y saber hacer en el campo de la producción de cartografía.

En segundo lugar, dado que son fruto de una metodología participativa y de colaboración, están basados en especificaciones logradas mediante el consenso y el libre acuerdo de las partes implicadas, lo que garantiza que el resultado se ha elaborado siguiendo las mejores prácticas en el sector, las recomendaciones más extendidas y los procedimientos más estandarizados y consolidados.

Por otro lado, se ha mantenido como criterio general la conformidad con las normas ISO 19100, las especificaciones OGC y el cumplimiento de las directrices y recomendaciones del IPGH. Adicionalmente se ha aprovechado lo mejor de la experiencia del CNIG en su participación en mapas integrados europeos durante décadas y del USGS en cuanto a la generación de grafos de Hidrología y gestión de imágenes de referencia.

Por último, los Directores y los técnicos de los Institutos geográficos implicados han asumido el compromiso de mantener un periodo de actualización de cinco años, lo que unido al patrocinio del IPGH y CAF, junto a los planes de conexión con el Mapa Integrado de América Central y un futuro Mapa Integrado de América del

Sur confiere al proyecto las máximas garantías en cuanto a sostenibilidad y mantenimiento de la iniciativa.

De esta iniciativa resultarán beneficiados todos los usuarios de la información geoespacial de la región: tomadores de decisiones, planificadores e investigadores, estudiantes y profesionales. También resultarán beneficiadas otras iniciativas multinacionales, muy en particular la IDE de las Américas y las actividades de UN-GGIM: Américas.

Se trata de una iniciativa que consideramos estratégica, ya que contribuye de manera esencial a la generación y publicación en condiciones abiertas de datos geográficos fundamentales (que en Europa se llaman de referencia) transfronterizos, piedra angular y cimiento fiable de toda la información geográfica que nos rodea, y recurso esencial para afrontar los grandes retos globales del siglo XXI, como el cambio climático y el desarrollo sostenible.

Bibliografía

- Hunt, E. (2012). *Informe Técnico del Proyecto IPGH Cart.03.2011*, “Integración de datos Mapa Global de América del Sur”.
- IPGH (2014). *Estatuto Orgánico, Reglamentos y Acuerdos 2013-2017*, disponible en <https://www.ipgh.org/documentos/ipgh/Estatuto-Organico_2013-2017.pdf>.
- ISO (2016). Organización Internacional de Normalización *ISO/TC211 Programme of work*, disponible en <http://www.isotc211.org/pow_all.htm>.
- Norori, M. (2013). “Proceso participativo de producir un mapa integrado de Centroamérica y sur de México”, *Revista Cartográfica* núm. 89, IPGH.
- OGC (2016). Open Geospatial Consortium, “OGC standards and supporting documents”, <<http://www.opengeospatial.org/standards>>.
- Proyecto MIAN (2016). “Catálogo de objetos del Mapa Integrado Andino del Norte (MIAN)” (29 de julio de 2016), disponible en <<http://www.geosur.info/geosur/contents/20160729CatalogodeobjetosMIANv2016.pdf>>.
- Proyecto MIAN (2016). “Catálogo de representación del Mapa Integrado Andino del Norte (MIAN)” (29 de julio de 2016), disponible en <<http://www.geosur.info/geosur/contents/20160729CatalogodeRepresentacionMIANv2016.pdf>>.
- Proyecto MIAN (2016). “Especificaciones del Mapa Integrado Andino del Norte (MIAN)” (29 de julio de 2016), disponible en <<http://www.geosur.info/geosur/contents/20160729EspecificacionesMIANv2016.pdf>>.
- Rodríguez A.F. (2016). *Blog de la IDEE*, “Versión beta del MIAN”, disponible en <<http://blog-idee.blogspot.com.es/2016/07/version-beta-del-mian-disponible.html>>.

When paths cross: maintaining utility of trajectory data in geomasking

Dara E. Seidl*

Recibido el 07 de enero de 2017; aceptado el 30 de mayo de 2017

Resumen

Con el aumento de la recolección de datos móviles a través del GPS y de otros servicios basados en la localización, se han realizado varios intentos de aplicar técnicas de geomascarización a los datos de rutas publicados para proteger la privacidad de las trayectorias. Sin embargo, la utilidad de los datos de la trayectoria mascarada y su valor para la investigación del transporte sigue en cuestión. Este estudio examina cómo la ruta inserida cambia cuando los datos de origen y destino están enmascarados para proteger la privacidad, así como calcula el anonimato de cada ruta recorrida usando una muestra de taxis de la ciudad de Nueva York. Se concluye que las rutas entre lugares enmascarados por perturbaciones aleatorias son significativamente diferentes de las rutas originales, así como que un producto de datos basados en análisis de red que suprime las rutas únicas es una solución viable para liberar estadísticas precisas de ruta y al mismo tiempo proteger la confidencialidad.

Palabras clave: *geoprivacy, GPS, trayectoria, enmascaramiento, ofuscación.*

Resumo

Com o aumento da coleta de dados móveis através do GPS e outros serviços baseados em localização, se tem realizado várias tentativas de aplicar técnicas de “geomasking” aos dados de rotas publicados para proteger a privacidade das trajetórias. Entretanto, a utilidade dos dados da trajetória mascarada e seu valor para pesquisas de transporte segue em questão. Este estudo examina como a rota inferida muda quando os dados de origem e destino estão mascarados para proteger a privacidade, assim como calcula o anonimato de cada rota percorrida por uma amostra de taxis da cidade de Nova York. Se determina que as rotas entre lugares mascarados por

* Department of Geography, San Diego State University, 5500 Campanile Drive, 92182 San Diego, CA, USA, e-mail: dseidl@mail.sdsu.edu

perturbações aleatórias são significativamente diferentes das rotas originais e que um produto de dados baseado na rede que suprime rotas únicas é uma solução viável para liberar estatísticas precisas de rota e proteger a confidencialidade.

Palavras chave: *geoprivacy*, *GPS*, *mascaramento*, *trajetória*, *ofuscação*.

Abstract

With an increase in mobile data collection through GPS and other location-based services, there have been a number of attempts to apply geomasking techniques to published route data in order to protect trajectory privacy. Yet, the utility of masked trajectory data and its value to transportation research remain in question. This study examines how the inferred route changes when origin and destination data are masked to protect privacy, as well as calculates the anonymity of each route traveled by a sample of New York City taxi cabs. It is determined that the routes between locations masked by random perturbation are significantly different from the original routes and that a network-based data product suppressing unique routes is a viable solution to release both accurate route statistics and protect confidentiality.

Key words: *geoprivacy*, *GPS*, *trajectory*, *geomasking*, *obfuscation*.

Introduction

Open data and replicable research are of great value to scientific advancement. The dual goals of geomasking techniques are to protect privacy and to preserve the utility of geographic data when sharing publicly or with other researchers. In their slight displacement of geographic point data, geomasking techniques often either protect privacy so well that data utility is hindered, or effectively maintain spatial distributions at the expense of anonymity, inadvertently leaving some personal data identifiable. Such is the case with traditional approaches to trajectory masking, which treat every waypoint as a location to be masked, thereby rendering the masked routes impractical for applications such as transportation planning, where accurate network traffic counts are important. This study therefore reevaluates previous approaches to masking high-frequency trajectory data and introduces a method to publish anonymized routes that are correctly matched to a street network.

Geomasking techniques were introduced with discrete point data in mind, such as personal home locations associated with sensitive characteristics, disease cases, or crime incident locations. However, given the widespread adoption of location-based services and GPS, there has been growing recognition that personal trajectories also constitute a privacy risk. For instance, a prominent study finds that 95% of individuals can be uniquely identified from just four points over time (de Montjoye *et al.* 2013), and in 2009, more than 34,000 Americans were victims of stalking assisted by GPS (Baum *et al.* 2009). The risk to privacy for trajectory data stems

from both the identifying characteristics of the stopover points, such as to a particular office building or clinic, and the uniqueness of the route.

Trajectory geomasking which displaces each waypoint presents several issues, which are addressed in this study. Figure 1 displays an example of GPS data at a one-second frequency along major roads. Even though the waypoints are masked, the density of the points still demonstrates that the points converge around the highways. Furthermore, the high frequency of the masked trajectory data provides hints about the masking technique used, as well as the displacement distance threshold, potentially leading to a reversal. Therefore, displacing each point may not be effective in obfuscating the exact route, especially if there is a high density of other travelers. Network analysis tools are also commonly available to help an adversary determine the fastest or most probable route between two general locations. For instance, the Google Directions API can be used to collect batch routing information for free.

At the same time, when trajectory waypoints or trip origins and destinations are masked, it can be challenging to collect accurate traffic counts and usage statistics of transportation facilities. If a researcher wishes to leverage anonymized origin-destination data for transportation planning, the results may not accurately portray routes traveled. There are unanswered questions about whether masking each waypoint unnecessarily protects privacy at the expense of better data utility. This study examines first how inferred route changes between origins and destinations when those locations are masked, and second, how anonymous route data may be published and shared with the suppression of unique route segments.

Related Work

Geomasking techniques were first introduced to assist researchers in publishing precise spatial data while respecting confidentiality through small displacements of point coordinates (Armstrong *et al.*, 1999). Existing techniques include random perturbation (Kwan *et al.*, 2004), donut masking (Hampton *et al.*, 2010), grid masking (Krumm, 2007), affine transformations (Armstrong *et al.*, 1999), Gaussian perturbation (Zandbergen, 2014), location swapping (Zhang *et al.*, 2017), Voronoi masking (Seidl *et al.*, 2015), and MGRS masking (Clarke, 2016). Variants of random perturbation see the most widespread usage, particularly outside academic environments in applications like the citizen science project iNaturalist and the bicycle rental site Spinlister, as well as within health-related research (Allshouse *et al.*, 2010; Shi *et al.*, 2009). This is likely due to the simplicity of the method; each coordinate set is displaced a random distance in a random direction within a selected distance threshold.

Over the past decade, greater attention has been devoted to obfuscating trajectory data in addition to discrete point data. Most of these trajectory masking studies

treat each waypoint as a location to be masked. For example, Krumm (2007) applies Gaussian perturbation to GPS coordinates recorded at a frequency of six seconds apart to determine their resistance to home location-finding algorithms. The GEPETO spatial data management system of Gambs *et al.* (2010) also focuses anonymization efforts on waypoints of trajectory data, including random perturbation and downsampling of point data. Yang *et al.* (2015) perform semantic obfuscation to convert coordinates to anonymized semantic features. Seidl *et al.* (2016) apply random perturbation and grid masking to GPS data collected in household travel surveys, and Chen *et al.* (2013) introduce a local suppression method for publishing trajectory data. This too is based on suppressing sets of route coordinates that meet a pre-determined sensitivity threshold. Brito *et al.* (2015) recognize the challenge of anonymizing large mobility datasets and apply the scalable MapReduce paradigm in selecting quasi-identifiers for suppression.

All of these methods assume that the main data to be published are the waypoints themselves and not the route data already matched to a street network. To derive network statistics, a map matching algorithm would be necessary, rendering the masked trajectory data potentially unsuitable for this activity. Furthermore, there has been great progress in reconstructing personal route data even with sparse trajectory points (Krumm and Horvitz, 2006), and in modeling trip purposes from mobile data characteristics alone (Gong *et al.*, 2015). Masked trajectory data may not be immune to these more advanced trip reconstruction methods.

Privacy in geomasking procedures is typically measured using the construct of spatial k -anonymity (Zandbergen, 2014). In computer science, k -anonymity requires that each data subject be part of a database containing at least k subjects with matching characteristics (Sweeney, 2002). As an extension of this concept, trajectory k -anonymity requires that each trajectory be attributable to at least $k-1$ others, a statistic that necessitates some calculation of route similarity or clustering (Nergiz *et al.*, 2009). Xiong *et al.* (2014) calculate privacy risk factors for GPS data by comparing the spatial entropy vectors of real-time mobility traces to historical distributions. In environments where GPS data may be inaccurate, a raster-based clustering method may be appropriate (Meratnia and de By, 2002). However, if the mobile data are already matched to a street network, the calculations may be performed using a vector-based intersection.

For testing the preservation of spatial distributions following geomasking, Armstrong *et al.* (1999) identify five principal dimensions to uphold: pairwise relations, event-geography relations, clusters, trends, and anisotropies. These categories are based on masking discrete point data, rather than trajectories. Trajectory data may instead be useful for travel times, travel distances, routing information, facilities encountered, or overall trip density. For example, Seidl *et al.* (2016) examine spatial pattern preservation of trajectories using Pearson's correlations between kernel

density rasters of original and masked trajectory data. Whether masked trajectories will be adequate or if correct routing information is necessary depends on the end goal of the data user.

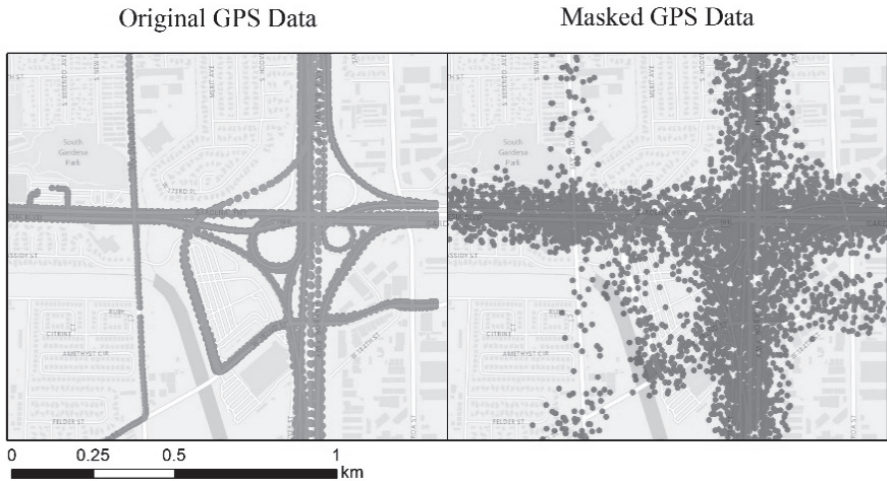


Figure 1. Original GPS data of 1-second frequency and masked GPS points with an outer threshold of 100 meters.

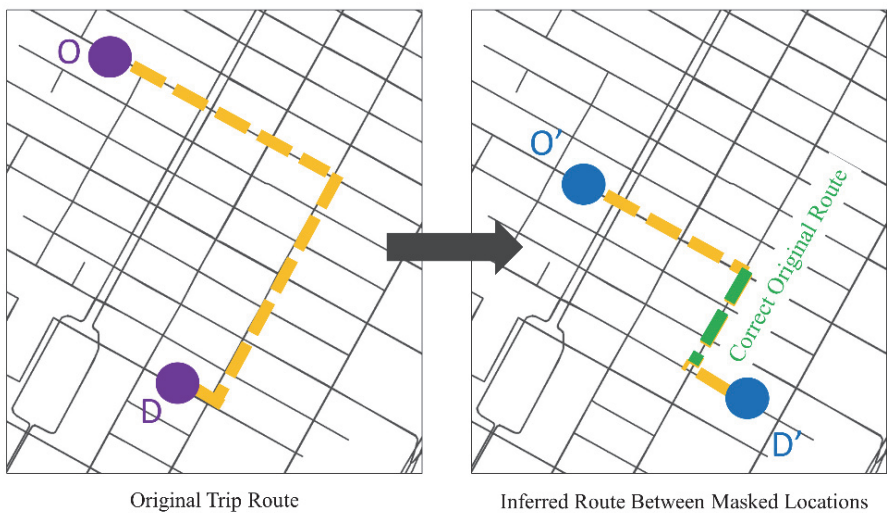


Figure 2. Route of lowest impedance change when origin and destination are masked with a distance threshold of 100 meters.

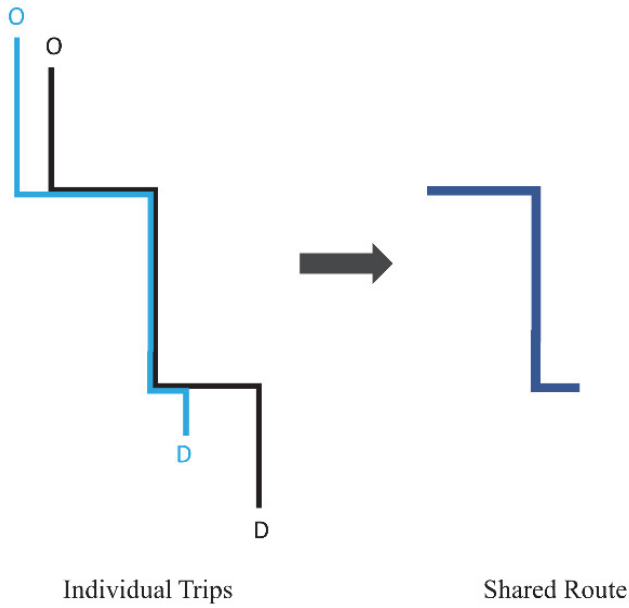


Figure 3. Shared route segments for two simultaneous trips.

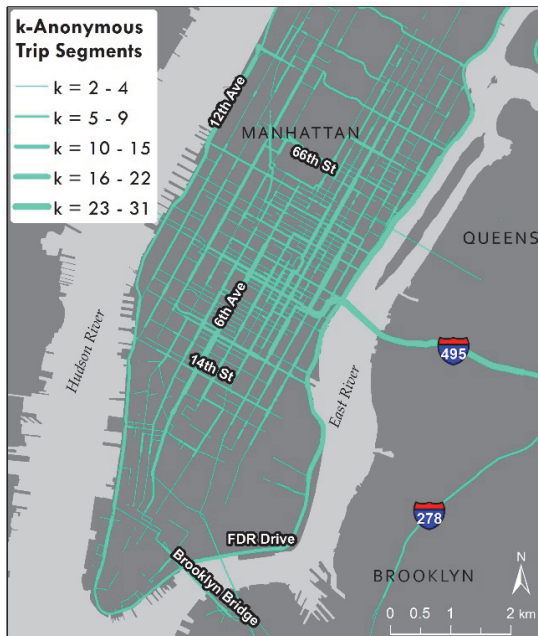


Figure 4. k -Anonymous trip segments from sample taxi data.

Conceptualization

The first component of this study examines how probable routes change when the origins and destinations of trip data are masked. Origin and destination data are often published online without corresponding route information. For example, the United States Census Bureau releases origin-destination employment statistics, and taxi commissions across major cities often release taxi trip data in the form of stop-over locations. These publically available datasets may complement other transportation planning data in modeling of routes of least impedance between the stop locations. However, if the origins and destinations are masked, the inferred route could follow a completely different network route. Figure 2 displays the effect of masking an origin and destination from O to O' and D to D' through random perturbation within a distance threshold of 100 meters. Even if the displacement distance of the locations is very slight, the inferred route may change substantially, particularly among dense street networks. This study thus examines how the fastest route between a sample of origin and destination data changes when those locations are masked.

This study also tests a method of publishing trajectory data that remains k -anonymous. Instead of releasing individual trip data, the entire network of shared and simultaneous routes is published. Any network segment with fewer than k travelers is not released. A visual example of a shared route between two trips is shown in Figure 3. The advantage of this process is that complete and accurate usage statistics are made available along network segments with at least k travelers, without revealing unique origins and destinations that may make individuals identifiable and thereby violating confidentiality. However, the utility of such data will depend on if the resulting transportation statistics differ from the original statistics including unique trips. This study therefore tests whether the spatial pattern of k -anonymous routes differs from a complete dataset that includes unique routes.

Methods

This study utilizes taxi cab origin and destination data to test the extent to which geomasking these locations impacts inferred trajectories and whether k -anonymous shared route segments differ from full trajectory data with unique routes. Though they may offer clues to the identity of the passengers, origin and destination data are commonly released by taxi commissions and provide a wealth of potentially useful mobility data. In this study, data were obtained from the New York City Taxi and Limousine Commission (TLC), which publishes origin and destination data from all taxi trips in New York. Trips were sampled from the two-minute period of 9:00 AM to 9:02 AM in the morning rush hour of Friday, June 10, 2016 to capture a total of 625 co-occurring taxi trips with recorded origin and destination coordinates

within New York City. The Google Directions API was then used to estimate the fastest and, therefore, the probable routes between the 625 sets of taxi origins and destinations. The Google Directions API produces an overview polyline of the resulting trip for each routing request. The polylines follow the same street network and therefore correspond well with other co-located trips, sharing the same vertices. If the trajectory waypoints originate from GPS devices, a higher level of coordinate variation necessitates some map matching procedure to positively associate them with a particular street network segment.

For the first part of this study, the taxi origin-destination data are masked three times by random perturbation: at distance thresholds of 50, 100, and 150 meters. Random perturbation is selected because of its common application as a masking technique, and the distance thresholds are centered around 100 meters for a reasonable balance demonstrated in previous work between anonymity and accuracy (Zandbergen, 2014). Seidl *et al.* (2016) find that 250 meters is too large of a distance threshold to preserve spatial distributions in two urban areas. It is acknowledged that while the mean trip length of the taxi data is 5 kilometers, the dimensions of a Manhattan city block are approximately 80 by 274 meters, meaning that masking within these distance thresholds is likely to displace the origin-destination data to new blocks. Following these three iterations of geomasking, the inferred route is then calculated again using the Google Directions API for each of the three new sets of origins and destinations. To compare the new routes to the original routes, three sets of intersections are performed with a distance tolerance of 3 meters, and the length of the intersections is calculated. The Wilcoxon signed ranks test is then applied to test whether the network trip distance at the 50-, 100-, and 150-meter masking thresholds is significantly different from the original trip length in pairwise comparisons. This test is an appropriate choice for the continuous dependent variable of trip length, since the data do not follow a normal distribution and are from matched populations comprised of each origin and destination set.

For the second component of this study, a similar intersection procedure is performed on the original unmasked route data with itself. This results in a calculation of the length of each trip shared with another taxi cab during the sampled time period. The resulting data product of this intersection is a polyline dataset of a New York City street network of segments with at least $k=2$ taxis sharing a trip route. For comparing this output of anonymized routes to the original routes, line density rasters are generated with a cell size and search radius both of 100 meters. These parameters are selected given that a resolution of 1:100,000 is appropriate for mapping the overall New York City area. The density rasters then become inputs for a Pearson's correlation between the two density surfaces, as Seidl *et al.* (2016) use to compare spatial distributions between original and masked trajectory data.

Results and discussion

This study finds that when taxi origins and destinations are masked through random perturbation, as the distance threshold increases, the mean inferred route distance increases, and the mean length of the route shared with the original data decreases. These results are summarized in Table 1. The Wilcoxon signed ranks test for trip length found that each of the masked data sets is significantly different ($p = 0.00$) from the mean trip length results for the unmasked origin-destination data. Not only are inferred trips longer in masked data, but they share less of the route with the original trips. In the 150-meter masked set, the inferred taxi route shared only 67% on average the same route as the unmasked trip, and 9% of the trips shared no part of the route with their unmasked counterparts. The difference is even present at the 50-meter masking threshold, where 3% of the trips had a completely new route, and on average, 15% of the original trip routes were not maintained in the masked version. These results suggest that applying random perturbation to trip origins and destinations, even at these smaller distance thresholds, is not an appropriate substitute for research requiring accurate street network statistics.

Table 1
Length and correspondence of trip routes following random perturbation of origins and destinations

	<i>Original</i>	<i>50m</i>	<i>100m</i>	<i>150m</i>
Mean trip length (km)	5.01	5.06	5.11	5.14
Wilcoxon signed ranks p-value	—	0.00*	0.00*	0.00*
Mean shared route length (km)	—	4.52	4.14	3.89
Mean % of route shared with original	—	84.62	74.74	67.08
% of trips with a completely new route	—	2.72	6.40	9.12

The second objective of this study is to compare the calculated network of k -anonymous routes derived from the non-unique trip data to the original set of taxi trajectories. From the intersected polyline dataset, 618 out of 625 trips (98.9%) shared a portion of the route with at least one other taxi. There were thus 7 taxi rides that were completely unique, sharing no part of the trip with other taxis during the time period. On average, each taxi trip shared 88.2% of its total trip distance along anonymous routes, sharing its path with at least one other cab. Figure 4 illustrates the completeness of the k -anonymous taxi network segments during this two-

minute stretch in the New York City area, particularly in Midtown. Furthermore, there was no great loss of spatial information between the original taxi trip routes and the anonymous routes shown in Figure 4. The line density rasters generated from the polyline route datasets demonstrate a Pearson's correlation of 0.89 with $p=0.00$. This means that the travel patterns represented in the original data continue to be well-represented in the anonymous trip data along street networks.

Conclusion

Building on previous attempts by others to apply anonymization techniques to trajectory data, this study is a response to concerns as to whether geomasking each waypoint in trajectory data is necessary or even protective of privacy. Figure 1 above highlights how random perturbation of high-frequency GPS data may actually enhance personal route disclosure along popular highways and provide clues as to the distance threshold of masking. Advanced techniques of route reconstruction may further chip away at the anonymity masking seeks to provide, particularly in areas of low road density, where there may be one most probable route. A second concern is what kind of research may benefit from masked trajectory data. Transportation planners must in general search elsewhere for more accurate traffic counts and route statistics in traffic models.

Any publisher of spatial data concerning human subjects must achieve a delicate balance between data utility and personal anonymity. When striking this balance appears too challenging, alternative confidentiality solutions are often selected over geomasking techniques, such as secured data enclaves, software agents, or aggregation to large administrative units. This study re-evaluates previous work on geomasking trajectory data and proposes an alternative solution for releasing anonymous route data that also maintains accurate transportation network statistics. First, this study finds that geomasking taxi origin and destination data through random perturbation leads to significantly different trajectories compared to the inferred original routes between the locations. This can impede any analysis requiring accurate transportation statistics. Second, it is observed that in just two minutes of urban New York taxi data, 98.9% of taxi trajectories shared a route with at least one other cab, revealing high k -anonymity in the unmasked dataset. Furthermore, the suppression of unique routes in the resulting network demonstrates little difference in line density estimation compared to the full route dataset with a Pearson correlation of 0.89. The release of a fully k -anonymous network of shared personal routes helps to better balance between protecting privacy and preserving the spatial information of trajectory data.

References

- Allshouse, W.B.; Fitch, M.K.; Hampton, K.H.; Gesink, D.C.; Doherty, I.A.; Leone, P.A.; Serre, M.L.; Miller, W.C. (2010). "Geomasking sensitive health data and privacy protection: an evaluation using an E911 database", *Geocarto International*, 25(6):443-452.
- Armstrong, M.P.; Rushton, G. and Zimmerman, D.L. (1999). "Geographically masking health data to preserve confidentiality", *Statistics in Medicine* 18(5):497-525.
- Baum, K.; Catalano, S.; Rand, M. and Rose, K. (2009). *Stalking Victimization in the United States*, Washington, DC; U.S. Department of Justice, Bureau of Justice Statistics.
- Brito, F.T.; Araújo Neto, A.C.; Costa, C.F.; Mendonça, A.L.C., and Machado, J.C. (2015). "A distributed approach for privacy preservation in the publication of trajectory data", *Proceedings of the ACM SIGSPATIAL 2nd Workshop on Privacy in Geographic Information Collection and Analysis (GeoPrivacy '15)* Bellevue, WA, November.
- Chen, R.; Fung, B.C.; Mohammed, N.; Desai, B.C. and Wang, K. (2013). "Privacy-preserving trajectory data publishing by local suppression", *Information Sciences*, 231:83-97.
- Clarke, K.C. (2016). "A multiscale masking method for point geographic data", *International Journal of Geographical Information Science*, 30(2):300-315.
- de Montjoye, Y.A.; Hidalgo, C.A.; Verleysen, M. and Blondel, V.D. (2013). "Unique in the crowd: the privacy bounds of human mobility", *Scientific Reports* 3, available in <<http://www.nature.com/srep/2013/130325/srep01376/full/srep01376.html>>.
- Gambs, S.; Killijian, M.O. and Cortez, M.N.d.P. (2010). "GEPETO: A GEPriVacy-Enhancing Toolkit", *IEEE Computer Society AINA Workshops*, pp. 1071-1076.
- Gong, L.; Liu, X.; Wu, L. and Liu, Y. (2016). Inferring trip purposes and uncovering travel patterns from taxi trajectory data. *Cartography and Geographic Information Science*, 43(2), pp. 103-114.
- Hampton, K.H.; Fitch, M.K.; Allshouse, W.B.; Doherty, I.A.; Gesink, D.C.; Leone, P.A.; Serre, M.L. and Miller, W.C. (2010). "Mapping health data: improved privacy protection with donut method geomasking", *American Journal of Epidemiology* 172(9):1062-1069.
- Krumm, J. (2007). "Inference attacks on location tracks", *5th International Conference, Proceedings, PERVASIVE 2007* Toronto, Canada, May 13-16, pp. 127-143.

- Krumm, J. and Horvitz, E. (2006). "Predestination: Inferring destinations from partial trajectories", *International Conference on Ubiquitous Computing*, Springer Berlin Heidelberg, pp. 243-260.
- Kwan, M-P.; Casas, I., and Schmitz, B.C. (2004). Protection of geoprivacy and accuracy of spatial -information: how effective are geographical masks?, *Cartographica* 39(2):15-28.
- Meratnia, N. and de By, R.A. (2002). "Aggregation and comparison of trajectories", *Proceedings of the ACM Symposium on Advances in Geographic Information System*, pp. 49-54.
- Nergiz, M.E.; Atzori, M.; Saygin, Y. and Güç, B. (2009). "Towards trajectory anonymization: a generalization-based approach", *Transactions on Data Privacy* 2, pp. 47-75.
- Shi, X.; Alford-Teaster, J., and Onega, T. (2009). "Kernel density estimation with geographically masked points", *Proceedings of the 17th International Conference on Geoinformatics*, August.
- Seidl, D.E.; Paulus, G.; Jankowski, P. and Regenfelder, M. (2015). "Spatial obfuscation methods for privacy protection of household-level data", *Applied Geography*, 63:253-263.
- Seidl, D.E.; Jankowski, P. and Tsou, M.H. (2016). "Privacy and spatial pattern preservation in masked GPS trajectory data", *International Journal of Geographical Information Science*, 30(4):785-800.
- Sweeney, L. (2002). " k -Anonymity: a model for protecting privacy", *International Journal on Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-based Systems*, 10(5):557-570.
- Xiong, J.; Xiong, J. and Claramunt, C. (2014). "A spatial entropy-based approach to improve mobile risk-based authentication", *ACM SIGSPATIAL International Workshop on Privacy in Geographic Information Collection and Analysis (GeoPrivacy '14)*, Dallas/Ft. Worth, TX, November 2014.
- Yang, J.; Zhu, Z.; Seiter, J., and Tröster, G. (2015). "Informative yet unrevealing: semantic obfuscation for location based services", *Proceedings of the ACM SIGSPATIAL 2nd Workshop on Privacy in Geographic Information Collection and Analysis (GeoPrivacy '15)* Bellevue, WA, November 2015.
- Zandbergen, P.A. (2014). "Ensuring confidentiality of geocoded health data: assessing geographic masking strategies for individual-level data", *Advances in Medicine*, pp. 1-14.
- Zhang, S.; Freundsuh, S.M.; Lenzer, K. and Zandbergen, P.A. (2017). "The location swapping method for geomasking", *Cartography and Geographic Information Science*, 44(1)22-34.

Measuring conflation success

Marta Padilla-Ruiz*
Carlos López-Vázquez**

Recibido el 15 de agosto de 2016; aceptado el 24 de enero de 2017

Resumen

Nos encontramos inmersos en la era del *Big Data*, en la cual existe una enorme cantidad de datos heterogéneos en escala de tiempo y espacio. Estos datos comienzan a ser transmitidos en tiempo real desde diferentes dispositivos y sensores desplegados en el nuevo concepto de ciudades inteligentes. Los procesos de confluación juegan un rol importante en este escenario, definidos como el procedimiento para la combinación e integración de diferentes fuentes de datos, consiguiendo así mayor riqueza de información en el resultado. Estos procesos permiten la actualización de bases de datos geográficas (BDG) a partir de diferentes fuentes de datos, en la que una de ellas es más precisa, exacta o vigente que la otra. El proceso seguido para la confluación geométrica requiere transformar elementos geográficos de un conjunto de datos a otro, de forma que se minimicen las discrepancias entre ellos. La exactitud debe ser tomada en cuenta en este proceso y los resultados deben ser medidos y evaluados con el objetivo de estimar la calidad del producto. En este artículo se describe el proceso de evaluación de la confluación, junto con las diferentes métricas y estrategias seguidas para evaluar lo adecuado del proceso.

Palabras clave: *confluación, fusión de datos, integración de datos, exactitud espacial, éxito de la confluación.*

Resumo

Nos encontramos imersos na era do *Big Data*, na qual existe uma enorme quantidade de dados heterogêneos na escala de tempo e espaço. Estes dados começam a ser transmitidos em tempo real desde diferentes dispositivos e sensores empregados no novo conceito de cidades inteligentes. Os processos de confluación jogam um rol

* Campus SUR de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM), 28031 Madrid, España, correo electrónico: marta.padilla.ruiz@alumnos.upm.es

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

importante neste cenário, definidos como o procedimento para a combinação e integração de diferentes fontes de dados, conseguindo assim maior riqueza de informação no resultado. Estes processos permitem a atualização de bases de dados geográficas (BDG) a partir de diferentes fontes de dados, onde uma delas é mais precisa, exata ou atual que a outra. O processo seguido para a conflação geométrica requer transformar elementos geográficos de um conjunto de dados a outro, de forma que se minimizem as discrepâncias entre eles. A exatidão deve ser tomada em conta neste processo e os resultados devem ser medidos e avaliados com o objetivo de estimar a qualidade do produto. Neste artigo se descreve o processo de avaliação da conflação, junto com as diferentes métricas e estratégias seguidas para avaliar o adequado do processo.

Palavras chave: *Conflação, Fusão de Dados, Integração de Dados, Exatidão Espacial, Êxito da Conflação.*

Abstract

We are immersed in the Big Data era, where there is a large amount of heterogeneous data, both in time and spatial scales. This data starts to be streamed in real time from different devices and sensors, well illustrated by the new concept of Smart Cities. Conflation processes play an important role in this scenario, defined as the procedure for the combination and integration of different data sources, improving the level of information of the result. It also allows to update geographical databases (GDB), conflating different kind of sources where one of them is more accurate or updated than the other. Regarding geometric conflation, the procedure involves transforming features from one data source to another, minimizing the geometric discrepancies between them. Accuracy has to be taken into account in these processes, and the results need to be measured and evaluated in order to have a better understanding of product quality. In this paper, conflation evaluation process is described along with the different metrics and approaches to assess its accuracy.

Key words: *Conflation, Data fusion, Data integration, Spatial Accuracy, Conflation Success.*

Introduction

The term Smart Cities pictures the city as a constellation of instruments, such as devices or sensors, that are inter-connected through multiple networks. In this new concept, huge amounts of data start to be streamed in real time and a new urban environment is being generated, quite different as anything we have experienced before (Batty *et al.*, 2012). This scenario is important to geographic information as it increases the data available to make maps and could allow to update them in real time.

Therefore, a Web of Sensors is what the Smart Cities are developing, and it could represent an architecture for pervasive spatial data. The desirable scenario would be an interoperable system (for different data, sources, sensors and devices) with all of this data accessible to everyone and ready to use.

This new challenge makes the combination of diverse information necessary. There is a large amount of heterogeneous data, sometimes duplicated from different sources, with different time and spatial scales and different accuracy. This heterogeneous lineage results in geometric, topological and semantic discrepancies among them (Casado, 2006).

Conflation processes deals with these problems, defined by Cobb *et al.* (1998, 2000) and Edwards and Simpson (2002) as the procedure for the combination and integration of different data sources, improving the level of information of the result. Following the definition, it is clear that conflation processes could play an important role in the situation described above. They allow to obtain conflated datasets from heterogeneous sources, covering the same geographical zone and describing the same information, even if they do not share the same density and accuracy.

Regarding conflation classification, Ariza *et al.* (2011), proposes a classification distinguishing between four different criteria:

- According to the criteria used to match the objects (Casado, 2006): geometric conflation deals with the problem of transforming features from one map to another (target map), minimizing the geometric differences between them. Semantic conflation deals with differences in meaning of terms and aims to the homogenization of existing feature classes in a map. Topological conflation deals with topological relationships, which need to be preserved and have to be regenerated in case there is joining, merging or disappearance of features.
- According to the representation model used: between vectors, between vector and raster, and between rasters.
- According to the categorization problem: vertical conflation and horizontal conflation (Yuan and Tao, 1999), and temporal conflation (Ariza *et al.*, 2011). Vertical conflation refers to datasets that occupy the same geographical region. Horizontal conflation is related to detect the differences between the common boundaries of adjacent datasets. Temporal conflation refers to datasets that occupy the same geographical zone at two different points in time.
- According to the level of automatization (Lemarie and Raynal, 1996): automatic, semiautomatic or completely manual.

Conflation processes could provide new information that was not there when the datasets were separated. However, a third dataset is not generated without problems

or errors (Saalfeld, 1983). As in any other process, the results need to be measured and evaluated, in order to have a better understanding of product quality.

This paper deals with the evaluation of conflation processes and its metrics. Traditionally, conflation has been performed and evaluated subjectively by cartographic experts. In particular, there exist a number of different metrics found in the literature devoted measuring conflation success. Those metrics are objective, independent of the user context or the conflation purpose, and global, taking the value obtained as representative for the entire region. Most of the metrics do not consider the intended end user application, thus they are solely related to the dataset. A new term, Ephemeral Conflation, is arising, where user context and purpose are being taken into account. In an ephemeral use of data, the user is seeking an utilitarian end, solving a particular query or quickly visualizing without having the intention of storing the information (González *et al.*, 2013). This scenario is the most likely when an user is in a Smart City, engaging with all the connected devices around him/her, wanting the information they need on the move and at the right time and place. In this case, the evaluation of the conflation processes should be assessed with a different criterion, and the success metrics needs to reflect the non-permanent use aspect of the product, the user context and subjectivity.

This paper is organized as follows. The workflow for a conflation evaluation is described in section 2. Section 3 presents the new concept of ephemeral conflation and discuss about weak and strong metrics. Section 4 deals with the strong metrics to assess conflation success and at the end of the paper, the conclusions and references are presented.

Conflation evaluation

Ariza *et al.* (2011) proposed a conceptual model for a general conflation process. First step involves preprocessing, testing if two datasets have the same format, scale, cartographic projection and reference system. Second step determine the homologous elements of both datasets, using semantic filters and ontologies as debug operators. Once homologous elements are obtained, it is possible to evaluate the differences. Then, the most appropriate adjustments for the transformation are established and after erasing the possible differences, both datasets can be matched.

Saalfeld (1983), distinguishes two steps for the geometric conflation procedure: (a) to identify homologue objects in both cartographies, and record its coordinates; and (b) to find and apply an adequate numerical transformation to objects in A trying to fit the corresponding ones in B.

These general workflows do not include the conflation evaluation stage. However, it is needed to measure the conflation success in order to evaluate the results of the process, compare different transformation functions, algorithms, methods, or as a quality metric of the resulting product. This could help to select the best meth-

od to perform a conflation process given a defined scenario. The ordering criterion among feasible transformation methods is a byproduct related to the metric of success (López-Vázquez *et al.*, 2009).

A simplified workflow for a conflation process based on the reviewed literature but adding the evaluation stage, is described in Figure 1. It requires: (a) to have two different datasets (A and B), (b) to extract the features in both sources, (c) to perform a matching between them, identifying the homologous objects in both datasets and recording its properties and/or coordinates, (d) to select a transformation function, (e) to apply the transformation to fit objects in A to the corresponding ones in B and (f) to apply an evaluation metric to assess success.

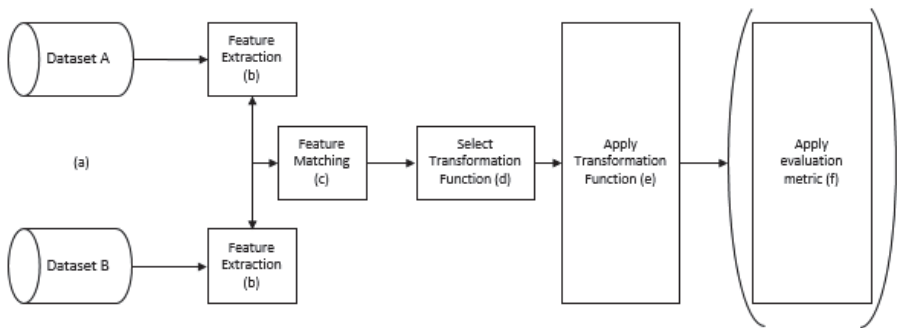


Figure 1. Workflow in a Geometric conflation process: (a) two different datasets, (b) feature extraction, (c) feature matching, (d) Transformation Function selection, (e) transformation function application and (f) Apply evaluation metric. Source: compiled by the authors based on the literature.

The conflation evaluation takes part in step (f) and it is optional in a conflation process. However, it is always highly recommendable to evaluate the conflation product.

Ephemeral conflation: introducing weak metrics

Metrics to measure conflation success are usually objective and quantitative, obtained as a result of field work and computation and performed by cartographic experts. However, this is not the only possibility to measure conflation success. González *et al.* (2013) describe what would be an “ephemeral use of data”: the user could only seek an utilitarian or immediate end, solving a particular query or quickly visualizing or displayed on a screen. Despite they illustrate the concept with geometric conflation, its implications are more general, being the most likely scenario in a smart city when the user is engaging with all the connected devices

around him/her, wanting the information they need on the move and at the right time and place.

This new perspective changes what quality and accuracy means and, consequently, their evaluations and metrics. In an ephemeral conflation context, the positional accuracy is not that important provided the utilitarian or immediate end of the user have been accomplished. That means a road enriched with directions information with 10 meters of error in a conflation process could help an user to find his way to an airport, although the positional accuracy is not high. The information speed is more important than the result “quality”.

In this context, they define a new categorization for metrics:

- Strong metric. objective statistics based on traditional accuracy: Root Mean Square Error (RMSE), the Fréchet distance (Aronov *et al.*, 2006), the Hausdorff distance (Knauer *et al.*, 2009) as well as others.
- Weak metric. Any metric characterizing ephemeral conflation, considering the context and the user.

They remark that the visual impact of conflation processes is not always directly related to the value of a strong metric. Depending on the conflation goal, the author argues that alternative metrics deserve further consideration. They do not offer a computable procedure to evaluate such weak metric so we will concentrate on the strong metrics.

Strong metrics to assess conflation success

The most common way to measure geometric conflation success in geographical data (coordinates) is the RMSE, as prescribed for example in the NSSDA Standard (hereinafter FGDC, 1998). However, there are other dimensions to consider as well as ways to assess conflation success. In this section, a review of the metrics to assess conflation success are presented.

Metrics as a percentage

Completeness and correctness

Completeness and correctness are two quality dimensions described by Wiedemann *et al.* (1998) barely considered in practical quality reports. For them, percentage metrics were used to report conflation success. They can be applied to point features (Chen *et al.*, 2004), line features (Zhang *et al.*, 2016, Chen *et al.*, 2006, Chen *et al.*, 2008, Yang *et al.*, 2012) and polygon features (Sledge *et al.*, 2011). As usual, in order to apply these metrics, it is needed to have a ground truth set of features (reference features) to which the conflated dataset will be compared. They might be

points with known coordinates, manually extracted features from an image (if lines or polygons are considered), or even place names.

Chen *et al.* (2004) described an information integration approach that uses common vector datasets to automatically conflate imagery with street maps. They conducted an experiment using two test dataset of freely available street maps to evaluate their approach, applying correctness metric as the percentage of the tested maps whose point pattern aligns to the corresponding point pattern on the imagery (taken as a reference). Geometry is not considered and the metric is applied just to point features. As a result for the experiment, 87.1% of the tested maps accurately aligned while 12.9% of the maps misaligned with the image.

Sledge *et al.* (2011) presented a vector-to-imagery building conflation system intended to align building outlines to buildings automatically extracted from imagery, in order to improve their geometric accuracy. To evaluate the performance of the system, they select 20 imagery-tiles of size 350 m² with a resolution of 0.6-m per pixel and vector GIS outlines. As a reference features, ideal representations of buildings were manually extracted. Instead of using a traditional geometric metric, they use the conflation correctness score for each scene as a percentage of the number of correct building correspondences found versus the total number of correct correspondences. The total numbers of correspondences are the total aligned buildings found by the system, while the correct building correspondences are the ones where the buildings align with the reference buildings extracted by hand. In this case, the metric is applied to polygon features. The results were presented as a summary for the 20 test areas showing the displacement between the buildings outlines and the reference, whose high values evidence that the original buildings have poor positional accuracy. The results for correctness are high, around 90-100%. However, some scores are lower (around 80-85%), due to a segmentation fail to find buildings, hidden by trees or shades, which is another issue to take into account when working with automatically vector extractions.

Zhang *et al.* (2016) performs a road network conflation process to allow multi-modal navigation. Their process is shown in Figure 2 and involves five steps: (1) road-network matching between datasets; (2) identification of the pedestrian ways; (3) geometric transformation of the pedestrian ways to eliminate geometric inconsistency; (4) topologic and semantic remodeling of the conflated road network, creating new intersections, transferring semantic information and generating unique IDs for each geographic entity; and (5) error checking and correction.

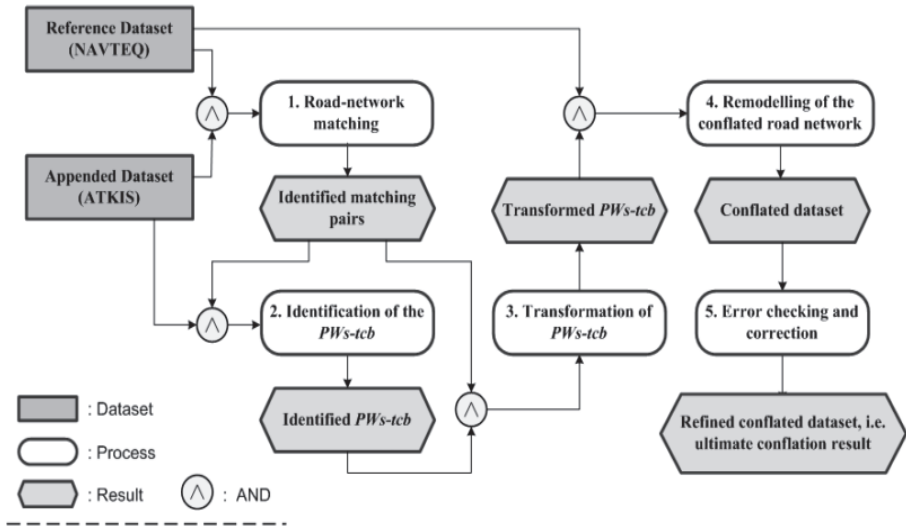


Figure 2. Steps taken to perform a road network conflation process to allow multi-modal navigation. From Zhang *et al.* (2016).

In step 5, the conflated pedestrian ways are classified into four categories: duplicated conflated pedestrian ways, partial duplications, conflated pedestrian ways that are possibly wrong and reliable conflated pedestrian ways (which are the ones not belonging to any of the other categories).

After the process, an evaluation for the automatic conflation approach is performed, selecting three examples of NAVTEQ roads with additional ATKIS pedestrian ways in Germany. Automatic results are compared with manually produced ones, computing two different metrics: overall correctness and conflation correctness, as described below:

$$\text{Overall Correctness} = \frac{AF - UCF}{AF} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{Conflated Correctness} = \frac{CF - UCF}{CF} \times 100 \quad (2)$$

Where:

- AF is the number of ATKIS features.
- CF is the number of the conflated features.
- UCF is the number of mismatched conflated features.

In this case they use the number of road features to compute the metric of success. There are a total of 20,285 NAVTEQ features (reference) and 31,112 ATKIS features. After the conflation process, 10,022 ATKIS features were successfully conflated, while only 65 features were unfavorable, which means they were conflated either inaccurately or unnecessarily. Results for both metrics are high, achieving 99.79% for overall correctness and 99.35% for conflation correctness.

Chen *et al.* (2006) performs an automatic map-imagery geometric conflation using a road network. They developed a new metric called Buffer Method (Figure 3) to measure how well the features (roads) on the map align to the corresponding features (roads) on the imagery. The metric is based on a methodology to evaluate automatically road extraction from imagery (Wiedemann *et al.*, 1998). In the evaluation process, they compare this network with a reference one, extracted from manually plotted road axes (segments) and road sides. To understand the metrics applied within the Buffer Method context, it is needed to explain what they consider as matched features:

- Both networks are split into short pieces of equal length.
- A constant predefined road-width is constructed around the reference road network.
- Every portion of the conflated road network within the buffer width from the reference road network is considered as matched.
- The direction difference between matched road axis and reference road axis must be less than a pre-defined threshold d .

The pieces of the conflated roads within the buffer to the reference roads with consistent direction are considered as matched. The drawback of this procedure is that the performance is highly affected by the predefined constant buffer width.

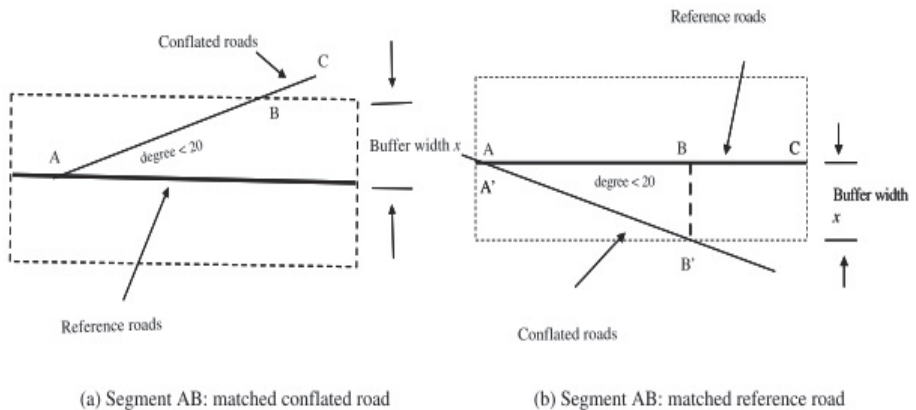


Figure 3. Buffer method for evaluating completeness and correctness. From Chen *et al.* (2006).

Taking this into account, they apply completeness and correctness as a metric of success, defined as follows:

$$\text{Correctness} = \frac{\text{Length(MCR)}}{\text{Length(CR)}} \quad (3)$$

Where:

- CR is the set of road segments that compose the conflated map road network.
- MCR is the set of conflated map road segments that can be matched to the corresponding reference road segments.

$$\text{Completeness} = \frac{\text{Length(MRR)}}{\text{Length(RR)}} \quad (4)$$

Where:

- RR is the set of road segments that compose the reference road network.
- MRR is the set of reference road segments that can be matched to the corresponding conflated map road segments.

Basically, correctness is the percentage of correctly conflated roads with respect to the total conflated roads and completeness corresponds to the percentage of the reference features for which the conflation process is successful, meaning what is missing if the reference features are replaced with the conflated ones.

In this case, one of the differences with Zhang *et al.* (2016) is that they compute these metrics using the length of the roads instead of counting the features. They conduct several experiments, using two different datasets: orthoimagery (0.3 m/pixel and 1 m/pixel resolution) and vector data. Four test areas were considered. To avoid the drawback of the method, instead of using a constant buffer width for each road segment, the real road widths in the imagery are used as the buffer width. Hence, the roads with different widths have different buffer widths. They calculated completeness and correctness for both original and conflated features for each vector dataset respectively, using a 3D graph to report the results, as shown in Figure 4. The values are grouped by tested areas in the X-axis, percentage values are shown in the Y-axis and the third variable (color) shows if the lines are the originals or the conflated ones.

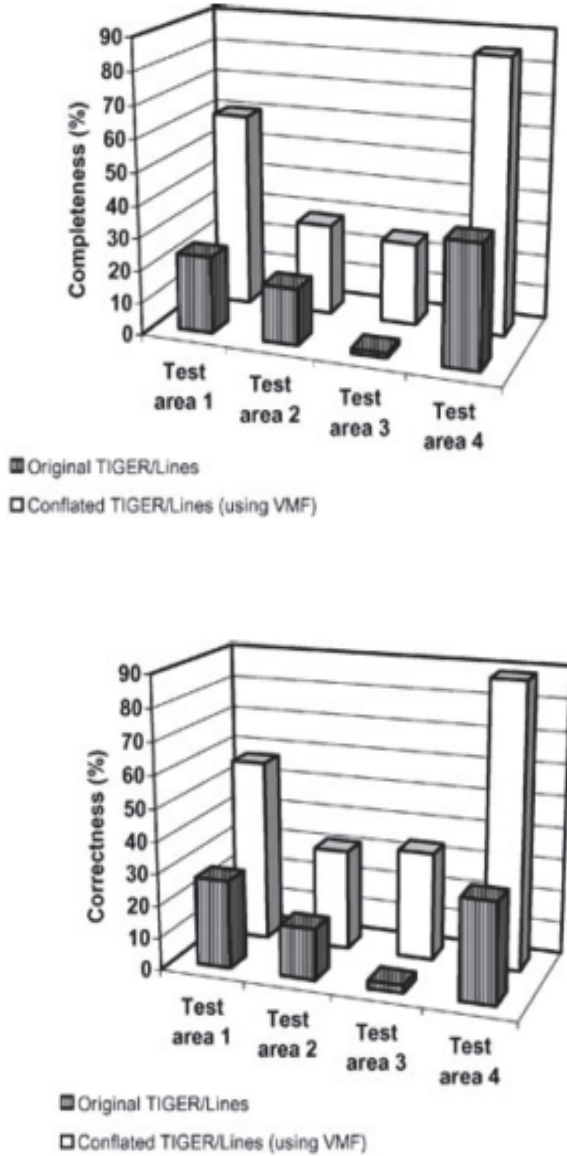


Figure 4. Completeness and correctness assessment as reported by Chen *et al.* (2006).

Therefore, they report a percentage of change from original to conflated features. All percentages result as an improvement, varying from 10% to 80% for both completeness and correctness.

The methodology and metrics described by Chen *et al.* (2006) are found also in Chen *et al.* (2008) and Yang *et al.* (2012). Chen *et al.* (2008) performed a raster map-orthoimagery conflation and the metrics are applied to vectorized map road pixels. Yang *et al.* (2012) develop an algorithm intended to improve the quality of hybrid maps by removing shape disagreements and spatial inconsistencies that arise during conflation of road maps with aerial images. They use road intersections as the corresponding features in the two datasets, applying correctness metric.

Wiedemann *et al.*, (1998) described another metric (that they called quality) expressed as a combination of completeness and correctness into a single measure.

$$\text{quality} = \frac{\text{Completeness} * \text{Correctness}}{\text{Completeness} - \text{Completeness} * \text{Correctness} + \text{correctness}} \quad (5)$$

Quality is a more general measure of the final result where completeness and correctness are combined into a single measure.

Yang and Zhang (2015) proposes an approach to conflate crowdsourced road networks with points of interest (POIs), based on pattern mining. Geometric patterns represent the geometric characteristics (e.g., shape, connectedness, density, or distribution) repeated with sufficient regularity within an object or between objects (Mackaness and Edwards, 2002). They conduct an experiment with two data sets. The road networks were retrieved from OSM and the POIs from VGI data and professional agencies. To evaluate the geometric adjustment, they compare the spatial relations of the POIs and road networks with map services websites. They select 10% of the POIs near the road segments and manually check if the spatial relations are consistent between them, as shown in Figure 5. If they are consistent, they are considered as correct. If an inconsistent spatial relation or large discrepancy occurs to one POI, it is marked as incorrect. Finally, if no corresponding records with the name of POI are found in the map services sites, the POI is marked as uncertain. They count the total number of correct, incorrect and uncertain points.



Figure 5. Manual inspection of the spatial relations between POIs and road networks as performed by Yang and Zhang (2015).

Only for the correct number of points, they give a percentage related to the total points selected. Therefore, overall, this metric only reports a percentage of correct points over only 10% of the POIs near the road segment.

Improvement percentage

Doytsher *et al.* (2001) developed a linear-based map conflation algorithm. They applied the algorithm using target datasets (i.e., more accurate), composed of roads and hydrologic features extracted from photogrammetry as well as source datasets obtained from 1:50,000 topographic maps. Additional objects were extracted from the photogrammetric data as test objects. They calculated global statistical measures as the mean distances between the positions of the source and target objects. Comparing the mean distance differences between the original dataset and the conflated dataset, a percentage is calculated as an improvement in positional accuracy, as described below.

$$\text{Improvement \%} = \frac{(\bar{d}_o - \bar{d}_c) * 100}{\bar{d}_o} \tag{6}$$

Where:

- \bar{d}_o = mean difference between target and original (meters)
- \bar{d}_c = mean difference between target and conflated (meters)

Area increase ratio

Touya *et al.*, (2013) proposes a framework based on least squares adjustment that provides a geometrical conflation which preserves the characteristic shapes of geographic data. Their process involved different steps: (a) Defining constraints to preserve shape, (b) conflating data and maintaining data consistency, (c) computing the constraints on each point and (d) transforming the constraints into a linear equation system which is solved using least square adjustment. They evaluate the framework conducting an experiment to conflate two datasets: a very accurate one, containing city limits and network information like roads, paths and rivers; and a less accurate dataset, containing city limits, cadastral land use parcels and a building layer. They compare the results obtained, to the results applying rubber sheeting method on the same test case, measuring the shape preservation, which is defined as the shape of the conflated features compared to the shape of the corresponding initial features. They use five different metrics, computing RMSE errors for 200 features and comparing the Least Squares conflation and the Rubber sheeting conflation with the initial data. One of the metrics used is the Area Increase Ratio, which measures as a percentage if the conflation increased or decreased the feature area. The results show that the geometrical conflation adjusted by least squares preserves shapes better than using rubber sheeting method, having a less area increase ratio.

Metrics as a length

Conflation success usually involves datasets with different geometric accuracy. It is fit to use metrics related with geometry, which can be expressed as a length.

RMSE

Geometric conflation is usually characterized by using a traditional accuracy metric, the RSME described by FGDC (1988) in their National Standard for Spatial Accuracy (NSSDA). RMSE is the square root of the average of the set of squared differences between dataset coordinate values and coordinate values from an independent source of higher accuracy for homologous points. This means that this standard assumes that there exist reference data more accurate than the dataset.

Accuracy is reported in ground distances at the 95% confidence level, which means that 95% of the positions in the dataset will have an error with respect to true ground position that is equal to or smaller than the reported accuracy value. This value reflects all uncertainties, including those introduced by geodetic control coordinates, compilation, and final computation of ground coordinate values in the product (FGDC, 1998). Horizontal accuracy is defined as follow:

$$RSME_r = \sqrt{RSME_x^2 + RSME_y^2} \tag{7}$$

Where:

$$RSME_x = \sqrt{\sum \frac{(x_{data} - x_{check})^2}{n}} \tag{8}$$

$$RSME_y = \sqrt{\sum \frac{(y_{data} - y_{check})^2}{n}} \tag{9}$$

- X, Y_{data} = dataset coordinates values
- X, Y_{check} = independent source of higher accuracy coordinates values
- n = number of control points

There are two different cases for computing accuracy according to the NSSDA:

- Case 1:

$$RSME_x = RSME_y$$

$$Accuracy_r = 1.7308 * RSME_r \tag{10}$$

- Case 2:

$$RSME_x \neq RSME_y$$

$$Accuracy_r \sim 2.4477 * (RSME_x + RSME_y) \tag{11}$$

Using RMSE as defined above, implies to use an accuracy standard to measure conflation success. The issue with this application is that in the conflation case, there is not always reference data available. In our setting, the goal is to measure the discrepancies between two datasets after the conflation process but one is not necessarily highly more accurate than the other. However, the standard is used to measure conflation success since it fits to the problem.

As an example for applying NSSDA statistics to a conflation process, López-Vázquez *et al.* (2009) used RMSE as a metric of success, applying it to different geometric conflation algorithms to data from an urban area. Their goal was to compare different conflation methods. They used orthorectified images of higher accuracy as a ground reference. To simulate a realistic situation, 20 control points

out of 100 available are selected in each evaluation: 8 being fixed (defining the convex hull of the data) and 12 being random. The remaining 80 points are used as witnesses of the accuracy of the transformation, since their displacements are also known. Four different methods were considered: a) Ordinary kriging (Samper and Carrera, 1990) b) Inverse Distance Weighting c) GRIDDATA (Matlab, 2009) and d) GRIDFIT (D'Errico, 2006). Five runs of the calculations were performed. The results show that some methods perform better than others in some cases but not in all of them, while some methods were systematically worse. The author stated that is needed more research to improve confidence.

Yang *et al.* (2012) also applies RMSE as a metric of success for a conflation process. They compare the results of two different approaches, computing RMSE in four different samples. The original dataset coordinate values are compared to the original ones and the results of using both approaches, being RMSE the square root of the distance from the location of the references to the location of the originals and aligned using both approaches. In terms of the overall results for the four sample sites, the RMSE improved from 14.2 to 9.3 m.

Displacement

This metric is applied to linear (Chen *et al.*, 2006) or point features (Chen *et al.*, 2004) and they also need a reference to compare with. In these cases, conflation success is expressed as a length representing the positional accuracy and meaning how far are the conflated features on the map from the real (reference) features.

In Chen *et al.* (2004) a quantitative analysis is conducted, using the road intersections (points) instead of the whole lines (roads). The displacement of the road intersections to the corresponding road intersections in the imagery is measured in meters, and the mean of these point displacements are used to evaluate the accuracy of the considered algorithms. For test dataset 1, 281 intersections were used and the mean point displacement improves from 27 to 8.35 meters; while in test dataset 2, with 240 intersections, the mean point displacement improves from 24 to 10.9 meters.

Linear features can also be considered. In Chen *et al.* (2006) they calculate these displacements considering a buffer around the reference line axes and computing the proportion of the conflated map line pixels that lies within the buffer (Figure 6). They state that RMS difference quality measure as described in Wiedemann *et al.* (1998) does not meet the requirements needed to compute how far the conflated road network is from the reference road network, because it only allows to measure how far the matched conflated road network is from the reference road network. Displacement is described as the percentage of the total length of the conflated map lines that is within a specific distance of the reference lines. (e.g., 95% of the conflated lines are within 5 meters of the reference lines).

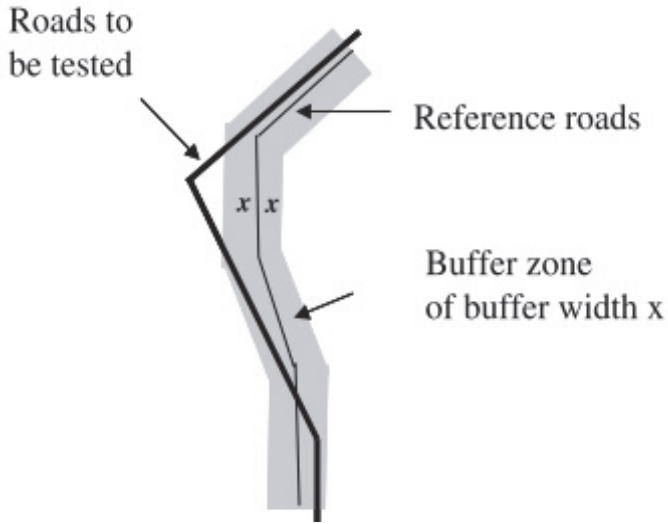


Figure 6. Positional accuracy evaluation using buffers. From Chen *et al.* (2006).

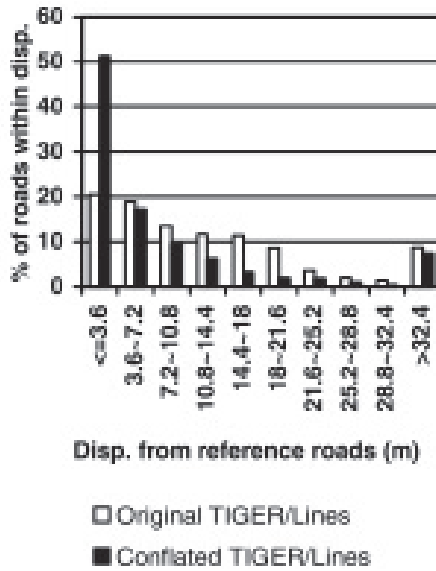


Figure 7. Positional accuracy assessment. Displacement values are grouped every 3.6 meters in the x-axis and the y-axis shows the percentage of conflated roads which have that displacement tolerance. From Chen *et al.* (2006).

They gradually increase the buffer-width, varying from 3.6 m (i.e., the U.S. standard lane width) to 32.4 m (i.e., nine times the U.S. standard lane width). Therefore, instead of computing a number, the positional accuracy is reported as a function. The x-axis shows the displacement values grouped every 3.6 meters and the y axis shows the percentage of conflated roads lying within the displacement range presented by the x axis. Color is used to distinguish between original and conflated lines. An example is given in Figure 7, where 50% of the conflated roads have a displacement value less than 3.6 meters, 18% between 3.6 and 7.2 meters, 10% between 7.2 and 10.8 meters and so on.

Hausdorff distance

Another metric used by Touya *et al.*, (2013) in their geometric conflation adjusted by least squares was Hausdorff distance. The Hausdorff distance measures how far two subsets of a metric space are from each other, represented as the greatest of all the distances from a point in one set to the closest point in the other set. It can be used, among others, to measure the similarity of contours (Abbas, 1994). As the same case with area increase ratio, they computed RMSE errors for 200 features, comparing The Least Squares conflation and the Rubber sheeting conflation with the initial data. The results show that the geometrical conflation adjusted by least squares preserves shapes better than using rubber sheeting method, being the Hausdorff distance shorter.

Other length metrics

In Doytsher *et al.* (2001), as explained before, mean distance differences between the original dataset and the conflated dataset are calculated and global statistical measures are computed from these differences:

- Mean: average of the set of distance differences. Particularly, the number obtained as the sum of the differences divided by the total number of differences calculated.
- Maximum and minimum: highest and lowest value of the differences in absolute value.
- Standard deviation. The standard deviation is defined as the positive square root of the differences between the distances and the mean distance, expressing the deviations of the differences from the mean.

After calculating global statistical measures, they apply the same procedure to specific examples for each kind of feature (roads and hydrology), for the original and the conflated dataset.

Metric as time

Execution time always need to be evaluated in the case of automatic conflation, since it could represent a way to measure the algorithm quality or performance. Moreover, in an ephemeral context, execution time evaluations are decisive since it represents the time the user will wait till the conflation process is finalized. However, in this case, the metric does not measure the product quality but the process.

In some cases, the running time of the conflation algorithms is mainly dominated by the feature matching routine (third step in a conflation process, Figure 1), and the transformation function applied (fifth step in a conflation process, Figure 1) is not relevant in this computation time. This running time mainly depends on the number of features, not on the maps sizes or map scales. Therefore, the running time of the point matching routine can be used as the overall execution time, gradually increasing the number of points on the imagery (Chen *et al.*, 2004, Chen *et al.*, 2006, Chen *et al.*, 2008).

On the other hand, conflation process for which the transformation function is computationally intense, including the required matching process in the execution time does not drastically change the result. The processing time is negligible compared to conflation computation time (Touya *et al.*, 2013).

There are also examples that compute the execution time including the whole process: matching, transformation and data reading and writing (Zhang *et al.*, 2016).

Other possibilities for metrics

Other metrics to measure shape preservation used by Touya *et al.* (2013), in their geometric conflation adjusted by least squares, were not expressed as a percentage, length or time:

- Surface distance (Figure 8). It measures the similarity of shapes, described as the ratio between the areas of the intersection of two polygons and their union.
- Turning function. It measures the preservation of angles independently to translations, as described in Arkin *et al.* (1991).
- Polygon signature. It measures the similarity of shapes independently to translations, as described in Vauglin *et al.* (1998).

They computed RMSE errors also for these metrics, comparing the Least Squares conflation and the Rubber sheeting conflation with the initial data. The results show that the geometrical conflation adjusted by least squares preserves shapes better than using rubber sheeting method in all the cases: turning function distance is twice smaller in RMSE error in the case of Least Squares adjustment, which means that angles are better preserved; polygon signature is smaller too,

which means it increases less the area of the features; however, surface distance is higher, due to the translation implied by the shape preservation constraints.

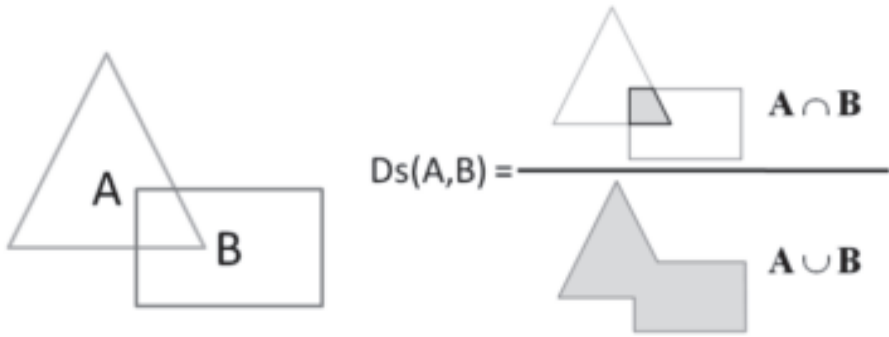


Figure 8. Definition of surface distance. From Touya *et al.* (2013).

Conclusion

Correctness and completeness are two common metrics for measuring conflation success. They are used in the literature for all kind of features (polygons, lines and points), with similar definitions and for evaluating geometric conflation success. Most of the quantitative numerical results are high, always above 80%. However, this is only a global percentage for the whole map and its representativity could be discussed. Is it a conflation process better than other if they have 10% more of correct features?

In the case of line features, Chen *et. al* (2006, 2008) improve the definition not using the whole features but lengths of segments, applying a matching buffer method (Wiedemann *et al.*, 1998) to a conflation evaluation. Analyzing the results using partial length instead of the whole features drives to worse correctness percentages, which makes sense since the “zoom” in the evaluation is being increased.

Metrics as a length give a distance in meters instead of a percentage, usually explaining through a measurement of how far the conflated features are from the original ones. RMSE as defined in the NSSDA standard (FDGC, 1998), only take into account the results in the control points, without considering the geographical position of them. Control points could be badly distributed and thus there would be a bias in the results. In the case of line features, Chen *et. al* (2006, 2008) make the measurement more local by measuring the percentage of the total length of the (conflated) roads that is within a specified distance x to the reference roads, instead of computing only an average (Chen *et al.*, 2004). This allows to group the results by distance threshold, obtaining a percentage for each of them.

General statistics measures calculated by Doytsher *et al.* (2001) could be useful to study the distribution of the distance differences between the original dataset and the conflated dataset. However, the result obtained is only an improvement percentage from original to conflated features.

Considering the data producer point of view, conflation execution time is worth considered. Regarding execution time, the results are always variable, as they depend on a lot of parameters: map scale, number of features, information available for the map (e.g. road directions), matching algorithm used and conflation algorithm used. It is hard to determine a general time threshold and it will be depending of each case of study. Also, none of the literature reviewed provide a relative value (e.g. seconds per object feature) which means the results are not comparable.

Other possibilities for metrics are found, besides from lengths, percentages or time units. They are distances used to measure shape preservation, which could evaluate conflation success analyzing how the shape of the conflation features change. Shapes could also be compared using other conflation methods.

Open problems

Most of the literature reviewed evaluate the geometric conflation and only a few of them consider other aspects which can be taken into account in these processes (object shapes, presence and absence of objects...). Moreover, the metrics used are basic, being mostly percentages and displacements. Only metrics as the RMSE, Hausdorf distance and other possible distances (e.g. Fréchet distance) are defined mathematically, which brings more consistency to the conflation evaluation reports.

There is a lack of a standard metric to measure conflation success. The RMSE as defined by NSSDA (FDGC, 1998) is one of the exceptions found, but there could be another possibilities as ASPRS standards for Positional Accuracy for Digital Geospatial Data (ASPRS, 2015) and UNE 148002 standard (2016), recently published.

All metrics are strong metrics in the sense of González *et al.* (2013), as they are objective and do not take user context and purpose into account. Moreover, they evaluate the map as a whole. The numbers and percentages obtained are taken as representative of the entire region, even though there could be regions with good accuracy and others with less accuracy.

Execution time metrics found in traditional conflation processes are not sophisticated. This could be due to the fact that although the execution time is always important, it is only a data production issue. Nevertheless, in an ephemeral context, execution time evaluations are decisive since it represents the time the user will wait till the conflation process is finalized and it should be strongly considered.

Furthermore, all of these metrics are intrinsic to the data and do not consider neither the user-context nor the purpose. There is a need for developing weak met-

rics if the ephemeral conflation wants to be used and applied, needing further considerations and development since it could represent a new scenario in cartography, linked to the concept of smart cities and pervasive spatial data.

References

- Abbas, I. (1994). “Base de Données Vectorielles et Erreur Cartographique: Problèmes Posés par le Contrôle Ponctuel; une Méthode Alternative Fondée sur la Distance de Hausdorff”, Ph.D. Thesis, Université de Paris, Paris, France, 197 pp.
- Arkin, E.M.; Chew, L.P.; Huttenlocher, D.P.; Kedem, K. and Mitchell, J.S.B. (1991). “An efficiently computable metric for comparing polygonal shapes”, *IEEE Trans. Patt. Anal. Mach. Int.*, 13:209-216.
- Aronov, B.; Har-Peled, S.; Knauer, C.; Wang, Y. and Wenk, C. (2006). “Frechet distance for curves, revisited”, *Lecture Notes in Computer Science*, 4168:52-63.
- ASPRS (2015). “Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing”. Available at <<http://cort.as/oc0N>> accessed November 19th, 2016.
- Batty, M.; Axhausen, K.W.; Giannotti, F.; Pozdnoukhov, A.; Bazzani, A.; Wachowicz, M.; G. Ouzounis and Portugali, Y. (2012). “Smart cities of the future”, *The European Physical Journal: Special Topics*, 214(1):481-518.
- Casado, M.L. (2006). “Some basic mathematical constraints for the geometric conflation problem”, in *Proceedings of the 7th international symposium on spatial accuracy assessment in natural resources and environmental sciences*, Lisbon, Portugal, 264-274.
- Chen, C.C.; Knoblock, C.A. and Shahabi, C. (2006). *Automatically conflating road vector data with orthoimagery*. *GeoInformatica*, 10(4), 495-530.
- (2008). “Automatically and accurately conflating raster maps with orthoimagery”, *GeoInformatica*, 12(3):377-410.
- Chen, C. and Knoblock, C. (2004). “Automatically and accurately conflating orthoimagery and street maps”, in *Proceedings of the 12th ACM International Symposium on Advances in Geographic Information Systems (ACM-GIS'04)*, ACM Press, Washington, D.C., pp. 47-56.
- Cobb, M. *et al.* (1998). “A rule-based approach for the conflation of attributed vector data”, *Geoinformatica*, 2(1):7-35.
- Cobb, M.; Petry, F. and Shaw, K., (2000). “Fuzzy spatial relationship refinements based on minimum bounding rectangle variations”, *Fuzzy Sets and Systems*, 113(1):111-120.
- D’Errico, J. (2006). “Understanding GRIDFIT, 2006”, available at <<http://cort.as/oc0X>>, accessed July 22, 2016.

- Doytsher, Y.; Filin, S. and Ezra, E. (2001). "Transformation of Datasets in a Linear-based Map Conflation Framework", *Surveying and Land Information Systems*, 61(3):159-169.
- Edwards, D. and Simpson, J. (2002). "Integration and access of multi-source vector data", Symposium on geospatial theory, processing and applications, 9-12 July, Ottawa, Canada, 8 pp.
- FGDC (1998). *Geospatial Positioning Accuracy Standards; Part 3: National Standard for Spatial Data Accuracy*, Federal Geographic Data Committee, FGDC-STD-007.3, Washington, D.C., 28 pp. Available at <<http://cort.as/oc0f>>, accessed July 22, 2016.
- González, C.-H., López-Vázquez, C. and Bernabé, M.-Á. (2013). "Ephemeral Conflation", *The Cartographic Journal*, 50(1):43-48.
- Knauer, C.; Löffler, M.; Scherfenberg, M. and Wolle, T. (2009). "The directed Hausdorff distance between imprecise point sets", *Lecture Notes in Computer Science*, 5878:720-729.
- Lemarie, C. and Raynal, L. (1996). "Geographic data matching: first investigations for generic tool", *Proceedings of the GIS/LIS096 annual convention*, 19-21 November, Denver, ACSM, pp. 405-420.
- López-Vázquez, C., and González, C.H. (2009). "The need of a framework to compare Geometric Conflation Algorithms", in *12th AGILE International Conference on Geographic Information Science*, Hannover, pp. 1-5.
- Mackness, W. and Edwards, G. (2002). "The importance of modelling pattern and structure in automated map generalisation", in *Joint workshop on multi-scale representations of spatial data*, 7-8 July, Ottawa, ON, pp. 1-11.
- MATLAB (2009). *Data gridding*, available at <<http://cort.as/oc0p>>, accessed July 22, 2016.
- OGC (2016), *Sensor Web Enablement (SWE)*, available at <<http://cort.as/oc0t>>, accessed July 20, 2016.
- UNE 148002 (2016), *Methodology for positional accuracy assessment of geographic information*, Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR). Normas UNE (Una Norma Española), available at <<http://cort.as/oc1->>, accessed November 19, 2016.
- Ruiz, J.J.; Ariza, F.J.; Ureña, M.A. and Blázquez, E.B. (2011). "Digital map conflation: a review of the process and a proposal for classification", *International Journal of Geographical Information Science*, 25(9):1439-1466.
- Saalfeld, A. (1983). "Conflation: automated map compilation", PhD thesis. CS-TR-3066, University of Maryland College Park, College Park, MD, USA, 133 pp.
- Samper, J. and J. Carrera (1990). *Geostadística: aplicaciones a la Hidrología Subterránea*, Ed. CIMNE, Barcelona, Spain, 484 pp.

- Sledge, I.; Keller, J.; Song, W. and Davis, C. (2011). “Conflation of vector buildings with imagery”, *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 8(1):83-87.
- Touya, G.; Coupé, A.; Jollec, J.; Dorie, O. and Fuchs, F. (2013). “Conflation Optimized by Least Squares to Maintain Geographic Shapes”, *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 2(3):621-644.
- Vauglin, F.; Bel Hadj Ali, A. (1998). “Geometric Matching of Polygonal Surfaces in GISs”, *Proceedings of ASPRS Annual Meeting*, Tampa, FL, USA, 30:1511-1516.
- Wiedemann, C.; Heipke, C.; Mayer, H. and Jamet, O. (1998). “Empirical evaluation of automatically extracted road axes”, *Empirical Evaluation Techniques in Computer Vision*, 172-187.
- Yang, B., and Zhang, Y. (2015). “Pattern-mining approach for conflating crowdsourcing road networks with POIs”, *International Journal of Geographical Information Science*, 29(5):786-805.
- Yang, S.; Kim, C.; Huh, Y. and Yu, K. (2012). “Removal of spatial inconsistency and shape disagreement for conflation of road maps with aerial images”, *Canadian Journal of Remote Sensing*, 38(6):723-737.
- Yuan, S. and Tao, C. (1999). “Development of conflation components”, *Proceedings of geoinformatics '99 conference*, Ann Arbor, USA, pp. 1-13.
- Zhang, M.; Yao, W.; and Meng, L. (2016). “Automatic and Accurate Conflation of Different Road-Network Vector Data towards Multi-Modal Navigation”, *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 5(5):68-84.

Métodos de evaluación de la calidad posicional en Hispanoamérica: análisis de la situación

F. Javier Ariza-López*
Emerson Xavier**
Elena Chicaiza***
Xavier Buenaño****

Recibido el 15 de diciembre de 2016; aceptado el 22 de mayo de 2017

Abstract

Positional accuracy constitutes a primordial aspect of geographic information quality in any geomatics application and a key element to get interoperability. The aim of this publication is identify the methods of positional accuracy assessment that are using in Hispano-American countries and within them, some that worked in the project: “Diagnosis of current situation of methodologies and procedures applied in geographic information quality evaluation”, funded by the Pan American Institute for Geography and History. The standards that are been applied are linked with American standards such as: EMAS, NMAS, NSSDA, PSADG. The most of these standards assume normality, but there are new trends such that opened by UNE 48002:2016, this Spanish standard opens a new framework. Finally, results of a survey about national maturity levels related with positional accuracy assessment conclude that positional-accuracy-assessment methods being applied in analyzed countries - are in an initial level, with the exception of Spain and Brazil.

Key words: Positional accuracy, maturity level, uncertainty, accuracy assessment, geometric interoperability.

* Universidad de Jaén, Paraje de las Lagunillas s/n, E-23071, Jaén, España, correo electrónico: fjariza@ujaen.es

** Licencia de Diretoria de Serviço Geográfico Exército Brasileiro, Brasil, correo electrónico: emax0001@red.ujaen.es

*** Sección Nacional del IPGH en Ecuador, Seniergues, 170413, Quito, Ecuador, correo electrónico: elena.chicaiza@ipgh.gob.ec

**** Universidad Politécnica de Madrid, España, correo electrónico: xgoodyear@gmail.com

Resumo

A exatidão posicional constitui um aspecto da qualidade da informação geográfica primordial em qualquer aplicação geomática, e é chave para se lograr interoperabilidade entre conjuntos de dados. O objetivo deste artigo é identificar os métodos de avaliação da qualidade posicional que estão sendo aplicados nos países da Hispanoamérica e, dentro destes, os que participaram do Projeto “Diagnóstico da situação atual sobre as metodologias e procedimentos empregados para a avaliação da qualidade da Informação Geográfica” financiado pelo IPGH. As normas base que são aplicadas correspondem aos métodos americanos como: EMAS, NMAS, NSSDA, PSADG. A maioria destas normas assumem normalidade, mas existem novas tendências como a aberta pela norma espanhola UNE 148002, que supõe uma mudança de paradigma. Finalmente, se apresentam os resultados de um estudo sobre o nível de maturidade nacional com respeito a avaliação da qualidade posicional e que veem a concluir que, nos países analisados, este tipo de avaliações se encontram, na maioria dos casos, em estágio inicial, exceto Espanha e Brasil.

Palavras chave: *Precisão de posição, nível de maturidade, incerteza, avaliação de precisão, interoperabilidade geométrica.*

Resumen

La exactitud posicional constituye un aspecto de la calidad de la información geográfica primordial en cualquier aplicación Geomática, y es clave para lograr interoperabilidad entre conjuntos de datos. El objetivo de este artículo es identificar los métodos de la evaluación de la calidad posicional que están siendo aplicados en los países de Hispanoamérica y, dentro de éstos, los que han participado en el Proyecto “Diagnóstico de la situación actual sobre las metodologías y procedimientos empleados para la evaluación de la calidad de la Información Geográfica” financiado por el IPGH. Las normas base que son aplicadas se corresponden con los métodos americanos como: EMAS, NMAS, NSSDA, PSADG. La mayoría de estas normas asumen normalidad, pero hay nuevas tendencias como la abierta por norma española UNE 148002, que supone un cambio de paradigma. Finalmente, se presentan los resultados de un estudio sobre el nivel de madurez nacional con respecto a la evaluación de la calidad posicional y que viene a concluir que, en los países analizados, este tipo de evaluaciones se encuentran, en la mayoría de los casos, en el nivel inicial, exceptuando España y Brasil.

Palabras clave: *exactitud posicional, nivel de madurez, incertidumbre, evaluación exactitud, interoperabilidad geométrica.*

Introducción

La posición es la forma de referir la situación de los objetos en un espacio dado. En este artículo nos referimos a lo que se denomina posicionamiento directo (ISO 19111) o por coordenadas (p.ej. X= 410510, Y= 4183127), por oposición al posicionamiento indirecto o por identificadores geográficos (p.ej. Calle Alcalá, nº 500, Madrid, España). La exactitud posicional es un aspecto de la calidad de la información geográfica (IG) que resulta primordial en cualquier aplicación geomática. Desde siempre, la componente posicional ha sido considerada como un aspecto definitorio y primordial de la calidad de todo producto cartográfico (Ariza-López, 2002), dado que la posición afecta a la geometría, topología y aspectos temáticos que representan los datos espaciales. Sin embargo, desde hace dos décadas, la componente posicional tiene una renovada importancia en el campo de la Geomática; motivo de ello son, entre otras, las siguientes causas: la difusión de las técnicas y dispositivos GNSS (*Global Navigation Satellite Systems*, p.ej. el sistema GPS) para la captura de coordenadas, nuevas tecnologías para la toma de datos masivos (p.ej. LIDAR), la implantación de las Infraestructuras de Datos Espaciales (IDE) que requieren interoperabilidad, el incremento de aplicaciones con altas demandas de exactitud posicional (p.ej. inteligencia, militares, vuelos y misiones no tripuladas, agricultura de precisión, etc.), muchas de ellas con carácter global y que requiere posicionamiento absoluto preciso.

A este nuevo marco de grandes exigencias de exactitud posicional se ha venido reaccionando en dos líneas por parte de las agencias cartográficas y productores oficiales de datos:

- a) Desarrollando programas de mejora de la exactitud posicional (p.ej. Alemania, Suiza, UK, etc. (Rönsdorf, 2004). La idea es aprovechar los datos levantados por métodos tradicionales que poseen buena calidad en posición relativa en el corto rango, y también gran calidad en cuanto a compleción y aspectos semánticos (p.ej. temáticos), pero que no tienen un nivel suficiente en cuanto a calidad posicional absoluta.
- b) Actualización de los métodos de evaluación de la componente posicional ya existentes, o desarrollo de nuevos métodos. Ejemplo en esta línea son el nuevo estándar de la *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing* (ASPRS, 2015), la nueva norma española (UNE 148002) o la nueva norma brasileña (ET-CQDG, 2016).

En la línea de una de las conclusiones del documento “Visión de Aplicación del Marco Normativo de las Américas” (NNUU, 2013), que indica que la normalización geográfica deberá enfocar sus primeros esfuerzos hacia la obtención de un diagnóstico normativo regional, este trabajo se plantea como objetivo el determinar

la situación actual en lo relativo a los Métodos de Evaluación de la Calidad Posicional (MECP) en los países miembros del Instituto Panamericano de Geografía e Historia (IPGH) que han participado en el Proyecto “Diagnóstico de la situación actual sobre las metodologías y procedimientos empleados para la evaluación de la calidad de la Información Geográfica” <http://coello.ujaen.es/investigacion/web_giic/SubWeb_IPGH2016/>, financiado en la Convocatoria de Proyectos de Asistencia Técnica del año 2015 (mencionado como Proyecto en adelante).

El apartado siguiente realiza una aproximación al error posicional y, a partir de la información generada en el Proyecto se identificarán los MECP que se están aplicando, se analizará la situación actual y se valorará el grado de madurez en este aspecto. Finalmente, se incluyen unas conclusiones generales donde se indica la oportunidad de alguna actuación a nivel regional.

Aproximación al Error Posicional, su estimación y control

Dado un conjunto de datos espaciales (CDE) la posición de un fenómeno del mundo real se describe por medio de valores (coordenadas) en un sistema de referencia. Su calidad posicional se determina por medio de la exactitud posicional. La exactitud queda definida por ISO 3534-1 como la proximidad o acuerdo entre el resultado de una prueba y el valor aceptado como referencia, de tal manera que se compone de dos términos:

$$\text{Exactitud} = \text{veracidad (trueness)} + \text{precisión (precision)} \quad (1)$$

Donde, la *veracidad* es la proximidad del acuerdo entre el valor promedio obtenido de una serie larga de pruebas y el valor aceptado como referencia; y la *precisión* es la proximidad del acuerdo entre pruebas independientes obtenidas bajo unas condiciones estipuladas. De forma sencilla podemos indicar que la veracidad es la ausencia de sesgo en la distribución de los errores, y que la precisión es la dispersión que tiene la distribución de los errores y que se relaciona con la variabilidad del proceso aleatorio.

Un aspecto importante en la gestión de los errores posicionales es el modelo que se asume sigue la parte aleatoria (errores aleatorios). Tradicionalmente se considera que éstos se distribuyen según una función de distribución Normal, es decir, según un modelo paramétrico (ecuación matemática que posee unos parámetros). El uso de modelos paramétricos tiene grandes ventajas, pues los datos se sustituyen por los parámetros del modelo y, además, el modelo posee ciertas propiedades que permiten manejarlo convenientemente (p.ej. forma de expandir la incertidumbre a un nivel de confianza) y llegar a conclusiones de manera sencilla (p.ej. por medio de contrastes de hipótesis). En el caso de la distribución Normal los parámetros son la

media, que permite tomar en cuenta el sesgo (veracidad), y la desviación, que permite modelar la dispersión de los datos (precisión).

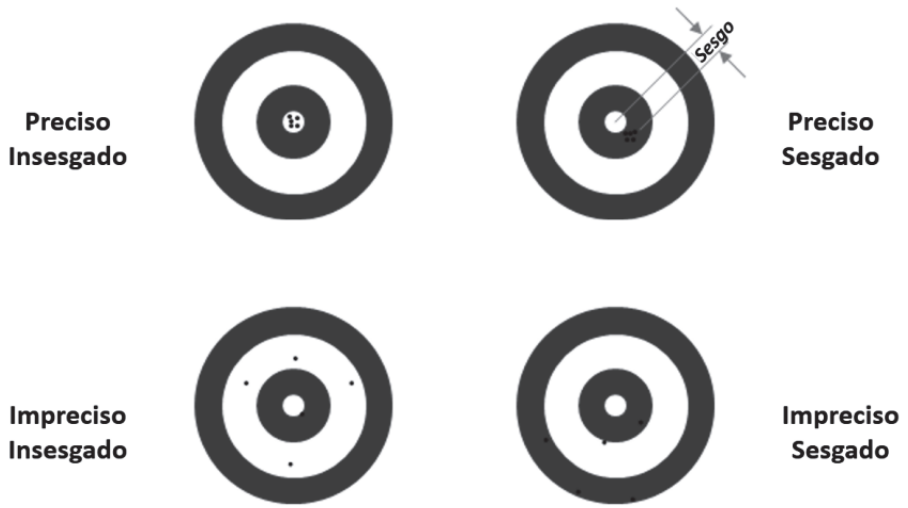


Figura 1. Conceptos de precisión y sesgo.

No obstante, hoy en día está muy en entredicho que los datos de error posicional sean normales, por ejemplo:

- En el caso de datos LIDAR, se indica que pueden ser datos sin distribución alguna (Maune, 2007).
- En la digitalización manual Bolstad y col (1990) indican un modelo bimodal, mientras que Tong y Liu (2004) proponen una p-normal (Normal + Laplace).
- Para el caso de la geocodificación varios autores (Cayo y Talbot, 2003; Karimi y Durcik, 2004; Whitsel y col. 2004) indican la distribución log normal.
- Para observaciones GNSS las distribuciones Raleigh y Weibull (Wilson, 2006; Logsdon, 1995).
- En otros trabajos se mencionan las distribuciones: Normal plegada, Half-Normal, Gamma.

Pensando en métodos estandarizados de evaluación de la componente posicional, básicamente existen dos formas muy distintas de realizar esta evaluación, que son la estimación y el control:

- **Estimación.** Significa conocer el valor verdadero de un parámetro que representa una característica de un producto (p.ej. sesgo medio, desviación, etc.), con un cierto nivel de incertidumbre acotado en la estimación. Por tanto, la estimación es la determinación fiable de un valor. En este caso se habla de estimación de la exactitud posicional.
- **Control.** Significa el deseo de conocer si una característica de un producto alcanza o no un cierto nivel de calidad indicado en unas especificaciones. Por tanto, el control es la determinación fiable de si se cumple o no una condición. En este caso se habla de control de la calidad posicional (control posicional en sentido estricto).

Métodos de evaluación de la calidad posicional identificados

Nuestro objetivo es identificar los MECP que están siendo aplicados en los países que han participado en el Proyecto y, a partir de aquí, derivar alguna conclusión. Conviene advertir, que no se pretende un análisis técnico en profundidad de estos MECP, pues son ya varios los trabajos que lo han realizado (Ariza-López y Atkinson-Gordo, 2006 y 2008; Nero y Cintra, 2005; Pereira y Nero, 2012), alguno de ellos atendiendo la situación específica en Hispanoamérica (Ariza-López y col., 2007).

La Tabla 1 presenta el conjunto de respuestas que se va a analizar. Atendiendo al orden de las columnas en la tabla, en éstas se indica el país, si éste dispone o no de un MECP publicado como norma nacional, y la referencia a la publicación que lo documenta. En algunos casos, en lugar de la publicación aparece “informante”, con ello se quiere indicar que no se existe documentación pública, pero que hay informantes con conocimiento fehaciente de que se está aplicando el método indicado. Conviene advertir que, en algunos casos, los documentos referenciados no son realmente MECP sino especificaciones técnicas que establecen unos criterios que se pueden llevar, de alguna manera, a un MECP.

Se comenzará el análisis por los MECP desarrollados en Estados Unidos por su gran influencia sobre el resto de países; posteriormente se presentará la propuesta del IPGH y, finalmente la de cada uno de los países participantes por orden alfabético.

Estados Unidos

Son varios los MECP que se han publicado en este país; y muchos de ellos han tenido gran repercusión mundial y que, específicamente, han sido adoptados por países del IPGH. Entre estos métodos están el NMAS (USBB, 1947) y el NSSDA (FGDC, 1998); ambos procedentes de agencias gubernamentales, y varios MECP

Tabla 1
MECP Identificados

<i>País</i>	<i>Norma</i>	<i>Referencia</i>
Argentina (Provincia de Santa Fe)	Sí	UNL y SCIT (2004). Norma cartográfica de la Provincia de Santa Fe
Brasil	Si	ET-CQDG (2016): Norma de especificación técnica para el control de calidad de datos geoespaciales (ET-CQDG) Decreto N° 89.817, del 20 de junio de 1984. Establece as Instituciones Reguladoras de las Normas Técnicas de la Cartografía Nacional
Chile	No	Informantes. Se aplican: NSSDA, PASDG, EMAS
Colombia	Si	NTC 5205 - Precisión de datos espaciales ASPRS (2015). ASPRS Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data IPGH (1978). Especificaciones para mapas topográficos. Panamá.
Ecuador	No	Informantes. Se aplica NSSDA.
España	Si	UNE 148002:2016. Metodología de evaluación de la exactitud posicional de la información geográfica
México	Si	INEGI. Norma técnica sobre estándares de exactitud posicional INEGI. Compendio de criterios y especificaciones técnicas para la generación de datos e informaciones de carácter fundamental. 07 Geodesia- 07.2 Estándares de Exactitud Posicional
Panamá	No	Informantes. Se aplican: NSSDA
Perú	No	Instituto Geográfico Nacional, normas técnicas “especificaciones técnicas para la producción de mapas topográficos a escala de 1:100,000”
Puerto Rico	Si	Estándar TIG-005-004: Exactitud posicional de los datos. Oficina de Gerencia y Presupuesto
Uruguay	No	Informantes. Se aplican: NSSDA
USA	Si	NMAS (USBB, 1947) NSSDA (FGDC, 1998) ASPRS (2015)
Venezuela	No	IGVSB (2012). Especificaciones técnicas para la revisión de cartografía básica a escala 1:1,000. Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar

procedentes de asociaciones profesionales, de los que cabe destacar el PASDG (ASPRS, 2015) recientemente publicado. Los MECP que se presentan denotan una clara evolución conceptual y mejora a lo largo del tiempo con la intención de adaptarse a las nuevas realidades tecnológicas y necesidades. A continuación, se presentan las ideas básicas de estos métodos:

- NMAS. El *United States National Map Accuracy Standards* (USBB, 1947) es el método más clásico y difundido en todo el mundo como método de control posicional. Este sencillo método establece dos tolerancias planimétricas (1/30" y 1/50") en función de dos intervalos de escalas: escalas mayores y escalas menores a 1:20k. A partir de ahí se toma una muestra de puntos de control y se verifica que no más del 10% de las discrepancias planimétricas sobrepasen la tolerancia aplicable. En altimetría se verifica que no más del 10% de las elevaciones comprobadas superen un error de más de $\frac{1}{2}$ del intervalo entre curvas de nivel. Este método ha recibido notables críticas por su aparente falta de base estadística pero, como demuestran Ariza-López y Rodríguez-Avi (2014), realmente sí posee una base estadística sólida y muy robusta, lo que ocurre es que no se conoce; además, el NMAS ha influido en los MECP de otros países (p.e. IPGH, 1978; Brasil, 1984).
- EMAS. El *Engineering Map Accuracy Standards* es un método de control posicional desarrollado por la *American Society of Civil Engineers* (ASCE, 1983), y que se basa en contrastes de hipótesis estadísticas que asumen la normalidad de los datos. Para ello, en cada componente, X, Y y Z, y de manera independiente, se comprueba la existencia o no de un sesgo significativo, y de un comportamiento variacional excesivo. El primer contraste de hipótesis se materializa mediante una prueba *t* de Student, y el segundo contraste con una prueba Chi2. Es un método muy restrictivo como se demuestra en Ariza-Lopez y col. (2008) debido a que no se corrige la significación total del conjunto de contrastes de hipótesis que se realizan conjuntamente.
- NSSDA. El *National Standard for Spatial Data Accuracy* es un método de estimación desarrollado por el *Federal Geographic Data Committee* (FGDC, 1998), que ofrece como resultado un valor de incertidumbre estimado a un nivel de confianza del 95%. De esta forma, es el usuario el que ha de decidir si le resulta adecuado o no a sus propósitos. Para la estimación se toma una muestra reducida de puntos de control (al menos 20 puntos). Se considera la normalidad de los errores planimétricos y, por ello, para la componente planimétrica se asume una distribución Chi2, según los desarrollos de Greenwalt y Shultz (1962). La componente altimétrica se estima de la misma manera y bajo los mismos supuestos, por lo que en este caso se asume la normalidad unidimensional de los errores.

- PASDG. El *Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data* es un método de estimación desarrollado por la *American Society of Photogrammetry and Remote Sensing* (ASPRS 2015), centrado en la evaluación de ortoimágenes digitales, de datos digitales planimétricos y de datos digitales altimétricos. En este MECP considera clases de exactitud posicional, las cuales se determinan a partir de la estimación de la incertidumbre por medio del cálculo del RMSE sobre una muestra de puntos de control. El PASDG se basa en el NSSDA para los errores que se consideran distribuidos normalmente, y propone el uso de percentiles para el caso de errores altimétricos que se consideren no se distribuyen normalmente. Un avance importante de esta norma es que ya vincula el tamaño de muestra con el tamaño del proyecto fotogramétrico. Un problema de esta norma es que genera dos tipos de resultados, unos para errores normales y otro para errores no normales.

Instituto Panamericano de Geografía e Historia (IPGH)

Se trata de las *Especificaciones Topográficas* (IPGH, 1978) que, en lo relativo al control posicional, se alinean en su filosofía con método NMAS (USBB, 1947), que era el estándar más aplicado internacionalmente en esa época. Como diferencia y novedad relevante en su momento, se introdujo un sistema de letras y números que indican categorías de exactitud y requisitos de actualización.

Argentina

No se ha comprobado la existencia de una norma nacional pero sí se ha identificado la “Norma Cartográfica de la Provincia de Santa Fe” (UNL y SCIT, 2004) realizada por Universidad Nacional del Litoral y Servicio de Catastro e Información Territorial. Se trata de unas especificaciones cartográficas por lo que la parte dedicada al método de evaluación de la componente posicional está realmente ausente. Se basa en el método propuesto por el Decreto Brasileño 89817 de 20 de julio de 1984, si bien reduce los valores que considera para cada tolerancia, haciéndola más estricta.

Brasil

El Decreto 89817 del 20 de julio de 1984 establece las bases reguladoras de las normas técnicas nacionales y en él se establecen las especificaciones de exactitud posicional a partir del denominado Patrón de Exactitud Cartográfica (PEC). Se distingue entre un PEC planimétrico, para puntos bien definidos, y un PEC altimétrico, para puntos interpolados entre curvas de nivel. El PEC se relaciona linealmente con el Error Patrón ($EP \approx RMSE$) de la siguiente manera $PEC = 1.6449 EP$. El Error Patrón no puede exceder nunca el 60% del PEC ($0.6 = 1/1.6449$). El PEC es un indicador estadístico de la dispersión correspondiente a un nivel de probabilidad

del 90%, de tal manera que el 90% de los puntos que se controlen deben tener errores menores que el PEC. Finalmente, se establecen tres clases de exactitud (A, B y C), tal que la clase C caracteriza productos que poseen un PEC que es el doble de los productos de clase A. La clase B es una clase intermedia. Vemos en ello que la parte estadística de este método se basa en las ideas del NMAS (USBB, 1947), si bien se establece una condición ($PEC=1.6449 EP$) que denota la adopción explícita del supuesto de normalidad de los errores pues 1.6449 es el $K_{90\%}$ (caso unidimensional). En los aspectos de clasificación esta norma se basa en la del IPGH (1978). Recientemente ha entrado en vigor la “*Norma da especificação técnica para controle de qualidade de dados geoespaciais*” (ET-CQDG, 2016). Este documento sí es una verdadera norma centrada en la evaluación de la calidad y, además, es consistente con el marco establecido por ISO 19157 para la calidad de datos espaciales. En cuanto al aspecto espacial se asumen las especificaciones del Decreto 89817 pero se desarrolla todo el marco necesario para el control (definición de los elementos de control, tamaño de muestra, esquema de muestreo, método de informe, etc.). Es de destacar que para la definición de los muestreos se propone la aplicación de la norma ISO 2859 (partes 1 y 2), lo que permite su aplicación a suministros lote a lote y de lotes aislados.

Chile

No se dispone de documentación oficial que establezca una norma, o en la que adopte una ya existente, pero se tiene conocimiento de la aplicación de los siguientes métodos: NSSDA, EMAS y ASPRS en diversos proyectos cartográficos recientes por parte del Servicio Aerofotogramétrico de la Fuerza Aérea de Chile.

Colombia

Se dispone de la norma propia NTC 5205 (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación —INCOTEC, 2003), que se aplica conjuntamente con ASPRS (2015) e IPGH (1978). La NTC 5205 se basa en el NSSDA, en cuanto a su base estadística; pero no es una copia literal de ese estándar y en esta línea realiza una argumentación y desarrollo propios, en la que cabe destacar la atención que presta al reporte de los resultados. Respecto a las especificaciones, del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC, 2016) se puede destacar que se incluyen tolerancias para la exactitud posicional relativa.

Ecuador

Si bien, en los últimos años existe un notable avance en los aspectos de normalización de la IG (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo —SENPLADES,

2013), no se dispone de documentación oficial que establezca una norma, o en la que adopte una ya existente.

España

Recientemente se ha publicado la norma “UNE 148002:2016. Metodología de evaluación de la exactitud posicional de la información geográfica” (Asociación Española de Normalización y Certificación —AENOR, 2016). Esta norma se desvincula del modelo de incertidumbre gaussiano y propone realizar el control posicional a partir de una tolerancia métrica y de la función de distribución de los errores observados. De esta forma se realiza un control basado en las proporciones de error dentro y fuera de tolerancia. Esta sencilla idea permite que su aplicación a los casos 1D, 2D y 3D sin mayor problema (Ariza y Rodríguez, 2014). Conceptualmente, esta norma se puede vincular con el estándar NMAS, si bien supone una clara superación. Para todo lo relacionado con la aceptación la norma UNE 148002 se refiere a la aplicación de la norma internacional ISO 2859 (partes 1 y 2). La norma UNE 148002 está alineada en todo con ISO 19157 y, además, propone un informe de resultados en el que se incluyen elementos de metacalidad, caso único en este estudio.

México

La “Norma técnica de estándares de exactitud posicional” (Instituto Nacional de Estadística y Geografía —INEGI, 2010b) establece las especificaciones de los órdenes de exactitud posicional. En ella se trabaja con el concepto de círculo de error probable, que se define para un 95% de intervalo de confianza, y bajo el supuesto de normalidad de los datos (circular para el caso planimétrico y unidimensional para el caso vertical). Según el trabajo de Gómora (2015), se está aplicando el NSSDA con mejoras en cuanto a estratificación de las muestras de control y número de puntos de control, pero todavía no se ha materializado en una norma nacional.

Perú

En el Instituto Geográfico Nacional (IGN, 2005a y 2005b) se establecen las especificaciones técnicas para la producción de mapas topográficos a escala de 1:100.000 y escala 1:25.000, respectivamente, donde, por la forma de definición de la exactitud posicional, el método de control a aplicar se puede relacionar con el estándar NMAS.

Puerto Rico

El documento “TIG-005-004: Exactitud posicional de los datos”, desarrollado por la Oficina de Gerencia y Presupuesto (OGP, 2011) presenta una traducción del NSSDA, por lo que la adopción de este estándar norteamericano no presenta duda alguna.

Uruguay

No se dispone de documentación oficial que establezca una norma o en la que adopte una ya existente, pero se tiene conocimiento de la aplicación del NSSDA en diversos proyectos cartográficos recientes.

Venezuela

En las especificaciones técnicas para cartografía 1:1,000 (Instituto Geográfico de Venezuela —IGVSB, 2012) se indica el uso del RMSE, estableciéndose una tolerancia planimétrica (0.15 m para 1:1,000), pero no se da un criterio explícito de aceptación/rechazo ni un nivel de confianza. Dado que se establece una tolerancia cabe suponer que se trata de un método de control. Es interesante destacar que en este documento no se establece un número mínimo de elementos de control, por el contrario, se indica su máximo ($n=30$).

Análisis de la situación

En este apartado se realiza un doble análisis, el primero centrado en los MECP, es decir, orientado a los estándares que se están aplicando, y el segundo centrado en la madurez que se alcanza, a nivel de país, en lo relativo a la evaluación de la componente posicional.

Situación respecto a los MECP

Para analizar la situación en cuanto a la evaluación de la componente posicional se parte de los MECP identificados en el apartado anterior. Como ya se ha indicado, existen suficientes trabajos que analizan elementos técnicos de los MECP que se han identificado, por ello este apartado se centrará en analizar la situación regional en relación a la aplicación de MECP.

La Tabla 1 mostraba que se han identificado los MECP aplicados en los países con representantes en este Proyecto (10 casos), y también de otros países sobre los que se ha podido obtener información (tres casos). En esta línea, la Tabla 2 presenta un resumen de lo que denominamos tipologías base, es decir, MECP u otros métodos (p.ej. ISO 2859), que son aplicados directamente, o adaptados, en los países.

Es importante destacar que este conjunto de casos abarca países del norte, del centro y del sur de América, países de gran tamaño (p.ej. Estados Unidos, Brasil, México, Argentina), de tamaño mediano (p.ej. Perú, Venezuela, Colombia) y de tamaño pequeño (p.ej. Ecuador, Uruguay). Este conjunto de casos también recoge diversidad en cuanto al conocimiento y reconocimiento internacional de las instituciones cartográficas generadoras de la cartografía oficial (p.ej. INEGI, IGAC). Por tanto, no se trata de un barrido sistemático ni de un muestreo, pero consideramos que sí es de un conjunto de casos relevante y que puede servir para conocer las alternativas que actualmente se están aplicando y derivar conclusiones.

Tabla 2
Tipologías base de MECP

<i>Clase o método base</i>	<i>Observaciones</i>
NMAS	Estándar procedente de la administración de los Estado Unidos, de muy simple aplicación y que ha sido ampliamente utilizado en todo el mundo desde su publicación. Es un método de control que se basa en contar los elementos de la muestra de control que sobrepasan una tolerancia. Si la proporción de esos elementos supera un porcentaje determinado el producto no cumple. En la actualidad se encuentra un poco denostado por la supuesta falta de base estadística y por estar diseñado para productos analógicos. En Estados Unidos fue reemplazado por el NSSDA
IPGH	Son las especificaciones cartográficas del Instituto Panamericano de Geografía e Historia, que fueron adoptadas por numerosos países de Hispanoamérica en su momento. Se trata de una propuesta de gran valor para su momento y que se basa en el NMAS pero, a diferencia con éste, establece varias clases de calidad que conjugan varias perspectivas (posicional y actualidad)
EMAS	Estándar propuesto por la <i>American Society of Civil Engineers</i> . Es un método de control por medio de varios test de hipótesis estadísticas basadas en la normalidad de los errores posicionales. Es un método estricto de control y con gran rechazo, lo que unido a su mayor complejidad respecto a otros métodos ha supuesto que no tenga tanta aceptación
NSSDA	Estándar procedente del FGDC de Estados Unidos para sustituir el NMAS. Desde su aprobación en 1998 ha alcanzado una amplia difusión y aceptación en todo el mundo. Es un método de estimación con un tamaño de muestra reducido. Supone la normalidad de los errores posicionales, la ausencia de sesgo y ciertos límites a la heterocedasticidad
PASDG -ASPRS	Estándar propuesto por la <i>American Society for Photogrammetry and Remote Sensing</i> , que incorpora el método NSSDA para los cálculos de estimación sobre datos normales y el uso de percentiles para el caso de datos no normales. Se establecen clases de exactitud y el tamaño de muestra se relaciona con el tamaño del proyecto fotogramétrico
ISO 2859	Norma ISO internacional que se aplica ampliamente en la industria. Sirve para el control de características del tipo atributo en suministros lote a lote y en lotes aislados. No requiere normalidad en los datos. Se basa en el conteo de elementos defectuosos dentro de una muestra. En este método se evidencian los riesgos del productor y del adquiriente. Utilizan el nivel de calidad aceptable (NCA) como parámetro para la indexación con la calidad, por lo que se requiere cierta adaptación al caso de los errores métricos

Ya se ha advertido con antelación que, en algunos casos, los documentos referenciados no son realmente MECP sino especificaciones técnicas que establecen unos criterios que se pueden llevar, de alguna manera, a un MECP. Esta situación ocurre en cuatro casos. Dejando a un lado Estados Unidos, España y Puerto Rico, que como Estado asociado a Estados Unidos ha de cumplir sus exigencias legales, sólo Colombia y Brasil poseen un documento normativo centrado en los aspectos de valuación. Además de los ya indicados, hay cuatro casos en lo que no existe ningún tipo de documentación pública oficial.

En cuanto a disponer o no de una norma nacional publicada, sólo tres países están en esta situación (Brasil, Colombia y México), a los que se pueden sumar, Puerto Rico, España y el propio Estados Unidos. No existe ningún país que tenga una referencia explícita a la adopción de un MECP de terceros (p.ej. adopción del NSSDA). Por lo tanto, son mayoría amplia (7) los países que no disponen de una norma nacional publicada, con independencia de que puedan existir normas en provincias o estados, como es el caso de Argentina. Indudablemente esto no significa que en estos últimos países no se estén realizando evaluaciones de la componente posicional, pero lo que sí refleja es una situación de cierta “informalidad”, que genera falta de transparencia y, por ende, desconfianza.

Otro aspecto relevante es la fecha de los MECP. Según se observa, los últimos años han sido de gran actividad en este campo, pues entre 2015 y 2016 se han publicado normas en Estados Unidos (ASPRS, 2015), España (UNE 148002:2016) y Brasil (ET-CQDG, 2016), lo que indica el interés sobre esta temática. Además, estas tres normas presentan notables innovaciones respecto al panorama anterior, y una evolución que se preocupa y ocupa con más rigor de los aspectos estadísticos y formales.

Otro elemento que interesa destacar es la evolución/adaptación a lo largo del tiempo de los MECP dentro de un mismo país. El caso más evidente es Estados Unidos, que con los numerosos estándares publicados (NMAS, EMAS, ASPRS, NSSDA, PASDG-ASPRS) muestra una clara secuencia de MECP que van evolucionando para adaptarse a las tecnologías y exigencias de cada momento. Una evolución así evidencia una línea clara de preocupación y mejora sostenida a lo largo del tiempo en lo relacionado con la evaluación de la componente posicional. Del resto de países destaca Brasil que con la norma ET-CQDG-2016 perfecciona y mejora lo indicado hace más de 30 años en el Decreto N° 89.817 (20 de junio de 1984).

Entrando en aspectos relacionados con la filosofía de los MECP, un análisis somero de los casos presentados en el apartado anterior permite identificar fácilmente el método sobre el que se basa cada uno de ellos, y concluir que la mayoría de los MECP identificados se alinean con las propuestas procedentes de Estados Unidos o el IPGH. La Tabla 3 presenta estos alineamientos.

Tabla 3
Tipologías base de MECP por país

<i>País</i>	<i>Norma/documento al que se alinea</i>					
	<i>NMAS</i>	<i>IPGH</i>	<i>EMAS</i>	<i>NSSDA</i>	<i>ASPRS</i>	<i>ISO2859</i>
Argentina (Santa Fe)		X				
Brasil	X	X				X(1)
Chile (SAF)			X	X	X	
Colombia				X	X	
Ecuador				X		
España						X(1)
IPGH	X					
México				X		
Panamá				X		
Perú	X					
Puerto Rico				X		
Uruguay				X		
USA			X	X	X	
Venezuela	X(3)					

- (1) Se utiliza para determinar tamaños de muestra y criterios de aceptación y rechazo conjugados con un criterio(s) de tolerancias métricas.
- (3) La interpretación de la tolerancia correspondiente a un nivel de confianza permite asemejar este método al NMAS.

En este panorama, dejando a un lado Estados Unidos y España, destaca la gran influencia de los métodos NMAS y NSSDA procedentes de USA. Teniendo en cuenta que la norma del IPGH se basa en el NMAS, este y el NSSDA se reparten, casi por igual, la totalidad de los casos. Lo que significa básicamente el uso equilibrado de las dos formas ya indicadas de realizar la evaluación de la componente posicional, que son la estimación y el control. Nos puede quedar la duda de si es una elección consciente o una situación heredada de la evolución temporal de las normas en Estados Unidos y su adopción desigual por el resto de países.

También es destacable que los casos de Chile y Colombia se han indicado varios MECP. Esto es interesante dado que puede indicar una utilización selectiva de cada uno de ellos en función de las posibles problemáticas en la evaluación posicional; sin embargo, también puede ser un problema a la hora de interoperar con los resultados. Otro aspecto en el que destacan estos dos países es que ambos están ya apli-

cando el método ASPRS de muy reciente publicación, lo que indica una gran capacidad de adopción de nuevos métodos.

En otro orden, por su ruptura con la homogeneidad general, se han de considerar los casos de España (norma UNE 148002) y de Brasil (norma ET-CQDG), ambas de muy reciente aprobación. En ambos casos se establece el uso de la Norma Internacional ISO 2859. La Norma Internacional ISO 2859 (partes 1 y 2) se dedica al establecimiento de planes de muestreo para la aceptación de productos que se controlan por medio de atributos, en el primer caso (ISO 2859-1) para suministros lote a lote y, en el segundo (ISO 2859-2), para suministros de lotes aislados. Esta nueva dirección supone aspectos interesantes como, la alineación con estándares del ámbito industrial, poder utilizar para la posición índices de calidad (nivel de calidad aceptable) comunes a otros aspectos de la calidad (p.ej. compleción, tema, consistencia, etc.), y desvincularse de las exigencias de normalidad sobre los errores posicionales.

En los trabajos ya referidos de Ariza-López y Atkinson-Gordo (2006, 2007 y 2008), Nero y Cintra (2005) y Pereira y Nero (2012) se puede encontrar un análisis técnico de los MECP anteriores al año 2012, por lo que estos análisis siguen siendo válidos para la mayoría de los métodos identificados en este trabajo (p.ej. NMAS, EMAS, NSSDA). A modo de resumen, la Tabla 4 presenta las principales debilidades y aspectos mejorables en los MECP al uso. Estas son debilidades que normalmente son heredadas por quienes adoptan o adaptan los mencionados MECP. Las tres normas más recientes (PASDGS-ASPRS, UNE 148002 y ET-CQDG) sí muestran una clara mejora en relación a algunos de los aspectos que se indican en la Tabla 5, existiendo todavía mucho recorrido para posibles mejoras. Algunos de los aspectos presentados en la Tabla 5 serán tomados en cuenta a la hora de estudiar la madurez alcanzada (apartado siguiente).

Madurez país en lo relativo a la evaluación de la componente posicional

En la vida cotidiana entendemos por madurez el grado de desarrollo de algún aspecto, por ejemplo, en las personas la madurez psíquica, la madurez emocional o la madurez física. En este caso entendemos madurez en la evaluación de la componente posicional como el grado de desarrollo de que se ha alcanzado en estos procesos, con un sentido amplio y relacionado con la capacidad de mejora continua. El uso de modelos de madurez es una técnica usual en muchas ramas, entre ellas la empresarial, el desarrollo del software, la prestación de servicios, etc., <https://en.wikipedia.org/wiki/Maturity_model>. Básicamente un modelo consiste en establecer un conjunto de niveles de madurez (p.ej. nulo, inicial, medio, avanzado, etc.), y un conjunto de medios (p.ej. encuestas, evidencias, etc.) para asignar un nivel a cada elemento que se evalúa.

Tabla 4
Aspectos mejorables en los MECP

Aspectos formales	Los documentos que establecen los MECP no siempre siguen la estructura convencional y estilo de redacción que corresponde a una norma redactada por un cuerpo normativo
Control aislado	La mayoría de los MECP sólo consideran evaluaciones de conjuntos de datos aislados, por lo que se pierde la capacidad de un control más eficiente y eficaz que se podrían aplicar a flujos de suministros
Requisitos	No se orienta sobre requisitos de exactitud, o sólo se relacionan con la escala. En pocos casos se vincula con la situación actual en las aplicaciones geomáticas (p.ej. agricultura de precisión)
Población a controlar	La determinación de la población de elementos que se controla no siempre está explícita, ni se insiste en su identificación
Elemento de control	La mayoría de los MECP se basan exclusivamente en puntos bien definidos y fácilmente identificados como elementos de control, y no son válidos para otras tipologías (p.ej. líneas)
Tamaño de muestra	En los métodos de estimación no siempre está relacionado con el tamaño de la población, y se proponen tamaños de muestra poco adecuados para la estimación (p.ej. al menos 20 puntos de control)
Distribución espacial	No suele darse directrices sobre la distribución espacial de la muestra de control
Exactitud del control	Se suele indicar la necesidad de una mayor exactitud en los trabajos de control, pero normalmente no se ofrecen coeficientes de seguridad para hacer ajustes, ni métodos de cálculo cuando no se puede asegurar esa mayor exactitud
Exactitud relativa	No suele incluirse en el MECP
Hipótesis estadísticas subyacentes	No siempre se explicitan (p.ej. normalidad, homocedasticidad). Por lo general no se indica que se deban comprobar ni el método de comprobación
Atípicos	No se indica su relevancia ni cómo tratarlos, ni la necesidad de incluirlos en los informes
Nivel de confianza	No existe acuerdo sobre el nivel a considerar (p.ej. 90% o 95%)
Normalidad	La mayoría de los MECP se basan en suponer la normalidad de los errores posicionales por lo que no son adecuados cuando no esta hipótesis no es cierta (p.ej. control de elementos lineales por orlados, control de MDE en áreas vegetadas, etc.)
Información y guías	Los MECP no suelen incluir una información suficiente, detallada, con ejemplos y comentarios que facilite su aplicación
ISO 19157	La mayoría de los casos no usa las medidas de calidad propuestas por esta norma, o por su predecesora (ISO 19138)
Metacalidad	No suele existir indicación de la propia incertidumbre del método de control
Riesgos	Los riesgos del productor (error tipo I) y del usuario (error tipo II) no siempre están explícitos, ni se mencionan

Dentro del equipo de trabajo del Proyecto se ha desarrollado un modelo de madurez-país relativo a la calidad de la información geográfica usando los conceptos de Modelo de Madurez de Capacidades (Paulk *et al.*, 1993), del que aquí se presenta la parte del modelo que está relacionada con la calidad posicional. Para este modelo se han considerado los niveles que se presentan en la Tabla 5. Se parte de un nivel nulo en el que, o bien no existen evaluaciones de la calidad posicional, o son muy escasas. Considerando que la exactitud posicional es el aspecto más clásico de la calidad de los datos espaciales, el nivel medio (M) es el que se considera debería ser el común para la mayoría de los países de un entorno desarrollado. Los niveles avanzado (A) y óptimo (O) plantean los retos que se han de satisfacer en un futuro cercano dentro de esta componente de la calidad.

Tabla 5
Grado de madurez en MECP

<i>Nivel</i>	<i>Definición</i>
Nulo	No se realizan evaluaciones de la calidad posicional, o son muy escasas
Inicial (I)	Sólo se realizan evaluaciones de la calidad posicional en algunos productos y sólo por parte de las agencias oficiales
Medio (M)	Todos los productores realizan evaluaciones de la calidad posicional de todos sus productos según normas propias o de terceros. Informando en metadatos de tipo estándar. Dichas evaluaciones son aún sobre ámbitos generales
Avanzado (A)	Se evalúa la calidad posicional por tipologías de elementos utilizando técnicas de evaluación de puntos para puntos, de líneas para líneas y de superficies para superficies. Se informa de manera independiente para cada tipología y temática
Óptimo (O)	La posición está fuertemente vinculada con modelos de error espacial y mecanismos de evaluación automatizados, y el modelo se revisa de manera continua

Para poder asignar niveles se han de desplegar un conjunto de cuestiones que permitan, de una forma objetiva, asignar unas valoraciones según su contestación. Estas preguntas suelen estructurarse según áreas estratégicas, tácticas y operativas, pueden ser de cualquier tipología y en el número que se considere adecuado. Las cuestiones podrán contestarse preguntando a personas (p.ej. expertos, usuarios, etc.) o pueden basarse en evidencias (p.ej. número de normas, número de accesos a un servicio(s), etc.).

En el caso que nos ocupa se han considerado las áreas táctica y operativa, y las cuestiones, o prácticas, que se presentan en la Tabla 6 para cada uno de los niveles (I, M, A, O). A cada una de estas cuestiones o prácticas se les asigna una ponderación que refleje la importancia relativa que poseen.

Tabla 6
Ponderación del grado de madurez en MECP

<i>Área-Categoría</i>	<i>Nivel</i>	<i>Prácticas</i>	<i>Ponderación</i>
Táctica - Modelo de calidad posicional	I	Existe un modelo de calidad posicional definido	1
	M	El modelo de calidad posicional prevé informes en metadatos de tipo estándar	1
	A	El modelo de calidad posicional permite evaluación por tipologías de elementos	0.4
		El modelo de calidad posicional describe técnicas de evaluación de puntos para puntos, de líneas para líneas y de superficies para superficies	0.3
	O	El modelo de calidad posicional prevé informes en ámbitos distintos para tipología y/o temática de los elementos	0.3
		El modelo de calidad posicional está fuertemente vinculado con modelos de error espacial	0.4
		El modelo de calidad posicional se revisa de manera continua con una frecuencia predeterminada	0.6
Operativa - Evaluación de la calidad posicional	I	Es posible identificar en los metadatos de la IDE nacional más de un producto con informe sobre evaluación de calidad posicional	1
	M	La mayoría (>60%) de los productores públicos de IG tiene algún registro de evaluación de calidad posicional en la IDE nacional	0.7
		Más de 5% de los productos en la IDE nacional cuenta con datos de la evaluación de su calidad posicional, aunque en un ámbito general	0.3
	A	Todos los productos en la IDE nacional con evaluación de calidad posicional siguen el modelo de calidad válido en su fecha de creación	0.5
		Hay registros de evaluación de calidad posicional por tipologías de elementos en productos que cuentan con más de una tipología	0.5
	O	Existen mecanismos de evaluación automática de la calidad posicional disponibles a los usuarios de IG en la IDE nacional	1

Debe entenderse que un modelo debe ser útil a lo largo de mucho tiempo, y por ello debe ser dinámico y desarrollarse con la propia evolución de los conocimientos y capacidades tecnológicas de cada momento. Por ello, tanto el alcance de los niveles de madurez, como la consideración de los aspectos estratégicos, tácticos y operativos, como las prácticas o cuestiones y las ponderaciones podrán ser cambiadas a

lo largo del tiempo para que el modelo siga siendo realmente útil. Según lo dicho, un modelo siempre debe incorporar su fecha y versión.

El modelo presentado anteriormente ha sido desarrollado en el seno de los participantes del Proyecto. El Modelo de Madurez fue debatido entre sus realizadores y el resto de participantes del Proyecto durante el taller que tuvo lugar la sede del IPGH en Quito del 15 al 17 de noviembre de 2016. Finalmente, los representantes de cada país valoraron la situación de su país según el modelo. Los resultados de esta autovaloración indican que, todos los países que participaron del proyecto se encuentran en un nivel inicial, hecha la excepción de Brasil y España, quienes están cerca del nivel medio.

Conclusiones

La calidad posicional es una componente primordial de la calidad de los datos espaciales, y un elemento básico para conseguir la interoperabilidad de productos y servicios geoespaciales. La calidad posicional se evalúa por medio de los MECP que se pueden clasificar en estimatorios (obtienen un valor representativo) y de control (aceptan o rechazan en función de una especificación). En este trabajo se ha analizado la situación de los MECP en 10 países de Hispanoamérica dentro del Proyecto “Diagnóstico de la situación actual sobre las metodologías y procedimientos empleados para la evaluación de la calidad de la Información Geográfica”.

Como conclusión principal se puede indicar que en la mayoría de los casos analizados se tiene como base de la evaluación posicional métodos procedentes de Estados Unidos. Estos métodos son el NMAS y el NSSDA. En algunos casos estas normas se aplican de manera directa, si bien en otros casos han sido adaptadas en su redacción buscando una mejor adecuación a la realidad particular. La norma del IPGH (1978) también se menciona en algunos países. De modo general, se aprecia un claro interés por mantenerse actualizados y mejorar los procesos de evaluación de la componente posicional, lo que lleva a adoptar los cambios que van surgiendo fuera de sus fronteras. El principal problema que se detecta es el que se ha denominado “informalidad”, es decir, la situación en la que no se dispone de una norma nacional publicada o una referencia explícita a la adopción de un método concreto (p.ej. IPGH, NMAS, NSSDA, etc.). Esta situación se da en una mayoría de casos (siete países) y bajo nuestro punto de vista genera falta de transparencia y, por ende, desconfianza.

Dentro del grupo analizado se detecta la existencia de notables diferencias. Algunos países sólo disponen de unas especificaciones muy generales que pudieran ser tomadas como base de los MECP, y otros disponen de normas bien desarrolladas. Dentro del grupo analizado destacan los casos de España (norma UNE 148002) y de Brasil (norma ET-CQDG), los dos de muy reciente aprobación. En ambos casos se utiliza la Norma Internacional ISO 2859 como base del método de acepta-

ción. Esta nueva manera supone aspectos interesantes como la alineación con estándares del ámbito industrial, poder utilizar para la posición índices de calidad (nivel de calidad aceptable) comunes a otros aspectos de la misma (p.ej. completión, tema, consistencia, etc.), y desvincularse de las exigencias de normalidad sobre los errores posicionales.

Apoyados en trabajos previos, se han indicado las principales debilidades y aspectos mejorables en los MECP. Estos aspectos son numerosos y variados, y cubren aspectos de forma, de base estadística, de aplicabilidad, de información para el buen uso, etc. Las normas más recientes (p.ej. PASDG, UNE 148002 y ET-CQDG) ya incluyen mejoras parciales en numerosos aspectos.

Dentro de este trabajo también se ha realizado una valoración del grado de madurez el campo de la evaluación de la calidad posicional de los datos espaciales. Se han definido unos niveles de madurez para las áreas táctica y operativa con sus respectivas categorías modelo de calidad posicional y evaluación de calidad posicional, con esta ponderación se ha realizado la autovaloración por parte de los participantes en el Proyecto. Resultado de esta parte del modelo es que el grado de avance en los aspectos relativos los MECP los países en su mayoría se encuentran en el nivel inicial, exceptuando España y Brasil.

En resumen, el análisis realizado nos permite estimar que estamos ante una situación en la que, consideramos que cualquier actividad de liderazgo por parte del IPGH en este campo, tiene potencialidad de ser bien acogida por muchos países de la región. En este sentido, nos permitimos recoger aquí una de las principales conclusiones del informe “Visión de Aplicación del Marco Normativo de las Américas” (NNUU, 2013):

Es preciso definir y adoptar un marco normativo compatible en la región, que establezca las convenciones comunes y acuerdos técnicos necesarios para alcanzar mayor eficiencia en la respuesta a las demandas de información geoespacial, donde los datos se generen y mantengan el común denominador de: compatibilidad, comparabilidad, compartibilidad, confiabilidad, consistencia y completez, siendo éste la base para el establecimiento de un esquema interoperable de colaboración, que contribuya al desarrollo de IDEA.

De una manera más concreta y específica, consideramos que el IPGH debería seguir apoyando acciones de capacitación y normalización comunes a todos los países americanos en el ámbito de la calidad de los datos espaciales y, particularmente por su importancia, en el de la calidad posicional. En esta última línea, la Tabla 4 y el Modelo de Madurez (Tabla 6) presentan numerosos aspectos que convendría mejorar, así como directrices de mejora.

Agradecimientos

Al IPGH por la financiación del Proyecto “Diagnóstico de la situación actual sobre las metodologías y procedimientos empleados para la evaluación de la calidad de la Información Geográfica” de la convocatoria de Asistencia Técnica de 2016, financiado por las comisiones de Cartografía y Geografía.

A los miembros del proyecto e informantes: Ricardo Mansilla de Argentina, a Emerson Xavier de Brasil, a Xavier Buenaño de Ecuador, a Pablo Morales de Chile, a Ana Morales de Colombia, a Héctor Gómora de México, a Elisenia Mendoza de Panamá, a Edison Rosas de Uruguay y a Elizabeth Vargas de Venezuela.

Bibliografía

- AENOR (2016). UNE 148002:2016. *Metodología de evaluación de la exactitud posicional de la información geográfica*.
- Ariza, F.J.; Atkinson, A.D.J. (2006). *Metodologías de control posicional: visión general y análisis crítico. Informe al CT-148 de AENOR*. GIIC, Universidad de Jaén.
- Ariza-López, F.J.; Atkinson-Gordo, A.J. (2008). “Analysis of some positional accuracy assessment methodologies”, *Journal of surveying Engineering*.
- ASCE (1983). *Map Uses, scales and accuracies for engineering and associated purposes*, American Society of Civil Engineers, Committee on Cartographic Surveying, Surveying and Mapping Division, New York.
- ASPRS (1990). “Accuracy standards for large scale maps”, *PE&RS*, 56(7):1068-1070.
- (2015). “ASPRS Positional accuracy standards for digital geospatial data”, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 81(3):53, <<http://www.asprs.org/Standards-Activities.html>>.
- Brasil (1984). Decreto n° 89817 de 20/07/1984 por el que se establecen las Instrucciones reguladoras de las normas técnicas de cartografía nacional, Brasilia.
- Colombia (2006). *Parte 3, Estándar nacional para la precisión de los datos espaciales (EPDE)*, Comité Técnico Incotec 34, <<http://codazzi4.igac.gov.co/comite034/documentos/posicionamiento/parte3.pdf>>, accedida el 29 de octubre de 2006.
- Ecuador (2006). *Especificaciones técnicas generales para la realización de cartografía topográfica a cualquier escala (primer borrador: IGMC-PG-N-ET-01)*, disponible en <<http://www.igm.gov.ec/downloads/especcarto3.html>>.
- FGDC (1998). *FGDC-STD-007: Geospatial Positioning Accuracy Standards, Part 3. National Standard for Spatial Data Accuracy*, Federal Geographic Data Committee, Reston.

- (2003). *Revision of Geospatial Positioning Accuracy Standards, Part 3. National Standard for Spatial Data Accuracy, FGDC-STD-007.3-1998*, Federal Geographic Data Committee, <http://www.fgdc.gov/standards/projects/FGDC-standards-projects/accuracy/part3/index_html>, September 20, 2006.
- Gómora, H.M. (2015). “La calidad como aptitud para el uso: evaluación de la exactitud posicional de los productos topográficos digitales a escala 1:50.000 del INEGI”, en *Revista Cartográfica*, 91:159-174.
- ICONTEC (2000). *Conceptos Básicos de Calidad DE631/00*. Disponible en <http://codazzi4.igac.gov.co/comite034/documentos/consulta_publica/DE631-00_Calidad.pdf>.
- (2002). *NTC5043-Conceptos básicos de calidad de los datos geográficos, Santa Fé de Bogotá (Colombia)*, también disponible en Colombia (2006).
- IGAC (1994). Resolución 64 de 07 de enero de 1994: “Umbrales de exactitud y precisión en posición”, Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Bogotá, Colombia.
- (2016). *Especificaciones técnicas cartografía básica digital*.
- IGN (2005a). *Especificaciones técnicas para la producción de mapas topográficos a escala de 1:100,000*, Instituto Geográfico Nacional del Perú.
- (2005b). *Especificaciones técnicas para la producción de mapas topográficos a escala de 1:25,000*.
- IGVSB (2012). *Especificaciones técnicas para la revisión de cartografía básica a escala 1:1,000*. Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar.
- INCOTEC (2003). *NTC 5205: Norma Técnica Colombiana. Precisión de datos espaciales*.
- INEGI (2010a). *Compendio de criterios y especificaciones técnicas para generación de datos e información de carácter fundamental*. 07 Geodesia. 07.2. Estándares de exactitud posicional.
- (2010b). *Norma técnica de estándares de exactitud posicional*.
- IPGH (1978). *Especificaciones para mapas topográficos, Panamá*, Instituto Panamericano de Geografía e Historia.
- ISO (1985). *ISO 2859-2: Sampling procedures for inspection by attributes - Part 2: Sampling plans indexed by limiting quality (LQ) for isolated lot inspection*. International Organization for Standardization, Geneva.
- (1993). *International vocabulary of basic and general terms in metrology*, International Organization for Standardization, Geneva.
- (1995). *Guide to the expression of uncertainty in measurements*, International Organization for Standardization, Geneva.
- (1999). *ISO 2859-1: Sampling procedures for inspection by attributes - Part 1: Sampling schemes indexed by acceptance quality limit (AQL) for lot-by-lot inspection*, International Organization for Standardization, Geneva.

- México (2005). *Propuesta preliminar de diseño de prueba para la evaluación de la exactitud posicional de productos cartográficos a escalas mayores, aplicando la metodología del "Minnesota Department of Transportation"*.
- Nero, M. (2006). *Metodologias avançadas no controle de qualidade posicional de bases cartográficas*, Relatório de Pós-doutorado Júnior, Escola Politécnica da USP, São Paulo.
- Nero, M. y Cintra, J. (2005). "Control de calidad de la cartografía: visión general de las normas de diversos países", en XXII Congresso Brasileiro de Cartografia, Macaé-RJ, SBC.
- (2005). *Controle de qualidade de mapeamento: Visão geral das normas de diversos países*, Departamento de Engenharia de Transportes, Escola Politécnica da USP.
- Nero, M.A. (2005). "Propuestas para el control de calidad de bases cartográficas con énfasis en la componente posicional", tesis doctoral, Escuela Politécnica de la USP, Sao Paulo.
- NNUU (2013). *Visión de Aplicación del Marco Normativo de las Américas CP-IDEA*, disponible en <http://unstats.un.org/unsd/geoinfo/RCC/docs/rcca10/E%20Conf_103_15_CPIDEA_MarcoNormativo_ESP_final.pdf>.
- Paulk, M.C.; Curtis, N.; Chrissis, M.B. and Weber C.V. (1993). *Capability Maturity Model for Software, Version 1.1. Technical Report CMU/SEI-93-TR-024 ESC-TR-93-177*, disponible en <<https://www.sei.cmu.edu/reports/93tr024.pdf>>.
- Pereira, T.A.J.; Nero M.A. (2012). "Análise de normas de controle de qualidade posicional em cartografia ao redor do mundo: exemplos atuais de alguns países", IV Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Recife, PE, 06-09 de maio, p. 1-9.
- Rönsdorf, C. (2004). *Positional integration of geodata*, EuroSDR, disponible en <http://bono.hostireland.com/~euroedr/km_pub/no48/workshops_docs/positional_accuracy_dit_march_05/Positional_Integration_of_Geodata_Carsten_Roensdorf.pdf>.
- SENPLADES (2013). *Estándares de Información Geográfica*, disponible en <http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/PORTAL/CONAGE/T/14_estandares_de_informacion_geografica.pdf>.
- UNL y SCIT (2004). *Norma Cartográfica de la provincia de Santa Fe*, Universidad Nacional del Litoral y Servicio de Catastro e Información Territorial.
- USBB (1947). *United States National Map Accuracy Standards*, U.S. Bureau of the Budget, Washington.

Predicción de alturas geoidales geométricas por redes neuronales artificiales

José Carrión^{*}

Alfonso Tierra^{**}

Daniel del Cogliano^{***}

Recibido el 18 de diciembre de 2015; aceptado el 14 de noviembre de 2016

Abstract

Level heights of the national vertical networks (NVR), is the base for the establishment of the fundamental vertical reference datum of each country. When these heights are not associated to observations of terrestrial gravity field (purely geometric characteristics), they lose usefulness in solving problems related to regional and global physical phenomena generated due to the dynamic of the Earth System. In addition, different Local Vertical Datums (LVD) does not materialize the same reference, because the determination of mean sea level (MSL) in each LVD generates discrepancies in relation to a Global Vertical Reference System (GVRs). Geometrical heights from satellite-based positioning (GNSS), could be used for the determination of physical heights whether the relationship between the reference ellipsoid (reference surface for the determination of geometrical heights) and the reference surface based on terrestrial gravity field exists. One approximation to that relation is obtained from the difference between the ellipsoidal and level heights ($h-H_n$). The present study shows that the Artificial Neural Networks (ANN) are a suitable alternative for the prediction of geometrical heights based on this approximation. The multilayer ANN training was performed from the basic information come from records of the Ecuadorian NVR (NVRE) associated with GPS observa-

^{*} Programa de Pós-graduação em Ciências Geodésicas, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal de Paraná, Curitiba, Brasil.

^{**} Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente, Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE), Sangolquí, Ecuador.

^{***} Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata, La Plata, Argentina.

tions (GPS/Levelling). The results show that the prediction of heights has a maximum error of 7 cm.

Key words: *Physical Heights, Artificial Neural Networks, Geoidal Height, GPS/Levelling.*

Resumo

As alturas niveladas pertencentes às Redes de Nivelamento Fundamental (RNF), são a base para o estabelecimento da referência vertical fundamental de cada país. Quando estas alturas não estão associadas a observações do campo de gravidade terrestre, tendo portanto características puramente geométricas, perdem utilidade na solução de problemas relacionados com fenômenos de carácter regional y global vinculados com a dinâmica do Sistema Terra. Adicionalmente, diferentes *Data Verticais Locais (DVL)* não materializam a mesma referência, devido a que o Nível Médio do Mar determinado em cada DVL apresenta discrepâncias em relação a um Sistema de Referência Vertical Global (SRVG). Alturas geométricas oriundas do posicionamento por satélite (GNSS), poderiam ser usadas para a determinação de alturas físicas se fosse conhecida a relação entre o elipsoide de nível (superfície de referência para as alturas geométricas) e uma superfície de referência baseada no campo da gravidade terrestre. Uma aproximação a esta relação é obtida pela diferença entre as alturas elipsoidais e niveladas ($h-H_n$). Os resultados obtidos no presente trabalho, mostram que as Redes Neurais Artificiais (RNA) são um método útil na predição da relação geométrica $h-H_n$. O treinamento de uma RNA multicamada foi realizada em base à informação proveniente dos registros de RNF de Equador (RNFE) associados a observações GPS (GPS/nivelamento). Os resultados mostram que a predição de $h-H_n$ pode ser realizada registrando erros máximos de 7 cm.

Palavras chave: *Alturas Físicas, Rede Neural Artificial, Altura Geoidal, GPS/nivelamento.*

Resumen

Alturas niveladas pertenecientes a las Redes de Nivelación Fundamental (RNF), sirven de base para el establecimiento de la referencia vertical fundamental de cada país. Cuando estas alturas no están asociadas a observaciones del campo de gravedad terrestre, teniendo por tanto características puramente geométricas, pierden utilidad en la solución de problemas relacionados con fenómenos de carácter regional y global vinculados con la dinámica del Sistema Tierra. Adicionalmente, diferentes *Data Verticales Locales (DVL)* no materializan la misma referencia, debido a que el NMM determinado en cada DVL presenta discrepancias en relación a un Sistema de Referencia Vertical Global (SRVG). Alturas geométricas provenientes de posicionamiento satelital (GNSS), podrían ser usadas para la determinación de

alturas físicas si fuese conocida la relación entre el elipsoide de nivel (superficie de referencia para las alturas geométricas) y una superficie de referencia basada en el campo de la gravedad terrestre. Una aproximación a dicha relación es obtenida de la diferencia entre las alturas elipsoidales y niveladas ($h-H_n$). Los resultados obtenidos en el presente trabajo muestran que las Redes Neuronales Artificiales (RNA) son un método promisorio en la predicción de la relación geométrica $h-H_n$. El entrenamiento de una RNA multicapa ha sido realizado, la información de base proviene de registros de la RNF de Ecuador (RNFE) asociados a observaciones GPS (GPS/nivelación), los resultados muestran que la predicción de $h-H_n$ puede ser realizada registrando errores máximos de 7 cm.

Palabras clave: *Alturas Físicas, Red Neuronal Artificial, Altura Geoidal, GPS/nivelación.*

El Sistema de Alturas en Ecuador

En el Ecuador Continental la materialización de la red de nivelación se ha realizado tomando como *datum* de referencia, al mareógrafo ubicado en La Libertad, Provincia de Santa Elena. Los puntos de nivelación están situados principalmente sobre la red vial con la finalidad de facilitar el acceso a los mismos. La corrección por efecto de la gravedad sobre las alturas niveladas de la red altimétrica, aún no se ha ejecutado, pese a que en cada uno de los puntos pertenecientes a la red de nivelación se cuenta con información gravimétrica enlazada a la red gravimétrica fundamental, esto determina que en Ecuador no se disponga de alturas referidas a una superficie equipotencial sino únicamente alturas obtenidas tomando como referencia el nivel medio del mar (alturas niveladas) que presentan un error kilométrico estimado de 4 mm y una tolerancia de cierre de $4 \text{ mm } \sqrt{k}$ (Leiva, 2005).

Complementariamente se han desarrollado campañas GPS sobre los puntos de la RNFE, en la primera de ellas las mediciones fueron hechas con equipos de baja precisión (navegadores) con el objetivo de localizar los registros gravimétricos. Posteriormente se han realizado nuevas mediciones con receptores de doble frecuencia, alcanzando precisiones con valores entre 2 y 5 cm, en la determinación de las coordenadas geocéntricas. Las coordenadas se encuentran referidas al Marco de Referencia SIRGAS (ITRF 94), época de referencia 1995.4 (Leiva, 2005).

El ajuste de la red altimétrica aún no está realizado, en tales circunstancias existirá un error intrínseco en los datos que será evidenciado en la evaluación de los resultados. En el año de 1948 se instala en Ecuador la estación mareográfica de La Libertad, para dar inicio a la determinación del *datum* vertical con asesoramiento de IAGS (*Interamerican Geodetic Survey*) del Ecuador. En 1960 se calcula el nivel medio del mar usando datos extraídos de mareogramas correspondientes al período 1950 -1959. Una vez obtenido el nivel medio del mar, el Instituto Geográfico Mili-

tar (IGM), mediante nivelación geométrica transportó las cotas a la gran mayoría de ciudades del país. En 1970, la estación mareográfica de La Libertad pasa a depender del INOCAR (Instituto Oceanográfico de la Armada), organismo que desde entonces ha realizado semestralmente las inspecciones mareográficas, cambio y nivelación de la regla de mareas a hitos establecidos en tierra (Paredes, 1986).

Las alturas niveladas con que cuenta la red altimétrica en Ecuador, presentan discrepancias con respecto a alturas determinadas mediante redes de nivelación de otros países, explicándose este hecho por estar referida la red altimétrica nacional a un *datum* local. En Ecuador aún no se encuentra establecido un sistema de alturas que esté referido a una superficie equipotencial, en un futuro el sistema de referencia vertical en el país debería estar orientado al cálculo de números geopotenciales, según lo recomienda la *International Association of Geodesy (IAG)*, con lo cual se conseguiría el establecimiento de un sistema de alturas físico (International Height Reference System — IHRS), (IAG, 2015).

Método geométrico para el cálculo del geoide

El método geométrico para la obtención del geoide se basa en el cálculo de alturas geoidales (η) en función de alturas elipsoidales y alturas niveladas. El conocimiento del comportamiento del geoide geométrico en sitios puntuales por medio de este método permite extender el cálculo del mismo en lugares que no se dispone de observaciones de alturas elipsoidales y alturas niveladas; se incursiona de esta forma en el campo de la estimación de variables. Este método se origina de la relación entre alturas ortométricas y elipsoidales (Ecuación 1).

$$h \approx H + \eta \tag{1}$$

La relación presentada en la Ecuación 1 no es lineal, ya que las alturas elipsoidales (h) son medidas sobre la normal y las alturas ortométricas (H) sobre la vertical. Las alturas ortométricas involucran el conocimiento del campo de gravedad local, ya que esta condición no se cumple para el área de trabajo contemplada en el presente estudio, la altura H presente en la Ec. 1 es aproximada por alturas provenientes de nivelación geométrica (H_n).

Las alturas geoidales tienen una connotación fundamentalmente física, debido a que están referidas a una superficie equipotencial del campo de gravedad terrestre, por lo tanto, es necesario señalar que en el presente trabajo, las llamadas alturas geoidales geométricas no cumplen con esta definición, ya que se obtienen de la comparación de dos medidas de carácter geométrico.

Alturas niveladas

Las alturas niveladas (H_n) son aquellas que se obtienen de las redes de nivelación de un país y tienen como referencia un datum altimétrico relacionado con el Nivel Medio del Mar (NMM) determinado por un mareógrafo. El NMM permite considerar el conjunto de variaciones estacionales que pueda presentar el mismo. Una vez que se determina el origen del sistema de referencia vertical, se realiza nivelación hacia el interior del continente, con la finalidad de establecer puntos de control sobre la superficie topográfica (ST) para los cuales se fija un valor de altura a través del cálculo de desniveles (ΔH_n) (Figura 1). Posteriormente estos puntos nivelados son usados como referencia para establecer valores de altura en nuevos sitios. Para la nivelación de las redes altimétricas nacionales se usa por lo general el método geométrico siendo este el de mejor desempeño en comparación con la nivelación trigonométrica en términos de precisiones alcanzadas.

La suma algebraica de desniveles medidos en un circuito de nivelación y asumiendo la no existencia de errores en la medición, no es igual a cero, esto se debe al no paralelismo de las superficies de nivel involucradas en la nivelación, en general los desniveles determinados generan resultados que dependen del trayecto recorrido durante la determinación de desniveles (Hofmann y Moritz, 2005).

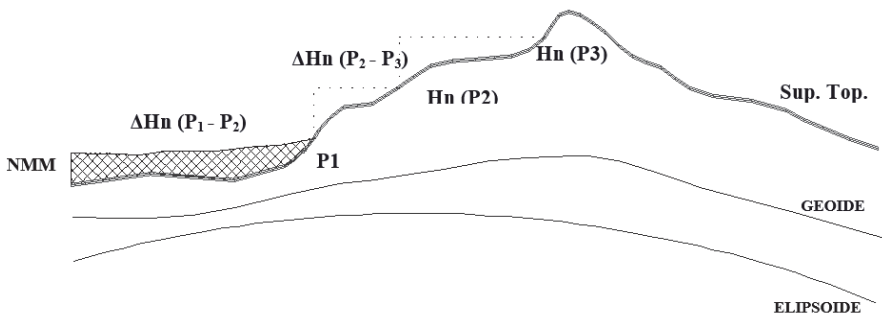


Figura 1. Alturas Niveladas.

Alturas elipsoidales

Las alturas elipsoidales son medidas sobre la normal al elipsoide desde su superficie, este tipo de alturas tienen un carácter geométrico y no pueden ser usadas en trabajos para los cuales sea requisito la determinación de alturas considerando aspectos físicos en la determinación de los desniveles.

La altura geoidal (η) es la distancia que existe entre un elipsoide de referencia (elipsoide de nivel) y el geoide como superficie de referencia para las alturas físicas. Según la definición dada por Gauss-Listing el geoide es una superficie equipo-

tencial del campo de gravedad terrestre que mejor se ajusta al nivel medio de los mares de acuerdo con la teoría de los mínimos cuadrados (Heck, 2004).

En la Figura 2 se puede apreciar como en base al conocimiento de las alturas niveladas y las alturas elipsoidales, es posible llegar a calcular los valores de altura geoidal.

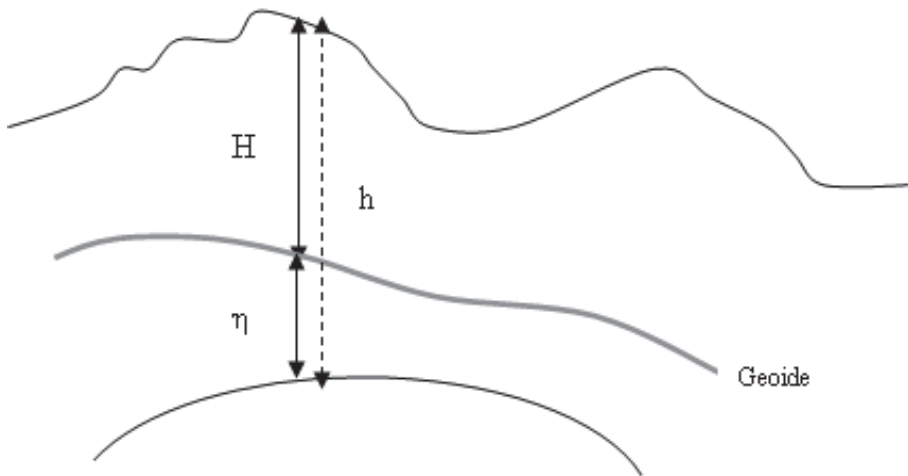


Figura 2. Superficies de Referencia.

Redes Neuronales Artificiales (RNAs)

El funcionamiento del cerebro animal, desde siempre ha constituido un enigma y ha sido objeto de innumerables estudios e investigaciones; la capacidad del cerebro en tareas de resolución de problemas involucra una serie de funciones internas que todavía no son comprendidas en su totalidad.

La aparición de los sistemas informáticos permitió que muchas de las tareas con las que se enfrentaba a diario el ser humano sean realizadas con mayor agilidad y eficiencia, sin embargo este tipo de sistemas presentan una limitación, la resolución de problemas requiere un tratamiento algorítmico, cuando el problema a solucionar no se acopla a estas características, es necesario que se de otro tipo de tratamiento al procesamiento de la información que participa en el asunto al que se quiera dar solución (Isasi y Galván, 2004).

La Inteligencia Artificial es la disciplina que estudia los mecanismos mediante los cuales una máquina puede emular el funcionamiento del cerebro humano, con el fin de dar solución a problemas que los sistemas informáticos clásicos no pueden hacer. Constituye un intento por adaptar las cualidades cognoscitivas del ser humano al campo informático, de tal forma que se pueda conjugar la gran capacidad

de resolución de problemas del cerebro con la agilidad de los procesos informáticos. Se puede afirmar que aquellos problemas que no admiten una resolución algorítmica, nos conducen a una solución que se basa en la capacidad de memorizar y asociar hechos, es decir que use como insumo fundamental la experiencia.

Una RNA, es un conjunto de unidades procesadoras que reciben el nombre de neuronas y se encuentran interconectadas para permitir el intercambio y procesamiento de información (Basogain, 2008). En el ámbito de la Geodesia y áreas afines, las RNAs han ganado espacio principalmente como un método de estimación de variables. Específicamente en el caso de Ecuador, el trabajo pionero en el empleo de técnicas de inteligencia artificial para fue generado para la tesis doctoral titulada: “Metodologia para a geração da malha de anomalias gravimétricas para obtenção de geoide gravimétrico local a partir de dados esparsos” (Tierra y De Freitas, 2003), en dicho trabajo se verifica un óptimo desempeño de una RNA multicapa entrenada para predecir anomalías gravimétricas sobre una grilla, como requisito para el posterior cálculo de un geoide local mediante el método gravimétrico.

Neurona artificial

Las neuronas artificiales, células o autómatas son capaces de cambiar de estado dependiendo de las entradas que tengan y de las conexiones sinápticas asociadas, este estado se conoce como nivel de activación y significa que ante nuevas entradas la red podrá presentar estados de activación diferentes. Las neuronas cuentan con una función que les hace posible cambiar de estado de activación a partir de las señales que reciben, esta función se conoce como función de activación o función de transición de estado, el nivel de activación de una célula depende de las entradas que reciba y de los valores de las conexiones sinápticas, pero no depende de estados de activación anteriores (Isasi y Galván, 2004).

Para determinar el nivel de activación de una neurona (y), es necesario en primer lugar calcular la entrada total a la célula para posteriormente evaluar este valor por medio de la función de transferencia (f), la entrada total a la neurona (Σ) es equivalente a la suma ponderada de las entradas por sus respectivos pesos sinápticos (ω) (Figura 3).

La entrada total a la célula puede definirse por la Ecuación 2:

$$\Sigma = x_1 * \omega_1 + x_2 * \omega_2 + x_3 * \omega_3 + \dots + x_n \omega_n \quad (2)$$

Y en forma vectorial:

$$\Sigma = X^T * \omega \quad (3)$$

En donde:

X^T = vector de entradas a la neurona

ω = vector de pesos sinápticos

Luego de aplicar a Σ una función de transferencia f , se calcula la salida de la neurona según la Ecuación 4.

$$y = f(\Sigma) \quad (4)$$

La estructura y componentes básicos de una neurona artificial se observan en la Figura 3.

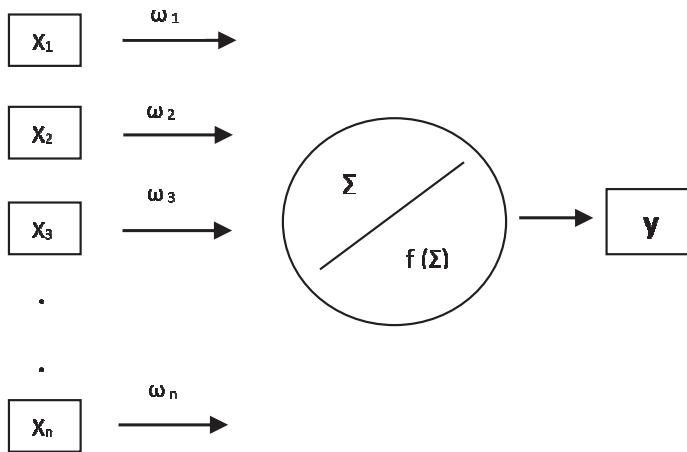


Figura 3. Modelo de neurona artificial.

La función de activación o función de transferencia (f) produce la salida (y) de la neurona al evaluar el valor de Σ , existen distintas funciones de transferencia y dependiendo de cuál se utilice se define el modelo de neurona artificial que se requiera, en general puede ser cualquier función y su elección dependerá del tipo de fenómeno involucrado en el aprendizaje de la neurona (Haykin, 2001).

Entrenamiento de una RNA

El aprendizaje de la red sucede durante el entrenamiento, es decir la red aprende a reconocer patrones relacionándolos con sus respectivas salidas, los pesos sinápticos son ajustados en varias iteraciones mientras se ingresan las entradas del conjunto de

entrenamiento y se comparan sus salidas con las que genera la red. Un algoritmo de aprendizaje permite ajustar los pesos sinápticos en función de las diferencias existentes entre las salidas reales o targets y las salidas calculadas por la red, existe una variedad de algoritmos válidos para realizar el entrenamiento y su elección depende del tipo de problema que la red debe aprender a solucionar.

Los algoritmos de aprendizaje se basan en la resolución del problema de mínimos cuadrados no lineales, se trata de encontrar los pesos sinápticos que minimicen una función de error. Los algoritmos calculan variaciones para los pesos sinápticos mediante un proceso iterativo que minimiza la función de error (Haykin, 2001).

Área de estudio y datos usados

El área en la cual se desarrolla el trabajo (Figura 4), corresponde a una región delimitada en función de la distribución espacial de los datos, la misma incluye provincias de la región Sierra y Costa del Ecuador Continental. El área tiene una extensión aproximada de 24,344.48 km² y un rango de alturas niveladas de 3 m a 5,245 m sobre el NMM.



Figura 4. Localización del área de trabajo.

La información requerida para realizar el entrenamiento de la RNA son puntos de la RNFE ocupados con posicionamiento GPS (GPS/nivelación). Los datos de altura nivelada y altura elipsoidal permiten calcular los valores de altura geoidal geométrica en cada punto. Esta información complementada con las coordenadas geodésicas horizontales, conforman el conjunto de entrenamiento de la RNA; de esta forma los parámetros de posición constituyen las entradas de la red y los valores de altura geoidal sus salidas correspondientes.

Previo a la realización del trabajo se recopilaron 57 puntos GPS/nivelación de precisión preexistentes y relevados por el Instituto Geográfico Militar de Ecuador (IGM). Para conseguir una mejor distribución de los datos en el área de estudio, se ejecutó una nueva campaña GPS para el presente estudio, en colaboración con personal de la Escuela Politécnica del Ejército de Ecuador (ESPE). Solo aquellos registros GPS que cumplían con precisiones asociadas a las alturas elipsoidales menores de 10 cm y que disponían de alturas niveladas por el método geométrico, fueron considerados en el análisis. Un total de 72 puntos fueron empleados para el desarrollo de la metodología propuesta (Figura 5).

El objetivo del entrenamiento de la red fue alcanzar un nivel de generalización que hiciera posible estimar alturas geoidales en puntos con coordenadas geodésicas conocidas.

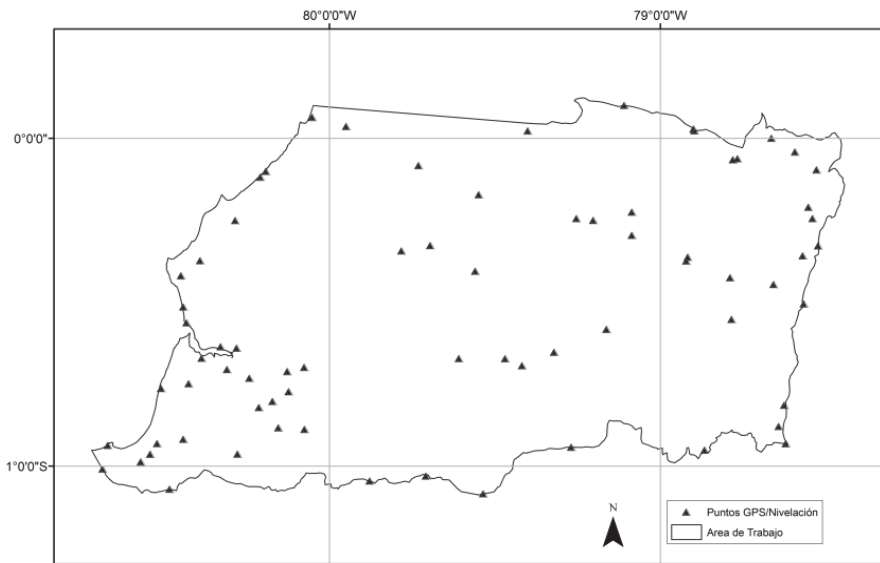


Figura 5. Distribución de los puntos GPS/nivelación.

Con la finalidad de homogeneizar los registros GPS, las coordenadas geodésicas de los datos que provienen de las campañas realizadas previamente por el IGM y de los nuevos puntos obtenidos en la nueva campaña, fueron transformadas al sistema de referencia ITRF05 y época de referencia 2011.1.

Para realizar el entrenamiento de la RNA, fue necesario definir tres subconjuntos del total de datos disponibles, un grupo de datos para el entrenamiento propiamente dicho (58 registros), otro conjunto de validación (siete registros) y un tercer conjunto de test (siete registros). La selección de los subconjuntos se realizó considerando que estos deben ser representativos, es decir que los ejemplos empleados en la etapa de aprendizaje de la RNA deben ser diversos y equiparables en proporción, es decir los registros deberán representar un amplio rango de patrones que para que abarquen la variabilidad del fenómeno estudiado. Adicionalmente y en relación directa con el grado de representatividad de los ejemplos, los subconjuntos deben ser significativos, es decir contar con un número apropiado de ejemplos (Basogain, 2008).

Los datos del conjunto de entrenamiento son empleados para realizar el ajuste de los pesos sinápticos mediante el algoritmo de aprendizaje y en base a la comparación de sus salidas deseadas y las salidas que genera la red, las salidas generadas por la RNA para el conjunto de validación fueron un indicador de la capacidad de generalización de la RNA. Los datos del conjunto de entrenamiento ingresaron iterativamente a la red durante el entrenamiento mientras la modificación en los pesos sinápticos repercutió en una reducción de los errores que genera la misma para los datos del conjunto de validación; es por este motivo que se considera que los datos del conjunto de validación participan en el aprendizaje de la RNA y no son un indicador absoluto de la capacidad de generalización de la misma.

Por lo tanto se hace necesario contar con un conjunto de datos que no influyen de ninguna forma en el proceso de aprendizaje de la RNA, de tal forma que los errores que se generen para estos datos, brinden una estimado sin sesgos de la capacidad de generalización de la red, este es el subconjunto de test.

Configuración y aprendizaje de la RNA

La configuración definitiva de la RNA entrenada se determinó mediante un procedimiento de prueba y error, es decir, se experimentó con diferentes configuraciones de red en busca de aquella que proporcionaba resultados acordes a las expectativas del método. Distintas variantes de configuraciones de red fueron evaluadas en función de su desempeño, el número de capas ocultas o intermedias, el número de neuronas en cada una de estas capas y las funciones de transferencia presentes en las neuronas artificiales, constituyen las principales variantes en cada una de las configuraciones de RNA probadas.

En función de las características particulares del problema tratado, la capa de entrada de la RNA está constituida por las variables: latitud, longitud y altura elipsoidal y la capa de salida por una neurona que corresponde a la variable que debe ser estimada (altura geoidal). El proceso de prueba y error determinó que la configuración óptima de la RNA consta de tres capas interconectadas completamente, una capa oculta con 24 neuronas, para la capa oculta se definió una función de transferencia tangente sigmooidal y para la capa de salida una función de transferencia lineal. El tratamiento no lineal del problema se consigue mediante la configuración de dos capas de neuronas y una capa de entradas (RNA multicapa), con una capa oculta cuyas salidas son generadas por una función de transferencia tangente sigmooidal (Figura 6). El algoritmo de aprendizaje (minimización de función de error mediante la modificación de los pesos sinápticos) usado fue el de *Levenberg – Marquardt*, la función de error a minimizar por medio del algoritmo de entrenamiento es el error medio cuadrático (*Mean Square Error - MSE*) (Carrión *et al.*, 2013).

Con el objetivo de optimizar el proceso de aprendizaje, las entradas y salidas del conjunto de entrenamiento fueron normalizadas (media cero y desviación estándar 1), debido a que el entrenamiento de la RNA es realizado en función de estos valores normalizados, es importante destacar que la predicción de alturas geoidales se debe realizar también en base a entradas normalizadas, y de la misma forma los valores de salida generados por la RNA deben ser sometidos a una desnormalización para obtener sus valores reales.

Resultados

El entrenamiento óptimo de la RNA se consiguió en 16 iteraciones, lográndose el mejor desempeño de la red en la iteración número 10; en la Figura 7 es posible apreciar como los errores (MSE calculado en base a salidas normalizadas) en los subconjuntos de entrenamiento, validación y test disminuyen paulatinamente conforme avanza el proceso iterativo. Se considera que la RNA ha alcanzado un aprendizaje adecuado, cuando su capacidad de generalización se evidencia en errores aceptables (esperados) cuando se evalúa el desempeño de la red con los elementos del conjunto de test (Carrión *et al.*, 2013). El conjunto de test (línea roja, Figura 7) es útil para tener un indicador no sesgado del desempeño de la red.

Después de establecer el conjunto óptimo de pesos sinápticos, la RNA está en capacidad de predecir valores de altura geoidal en posiciones que no fueron consideradas dentro del conjunto de entrenamiento. Los estadísticos de los errores generados por la RNA entrenada para los diferentes subconjuntos considerados son los presentados en la Tabla 1, donde se puede observar que los errores extremos (desnormalizados) en la predicción de alturas geoidales en ningún caso superan los 8 cm. Los valores de error cuadrático medio (MSE), en los cuales se basa el aprendizaje de la RNA se ubican en $1e-03$ para el caso de los conjuntos de entrenamiento y validación, y en $2e-03$ para los registros de test.

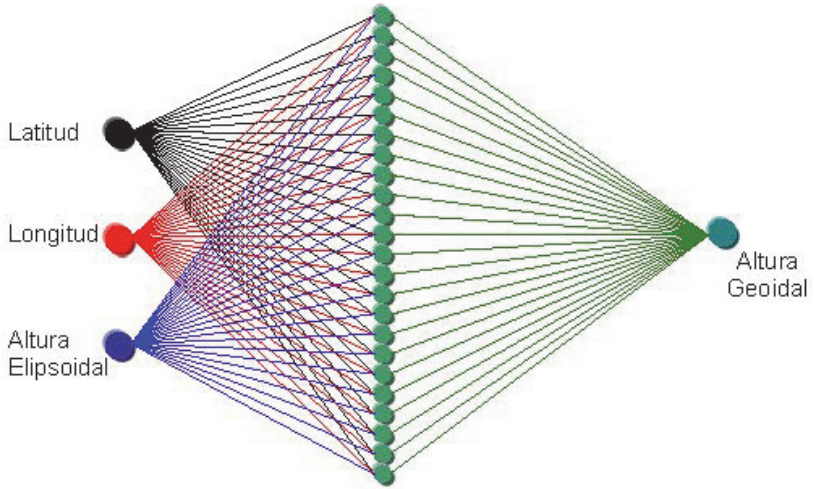


Figura 6. RNA entrenada.

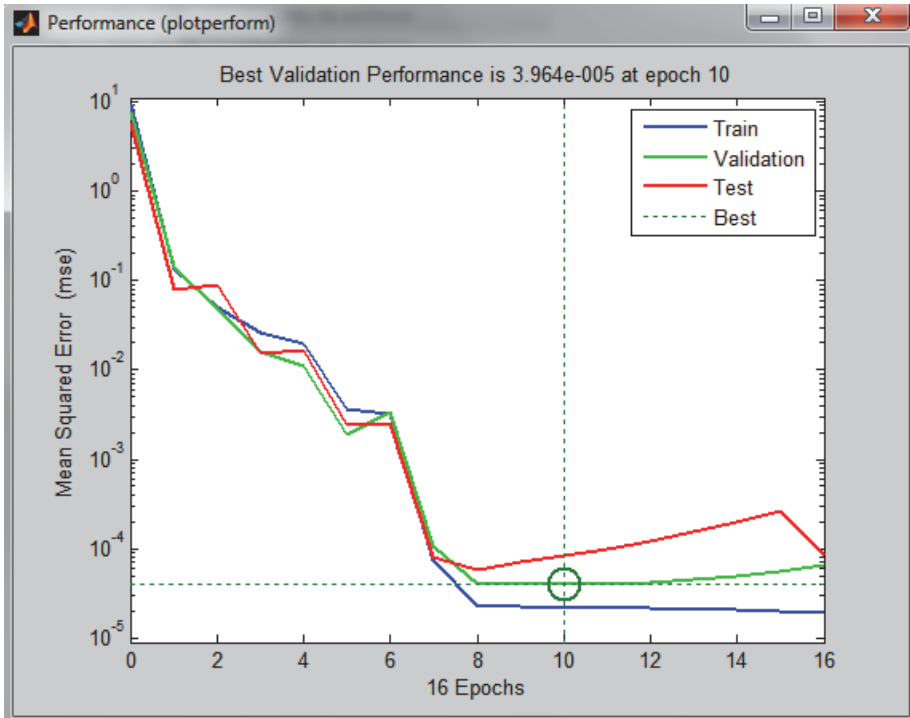


Figura 7. Minimización de errores en los subconjuntos de entrenamiento, validación y test.

Tabla 1
Estadísticos para (N_GPS/niv – N_RNA)

	<i>Entrenamiento sin normalizar</i>	<i>Validación sin normalizar</i>	<i>Test sin normalizar</i>
Máximo (m)	0.063	0.024	0.072
Mínimo (m)	-0.075	-0.061	-0.062
Media (m)	0.000	-0.007	-0.007
Desviación Estándar	0.025	0.034	0.051
MSE	0.001	0.001	0.002

El desempeño de la RNA, fue contrastado con la predicción de alturas geoidales para los registros del conjunto de test, mediante el modelo EGM2008 con grado de desarrollo en armónicos esféricos ($n=2160$) (Pavlis *et al.*, 2008), que representa el estado del arte en cuanto a Modelos Globales de Geopotencial (MGGs). En la Tabla 2, se presentan los estadísticos calculados para las diferencias entre las alturas geoidales correspondientes al modelo (N_EGM2008) y aquellas derivadas de GPS/niv.

Tabla 2
Estadísticos para N_GPS/niv – N_EGM2008

<i>Errores para los registros de test evaluados con EGM2008 (m)</i>	
Máximo	1.310
Mínimo	0.172
Media	0.608
Desviación Estándar	0.355

Los estadísticos para las diferencias $N_GPS/niv - N_EGM2008$ calculadas para los puntos de test, muestran en general un desempeño inferior que el conseguido por la RNA, las diferencias se concentran en torno de los 60 cm, lo cual difiere significativamente con el valor medio de 5 cm en el caso del cálculo realizado con las salidas de la RNA entrenada.

Conclusiones

- El empleo de redes neuronales artificiales demuestra ser una herramienta apropiada en la estimación del comportamiento del geode, al ser comparada con otros métodos cuando se dispone de datos dispersos.
- Es factible pensar en la adición de otras variables relacionadas con el fenómeno estudiado, como por ejemplo gravedad, anomalías gravimétricas, desviaciones

de la vertical, etc., con la finalidad de incrementar la cantidad de información de que dispone la red neuronal para lograr su aprendizaje.

- Es importante que los datos disponibles para realizar el entrenamiento de la red neuronal sean representativos, es decir, es necesario que la información contenida por estos abarque la mayor cantidad de patrones que definan el rango real de valores que pueden presentar las variables intervinientes dentro del área de estudio.
- Los datos de test y validación deben ser representativos y significativos al igual que los del conjunto de entrenamiento, de tal forma que los resultados obtenidos en la evaluación del desempeño de la red sean consistentes.
- La metodología propuesta en el presente trabajo para un área determinada, es replicable en otras zonas, siempre y cuando se disponga de un conjunto de datos de entrenamiento adecuado.
- La precisión de los datos empleados para el entrenamiento de la red neuronal condiciona la calidad que se tendrá en las salidas proporcionadas por la misma luego de su entrenamiento.
- La red neuronal artificial de mejor aprendizaje, se determina en base a un proceso de prueba error, es decir se adopta como óptima a aquella red que durante el entrenamiento logra un mejor desempeño en cuanto se refiere a la minimización los errores.
- El método GPS/nivelación y RNAs muestra ser capaz de generar un modelo geoidal local con un rango de error menor a 8 cm. El desempeño de la RNA entrenada dependerá directamente de la calidad y características del conjunto de datos disponibles (representativos y significativos).

Bibliografía

- Basogain X. (2008). “Redes neuronales artificiales y sus aplicaciones [Informe]”, Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática, Escuela Superior de Ingeniería de Bilbao, Bilbao [s.n.], p. 79.
- Carrión, J.L.; Tierra, A. y Del Cogliano, D. (2013). “Generación de una malla de ondulaciones geoidales por el método GPS/nivelación y redes neuronales artificiales a partir de datos dispersos [Informe]”, tesis de maestría, Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata, UNLP, La Plata.
- Haykin S. (2001). *Redes Neurais, principios e práctica*, Ontario, Bookman.
- Heck, B. (2004). “Problems in the Definition of Vertical Reference Frames”, Hotine-Marussi Symposium on Mathematical Geodesy (IAG Symposia), ed. Sansó F.- Berlín, Springer, vol. 127.
- Hofmann, B. y Moritz, H. (2005), *Physical Geodesy*, Graz, Springer, 2:158.

- IAG (2015). Resolution No. 1, for the definition and realization of an International Height Reference System (IHRIS) [Informe], Resolution / IAG-[s.l.], p. 2.
- Isasi, P. y Galván, I. (2004). *Redes Neuronales Artificiales. Un enfoque práctico*, Madrid, Pearson Educación S.A.
- Leiva César A. (2005). “Proyecto SIRGAS Ecuador [Informe]”, Instituto Geográfico Militar de Ecuador, Caracas, Reuniones Técnicas SIRGAS, p. 26.
- Paredes, Nelson (1986). “Acta Oceanográfica del Pacífico-Guayaquil”, *Determinación del Datum Vertical de La Libertad, Ecuador*, INOCAR, 1(3):205-209.
- Pavlis, N. *et al.* (2008). “An Earth Gravitational Model to Degree 2160: EGM2008”, Informe técnico, Vienna, s.n.
- Tierra, A. y De Freitas, S.R.C. (2003). “Metodologia para a geração da malha de anomalias gravimétricas para obtenção de geoide gravimétrico local a partir de dados esparsos”, tesis doctoral, Departamento de Geomática, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Universidade Federal do Paraná.

Proyección Cónica Equivalente de Albers: propiedades y aplicación para México

Mariana Vallejo Velázquez*
Jesús Abraham Navarro Moreno**

Recibido el 01 de marzo de 2016; aceptado el 17 de noviembre de 2016

Abstract

The national mapping of Mexico employs three map projections: the Universal Transverse Mercator, for large-scale and medium-scale topographic maps; the Lambert Conformal Conic, for mapping the country in small-scale maps; and the Mercator projection used for nautical charts. The usual employment of these projections has been recognized by the scientific community so they are normally used; however, in Mexico the cartographic research related to this subject has not been produced, and has not sought the application of other map projections in an effort to achieve a better representation of the results of the various spatial research topics. This paper aims to show the use of the Albers Equal-Area Conic projection and its parameters. In this sense, it shows the formulations that allows the projection of the coordinates, the analysis of the distortions and the conception of national mapping in a 1:500,000 scale maps; thus, the article intends to encourage the reflection about the non-conformal characteristic for Mexican mapping.

Key words: *Mathematical Cartography, equal-area projection, Albers Equal-Area Conic, Mexico.*

Resumo

A cartografia nacional do México é feita a través do uso de três projeções oficiais: Universal Transversa de Mercator, utilizada em mapas topográficos de escalas grande e media; Cônica Conforme de Lambert, adaptada às condições do país para sua representação em escalas pequenas; e a Normal de Mercator, utilizada para fins de navegação marítima. O uso destas projeções a longo do tempo foi assimilado

* Estudiante de especialidad en Geomática en el Centro de Investigación en Geografía y Geomática "Ing. Jorge L. Tamayo", A.C., correo electrónico: mvv_geo@hotmail.com

** Colegio de Geografía, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional Autónoma de México, correo electrónico: a.navarro@comunidad.unam.mx.

pela comunidade científica e usado de forma habitual; no entanto, a pesquisa cartográfica relacionada com esta temática parou e não se tem procurado a aplicação de outras projeções como um esforço para alcançar uma melhor representação dos vários tópicos de pesquisa, o que também afeta a precisão dos dados obtidos nestas investigações. Este trabalho tem como objetivo mostrar a utilização da projeção Cônica Equivalente de Albers com as adaptações dos parâmetros exigidos; a este respeito, apresentam-se as formulações que permitem a projeção das coordenadas, a análise das deformações e o mapeamento de uma cartografia nacional escala 1:500.000; posteriormente, o trabalho também tem o objetivo de estimular a reflexão sobre as possibilidades da projeção que não preserva o ortomorfismo, considerado até agora como a única propriedade na cartografia nacional mexicana.

Palavras chave: *Cartografia Matemática, projeção cartográfica equivalente, Cônica Equivalente de Albers, México.*

Resumen

La cartografía nacional de México emplea de manera oficial tres proyecciones: la Universal Transversa de Mercator, utilizada en las cartas topográficas para escalas medianas y grandes; la Cónica Conforme de Lambert, adaptada a las condiciones del país para su representación en escalas pequeñas; y la Normal de Mercator, empleada con fines de navegación marítima. El uso por largo tiempo de estas proyecciones ha sido asimilado por la comunidad científica y se emplean de forma regular; no obstante, la investigación cartográfica relacionada con esta temática se ha detenido y no se ha buscado la aplicación de otras proyecciones cartográficas en el afán de alcanzar una mejor representación de los diversos temas de investigación, lo que impacta también en la precisión de los datos obtenidos. El presente trabajo tiene por objetivo mostrar el empleo de la proyección Cónica Equivalente de Albers con las adaptaciones de parámetros necesarios; en este sentido, se presentan las formulaciones que posibilitan la proyección de las coordenadas, el análisis de las deformaciones y la concepción una cartografía nacional a escala 1:500,000; subsecuentemente, el trabajo también pretende estimular la reflexión en torno a las posibilidades que tiene esta proyección que no preserva el ortomorfismo, considerado hasta ahora como única propiedad en la cartografía nacional mexicana.

Palabras clave: *Cartografía Matemática, proyección cartográfica equivalente, Cônica Equivalente de Albers, México.*

Introducción

Un mapa requiere de un alto grado de afinidad con la realidad; debe ser confiable, legible y geoméricamente preciso (Eckert, 1961; Salitchev, 1979; Franco y Valdez, 2003), ya que la representación equivocada de la información conducirá a una in-

terpretación errada de la realidad. La precisión geométrica, particularmente, deriva de la base matemática del mapa, que está conformada por la escala, el sistema de coordenadas y la proyección cartográfica (Franco y Valdez, *op. cit.*).

En lo concerniente a las proyecciones cartográficas, puede pensarse que el problema de transferir la forma curva de la Tierra a un plano de representación está esencialmente resuelto por la ciencia matemática, por consecuencia, no es necesario formular más proyecciones; por otro lado, en tanto se mantengan las convenciones y parámetros establecidos, la decisión con respecto a la elección de la proyección para diseñar un mapa es una tarea sencilla.

Asumir esta postura, sin embargo, disminuye en gran medida las reflexiones en torno a la Cartografía Matemática y los aportes que esta vertiente investigativa tiene para plasmar la superficie terrestre. Los realizadores de mapas que se sitúan bajo esta visión, comúnmente eligen entre un número reducido de proyecciones, lo que deriva en la homogeneización de las representaciones; pero más allá, se puede pensar que sólo es un requerimiento para obtener información georreferenciada.

La elección de una proyección cartográfica, ya sea para hacer un mapa o planificar una cartografía nacional, se vincula directamente con las bases teóricas de la Cartografía, y es una tarea de suma importancia porque induce la manera en que es visualizada la información; al respecto, Dent (1999) señaló que cada mapa temático tiene una proyección, y entender esto debería ser parte de la educación de un diseñador de mapas.

Asimismo, si se reflexiona en la perspectiva práctica del uso de los mapas, la proyección cartográfica también influye en los resultados que se pueden obtener al realizar cálculos analíticos o mediciones cartométricas.

Perspectivas investigativas relacionadas con el estudio de las proyecciones cartográficas

En los últimos años, las investigaciones sobre proyecciones cartográficas se han centrado principalmente en tres enfoques: deformaciones, formulaciones de nuevas proyecciones y propuestas de proyecciones cartográficas para mapas en Internet. Con respecto al estudio de las deformaciones, los trabajos se encaminan a desarrollar métodos de cálculo de los valores de deformación de las proyecciones y la forma gráfica de su representación (Kirtiloglu, 2010; Battersby y Kessler, 2012; Oztug, 2015). Por su parte, las perspectivas dedicadas a la propuesta de nuevas proyecciones buscan reducir en la medida de lo posible las deformaciones; la tendencia es desarrollar proyecciones de manera visual (*visually designed projections*) con el uso de softwares, esta práctica permite que usuarios no profesionales en la materia puedan crear sus propias proyecciones; las proyecciones que se formulan se fundamentan en las desarrolladas matemáticamente y, generalmente, son resultado de la combinación de dos proyecciones (Alashaikh, *et al.*, 2014; Jenny y Patterson,

2013), aunque siguen surgiendo nuevas con parámetros distintos (Šavrič, *et al.*, 2011; Jenny, *et al.*, 2011; Safari y Ardalán, 2007; Paterson, *et al.*, 2015). Finalmente, otros estudios se están encaminando en proponer nuevas proyecciones para mapas desplegados en los visualizadores dinámicos de Internet; el argumento se centra en que la proyección de Mercator, empleada en la web, presenta desventajas en el manejo de la información a diferentes escalas (Šavrič y Jenny, 2014; Streben, 2016).

El número de trabajos de investigación referente al análisis de proyecciones cartográficas representan los esfuerzos que existen alrededor del mundo, en especial en Estados Unidos, por desarrollar representaciones más precisas de la superficie terrestre.

En México no se ha encontrado bibliografía que evidencie continuidad de las investigaciones sobre Cartografía Matemática; los estándares y normas que rigen la elaboración de cartografía nacional oficial se basan en postulaciones de larga historia en el país. Paquentín (1956) determinó que la proyección Cónica Conforme de Lambert era adecuada para la representación de México; por su parte Caire (1974) recomendó el empleo de la proyección Universal Transversa de Mercator (UTM) para la elaboración de cartografía nacional y presentó sus formulaciones; en años más recientes, Raúl A. Gómez elaboró una guía de proyecciones cartográficas (Instituto Nacional de Estadística y Geografía —INEGI, 2002), que además de incluir las proyecciones que oficialmente se utilizan para México, desarrolló cálculos y ejercicios para la transformación de coordenadas en siete proyecciones más, aunque sin particularizar adaptaciones específicas para el territorio de México.

De forma posterior a la publicación de estas investigaciones, no ha habido propuestas conocidas que esgriman el empleo de otras proyecciones y que pudieran ser favorables para la representación del territorio mexicano.

Proyecciones cartográficas empleadas para México

El INEGI es la institución oficial que establece las especificaciones para la cartografía nacional. La norma NTG-013-2006 Edición de Cartografía Topográfica (INEGI, 2006) regula la edición cartográfica para normalizar formatos, escalas y simbologías, en el apartado seis menciona las descripciones técnicas y parámetros de las tres proyecciones cartográficas empleadas para la elaboración de cartas topográficas (véase Tabla 1).

La CCL es una proyección conforme, secante y normal, se caracteriza por mostrar los paralelos como arcos de circunferencias no equidistantes concéntricas al vértice del cono, la distancia entre ellos disminuye al centro de la proyección. Los meridianos son radios rectos equidistantes que con los paralelos forman perpendiculares. Como fue mencionado anteriormente, en 1956 Eduardo Paquentín, de la entonces Secretaría de Recursos Hidráulicos (actualmente Comisión Nacional del

Agua), concluyó que entre la proyección Transversa de Mercator, la Cónica Conforme de Lambert y la Estereográfica, la CCL era la más adecuada para representar al territorio mexicano en escalas pequeñas (Alonso, 1989). En este sentido, se puede apreciar que la preferencia por el uso de la CCL se basa en la comparación con respecto a una perspectiva acimutal y otra cilíndrica.

Tabla 1
Proyecciones cartográficas empleadas para México por escala

<i>Proyección cartográfica</i>	<i>Escala</i>
Cónica Conforme de Lambert (CCL)	1:4,000,000
Transversa de Mercator	
Cónica Conforme de Lambert	1:1,000,000
Universal Transversa de Mercator (UTM)	1:500,000 o mayores

Fuente: INEGI, 2006.

La proyección UTM es una proyección modificada por el U.S. Army Map Service en 1940 de la proyección Transversa de Mercator (*Ibid.*), es una proyección y un sistema de coordenadas cartesianas métricas. La diferencia entre ambas es que la Transversa de Mercator es tangente y la UTM es secante (Robinson, *et. al.*, 1987). En 1951 la Comisión Cartográfica Militar adoptó la UTM, que sustituyó a la proyección policónica, para construir la Carta General de la República Mexicana escala 1:100,000. En 1968 se creó la Comisión de Estudios del Territorio Nacional (CETENAL), hoy INEGI, que elaboró cartografía nacional base empleando esta proyección (Caire, *op. cit.*).

De manera adicional a las proyecciones consideradas por el INEGI, también se utiliza de forma oficial para México la proyección Normal de Mercator. Esta proyección se desarrolló con fines náuticos y muestra los rumbos como líneas rectas que indican la dirección como una constante lo que facilita la navegación. En México, la Secretaría de Marina-Armada de México (SEMAR) es la institución encargada de elaborar las cartas náuticas del país.

Si bien todas estas son proyecciones que se adecuan al territorio, es importante hacer énfasis en que todas son conformes, por lo que la cartografía oficial de México se caracteriza por esta propiedad; en este sentido, se puede proponer la aplicación de otro tipo de proyección. Los estudios espaciales, ya sean geográficos, topográficos, biológicos, ambientales, económicos, demográficos o de cualquier otra ciencia cuyo objeto de estudio sea la superficie terrestre, poseen un extenso campo de investigación, lo que se manifiesta en una amplia pluralidad de temas que se pueden abordar dentro de cada dimensión espacial. Todo tipo de estudio espacial posee características propias cuyos resultados pueden ser representados en un mapa

y, en consecuencia, cada mapa puede hacer uso de una base matemática cartográfica particular; por esto, se requiere reflexionar en las características de las proyecciones cartográficas, no sólo conformes, también equivalentes, equidistantes y anafilácticas.

Proyecciones cartográficas equivalentes

Las propiedades de las proyecciones equivalentes son de gran utilidad para temas espaciales. También llamadas equiárea o autálicas, tienen la propiedad de mantener en proporción el tamaño de una superficie; para lograr esta equivalencia, ocurre un proceso de compresión y extensión, y los ángulos de las figuras que se sitúen sobre la superficie se deforman (Tyner, 2010). Otra característica de este tipo de proyecciones es que el espaciado entre los paralelos y meridianos debe ser proporcional a la exageración que se tenga de ellos en el mapa.

Las proyecciones equivalentes son muy importantes para los mapas temáticos cuantitativos, porque el área, frecuentemente, es parte de los datos a ser incorporados en la representación; en este sentido, tienen una utilidad general, sin importar tanto las dimensiones que tenga el territorio cartografiado (Dent, *op. cit.*). Derivado de lo anterior, tienen más facilidad de aplicarse en un rango mayor de escalas.

Algunos casos que implican el uso de este tipo de proyección son:

- Mapas de densidad o concentración territorial que muestran la relación entre el número de objetos por unidad de superficie. El objetivo de este tipo de mapas es exponer al usuario, en una primera impresión, la cantidad de elementos que habitan en un espacio.
- Mapas en los que se emplean los símbolos proporcionales como método de representación. Mostrar el área a escala admite una lectura más certera de la información al permitir al usuario observar la relación entre el tamaño de la superficie y el tamaño del símbolo.
- Estudios que impliquen el reconocimiento de zonas de influencia.
- Estudios de cambios espacio-temporales requieren del empleo de una proyección equivalente que permita comparar las áreas afectadas y la rapidez con la que han ocurrido las transformaciones espaciales.
- Estudios que requieran cálculos de áreas como son de usos de suelo, predios, cuencas hidrográficas, zonas de riesgo, municipios o regiones climáticas, entre otros.

No hay duda de la importancia de la cartografía equivalente; especialmente para los mapas de corte investigativo, la preservación de un área verdadera es más importante que el sostenimiento de un valor angular teórico. Marschner, 1944 (citado en Dent, *op. cit.*) argumentó a favor de la perspectiva equivalente en la Cartografía:

el ser humano no habita en una línea de la Tierra, sino en áreas; tampoco se cultiva en un ángulo de la superficie, sino en un área.

En virtud de lo anterior, se puede proponer el uso de una proyección equiárea que favorezca las características del territorio mexicano. En general, para elegir una proyección se debe considerar: la extensión y geometría del territorio, el objetivo del mapa, los patrones de deformación y la escala del mapa; Robinson *et al.* (*op. cit.*) señalan que al elegir una proyección equivalente se debe considerar el tamaño del área a representar y la distribución de la deformación de los ángulos, ya que de ello depende la distorsión de la forma de la superficie.

Proyección Cónica Equivalente de Albers

La proyección Cónica Equivalente de Albers (CEA) (Figura 1) fue desarrollada en su forma esférica por el alemán Heinrich Christian Albers en 1805, posteriormente Oscar S. Adams presentó el desarrollo matemático para su forma elipsoidal (Snyder, 1997).

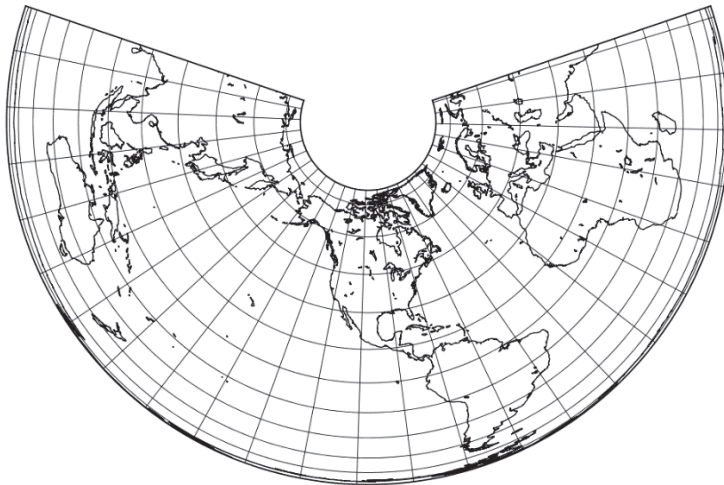


Figura 1. Proyección Cónica Equivalente de Albers.
Fuente: elaborado a partir de procesamiento en software.

Se trata de una proyección cónica secante —dos paralelos base— y normal. Los paralelos y meridianos son ortogonales entre sí, los paralelos son arcos de circunferencias concéntricas no equidistantes, la distancia entre ellos disminuye a medida que se alejan de los paralelos base, por otro lado, los meridianos son líneas rectas equidistantes cuyo origen es el centro de las circunferencias.

En una proyección se puede ubicar un punto con coordenadas sexagesimales o en valores métricos, las coordenadas métricas son las que van a permitir obtener cálculos geométricos de la superficie terrestre como áreas y distancias.

A continuación, se presentan las fórmulas empleadas y los procedimientos que explican la transformación directa —de coordenadas geodésicas a cartesianas— en proyección CEA (INEGI, 2002):

- a. Calcular las latitudes de los paralelos base y el meridiano central

$$\varphi' \text{ sur} = \varphi \text{ inferior} + \frac{\varphi^\circ \text{ superior} - \varphi^\circ \text{ inferior}}{j} \quad (1)$$

$$\varphi' \text{ norte} = \varphi \text{ superior} - \frac{\varphi^\circ \text{ superior} - \varphi^\circ \text{ inferior}}{j} \quad (2)$$

$$\lambda_o = \frac{\lambda^\circ \text{ este} - \lambda^\circ \text{ oeste}}{2} \quad (3)$$

Donde:

φ = latitudes (grados y minutos) extremas de la zona a representar

$\varphi^\circ \lambda^\circ$ = grados de coordenadas extremas de la zona a representar

j = constante. Para Kavrayskiy el valor de j es 5 si la superficie a representar es similar a un rectángulo, 4 si es circular y 3 si es un rombo. Por otro lado, Deetz y Adams sugieren un valor constante de 6. Para México se aplica el valor de 6 para j

λ_o = meridiano central

- b. Con las latitudes de los paralelos base, obtener las constantes m_{norte} , m_{sur} y m_o (latitud origen) de la proyección:

$$e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2} \quad (4)$$

$$m_i = \frac{\cos \varphi_i}{\sqrt{1 - e^2 \operatorname{sen}^2 \varphi_i}} \tag{5}$$

Donde:

e^2 = excentricidad al cuadrado.

a = semieje mayor del elipsoide de referencia.

b = semieje menor del elipsoide de referencia.

φ_i = latitud de los paralelos base norte, sur y origen.

- c. Obtener las constantes q_{norte} , q_{sur} y q_o (latitud origen) de la proyección:

$$e = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a} \tag{6}$$

$$q_i = (1 - e^2) \left[\frac{\operatorname{sen} \varphi_i}{(1 - e^2 \operatorname{sen}^2 \varphi_i)} - \frac{1}{2e} \ln \left(\frac{1 - e \operatorname{sen} \varphi_i}{1 + e \operatorname{sen} \varphi_i} \right) \right] \tag{7}$$

Donde:

e = primera excentricidad.

- d. Sustituir los valores obtenidos en los incisos B y C para resolver la constante del cono:

$$n = \frac{m_{sur}^2 - m_{norte}^2}{q_{norte} - q_{sur}} \tag{8}$$

- e. Determinar p_i para el paralelo origen (p_o):

$$p_i = \frac{a \sqrt{m_{sur}^2 + n(q_{sur} - q_i)}}{n} \tag{9}$$

- f. Para el cálculo de las coordenadas, calcular q_p y p_p resolver las ecuaciones 7 y 9, considerar la latitud del punto dado (en grados decimales).

g. Obtener el valor de γ y transformarlo a radianes:

$$\gamma = n(\lambda_o - \lambda_p) \quad (10)$$

$$\text{radianes} = \frac{\pi * \text{grados}}{180} \quad (11)$$

Donde:

λ_p = longitud del punto dado

h. Para obtener las coordenadas finales, calcular:

$$X = E_o + p_p \text{ sen } \gamma \quad (12)$$

$$Y = N_o + p_o - p_p \text{ cos } \gamma \quad (13)$$

Donde:

E_o = falso Este

N_o = falso Norte

El cálculo inverso —de coordenadas cartesianas a coordenadas geodésicas— en proyección CEA es semejante, y puede servir también a manera de comprobación de los cálculos directos. Para este proceso se resuelven las siguientes ecuaciones:

- Obtener el valor de las constantes m_{norte} , m_{sur} , (ecuación 5), y q_{norte} , q_{sur} (7) considerando las latitudes de los paralelos base.
- Calcular la constante del cono n (8)
- Obtener p_i para el paralelo origen p_o (9)
- Determinar los valores de p , γ y q :

$$p = \sqrt{(E - E_o)^2 + (p_o + N_o - N)^2} \quad (14)$$

$$\gamma = \arctan \left(\frac{E - E_o}{p_o + N_o - N} \right) \quad (15)$$

$$q = \frac{\left(m_{sur}^2 + n q_{sur} - \frac{p^2 n^2}{a^2} \right)}{n} \quad (16)$$

Donde:

E y N = valores de coordenadas X y Y del punto dado

E_o y N_o = valores de falso Este y falso Norte

γ = una vez obtenido el resultado transformar a radianes (11)

- A continuación se desarrolla la primera aproximación de la latitud (φ_o), este valor debe transformarse a radianes (11):

$$\varphi_o = \arcsen\left(\frac{q}{2}\right) \tag{17}$$

A partir de esta se calcularán valores más precisos de la latitud con un proceso iterativo:

$$\Delta_\varphi = \varphi_{i-1} + \frac{(1 - e^2 \text{sen}^2 \varphi_{i-1})^2}{2 \cos \varphi_{i-1}} \left[\left(\frac{q}{1 - e^2}\right) - \left(\frac{\text{sen} \varphi_{i-1}}{1 - e^2 \text{sen}^2 \varphi_{i-1}}\right) + \frac{1}{2e} \ln\left(\frac{1 - e \text{sen} \varphi_{i-1}}{1 + e \text{sen} \varphi_{i-1}}\right) \right] \tag{18}$$

La función iterativa concluye cuando se cumple la condición $|\varphi_1 - \varphi_{i-1}| \leq 1 * 10^{-5}$ segundos, una vez cumplida se obtiene la latitud final.

- Para concluir se determina la longitud:

$$\lambda = \lambda_o - \frac{\gamma}{n} \tag{19}$$

El resultado de la división $\frac{\gamma}{n}$ está dado en radianes, por lo que se debe transformar a grados para resolver la sustracción.

Las características de la proyección CEA pueden favorecer la representación de la República Mexicana por dos motivos: en primera instancia, las proyecciones cónicas son aptas para la representación de territorios que se prolongan longitudinalmente (de Este a Oeste) debido a que el desarrollo del cono se extiende en este sentido; por otro lado, al ser una proyección secante, los dos paralelos base permiten una menor deformación latitudinal al centro de la proyección y en las latitudes extremas de México. Además de estos dos argumentos, esta proyección tiene la propiedad de conservar el área en correcta proporción sin deformar en gran medida la forma de los territorios (Figura 2).

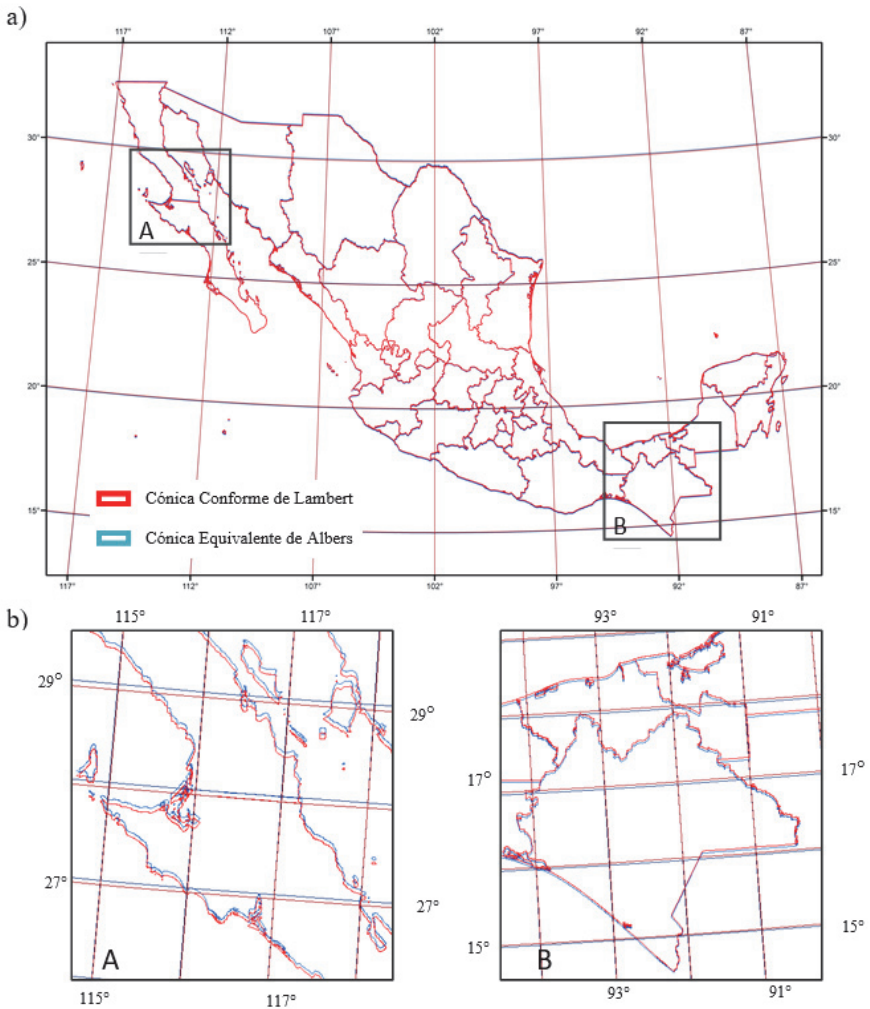


Figura 2. a) Comparación de la proyección de la República Mexicana en CCL y CEA.
b) Comparación de estados del Norte y Sur de México.

Fuente: elaborado con base en procesamiento de archivos vectoriales en SIG.

A través de la superposición de la República Mexicana en las proyecciones CCL y CEA, tomando como referencia para la comparación la latitud y la longitud media del país, y considerando misma escala y coordenadas extremas, se observa que existe una diferencia mínima entre ambas proyecciones. La proyección CEA alarga ligeramente el territorio con dirección Norte-Sur, mientras que en el sentido Este-

Oeste es poco visible la deferencia entre ambas. Al no haber una diferencia considerable, se puede afirmar que la CEA no distorsiona de manera relevante la forma del territorio.

Para representar a la República Mexicana en proyección CEA (Figura 3) se considera conveniente utilizar los parámetros que la Norma Técnica NTG-013-2006 de INEGI señala para la proyección CCL para México, ya que ambas son cónicas, secantes y normales:

- Paralelos Base: $29^{\circ} 30' N$ y $17^{\circ} 30' N$
- Meridiano central: $102^{\circ} W$
- Latitud origen de la proyección: $12^{\circ} N$
- Falso Norte: 0 m
- Falso Este: 2,500,000 m

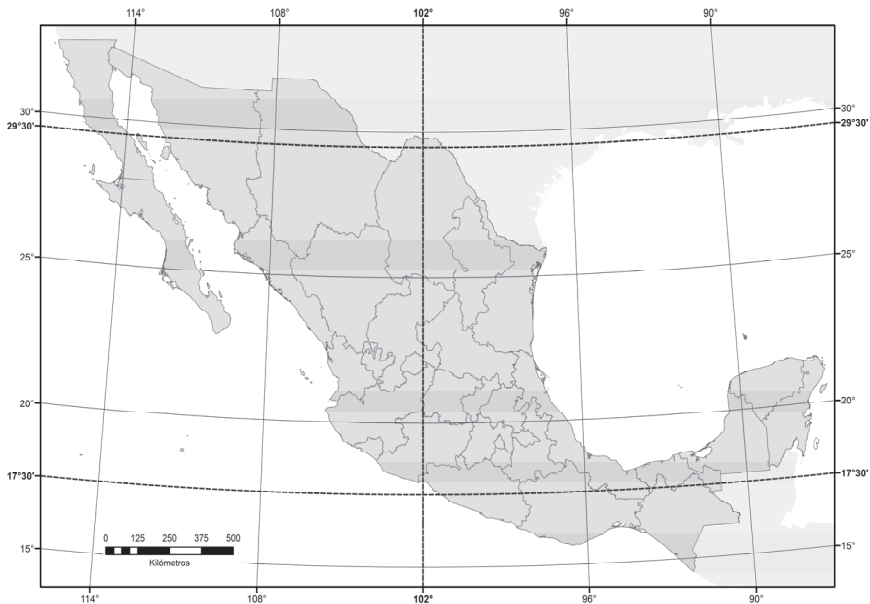


Figura 3. Parámetros para la representación de México en proyección CEA.
Fuente: elaborado con base en procesamiento de archivos vectoriales en SIG.

Debido a que los meridianos son perpendiculares a los paralelos, el factor de escala en un meridiano dado un punto es recíproco al factor de escala del paralelo; por lo que factor será mayor a la unidad sobre el meridiano y menor sobre el paralelo o viceversa (Adams, 1927). Esto se comprueba con los cálculos desarrollados para coordenadas de México proyectado en CEA (Tabla 2) (véase Figura 4).

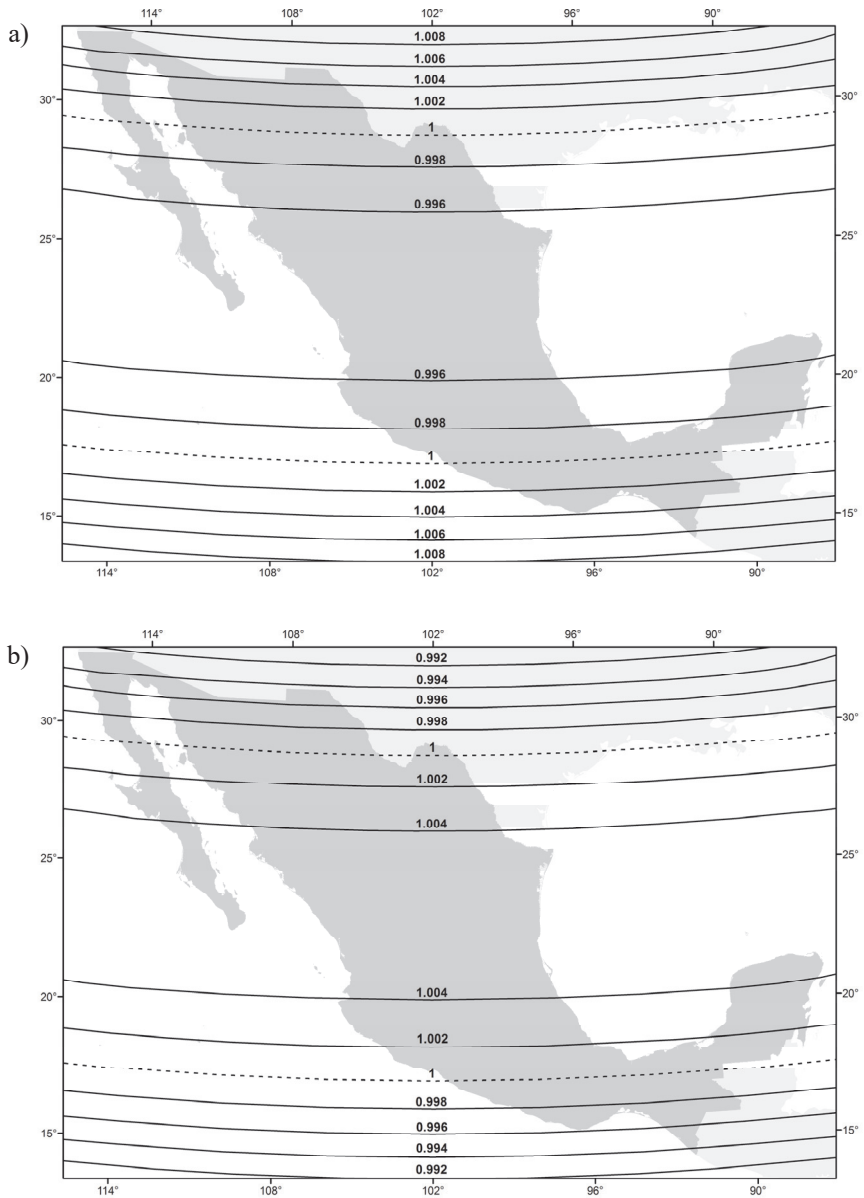


Figura 4. Factor de escala sobre proyección CEA para México. a) Factor de escala sobre paralelos, b) factor de escala sobre meridianos.

Fuente: elaborado sobre la base de INEGI, 2002; Córdoba, 1977 y procesamiento de archivos vectoriales en SIG.

Tabla 2
Factor de escala sobre meridianos y paralelos en CEA
Factor de escala sobre meridianos

Latitud	Arco de meridiano (1'')		Factor de escala
	CEA	Elipsoide GRS 80	
32°30'	30.578161	30.804332	0.9927
29°30'	30.790009	30.790016	1.0000
23°30'	30.932599	30.764182	1.0055
17°30'	30.742995	30.742987	1.0000
14°30'	30.537795	30.734422	0.9936

Factor de escala sobre paralelos			
Latitud	Arco de paralelo (1'')		Factor de escala
	CEA	Elipsoide GRS 80	
32°30'	26.297728	26.104656	1.0074
29°30'	26.935079	26.935079	1.0000
23°30'	28.218033	28.372510	0.9946
17°30'	29.499842	29.499843	1.0000
14°30'	30.136234	29.943423	1.0064

Nota: Medidas en metros.
 Fuente: elaborado sobre la base de INEGI, 2002; Córdoba, 1977.

La relación inversa que existe entre el factor de escala entre meridianos y paralelos permite mantener la equivalencia de áreas a escala. En la Tabla 3 se muestra la comparación del cálculo de áreas en diferentes latitudes sobre la superficie proyectada en CEA y sobre el elipsoide.

Tabla 3
Comparación del cálculo de superficie sobre elipsoide y CEA

Latitud	Superficie 1''lat x 1''long	
	CEA	Elipsoide GRS80
32° 30'	2 526.26929	2 526.26828
29° 30'	2 605.42186	2 605.42122
23° 30'	2 742.16132	2 742.16138
17° 30'	2 849.15208	2 849.15280
14° 30'	2 891.18829	2 891.18933

Nota: Medidas en metros cuadrados.
 Fuente: elaborado sobre la base de INEGI, 2002; Córdoba, 1977.

De manera gráfica, la Figura 5 muestra las indicatrices de Tissot en diversas latitudes; lo que se observa es que las variaciones de los semiejes de las elipses de deformación son mínimas.

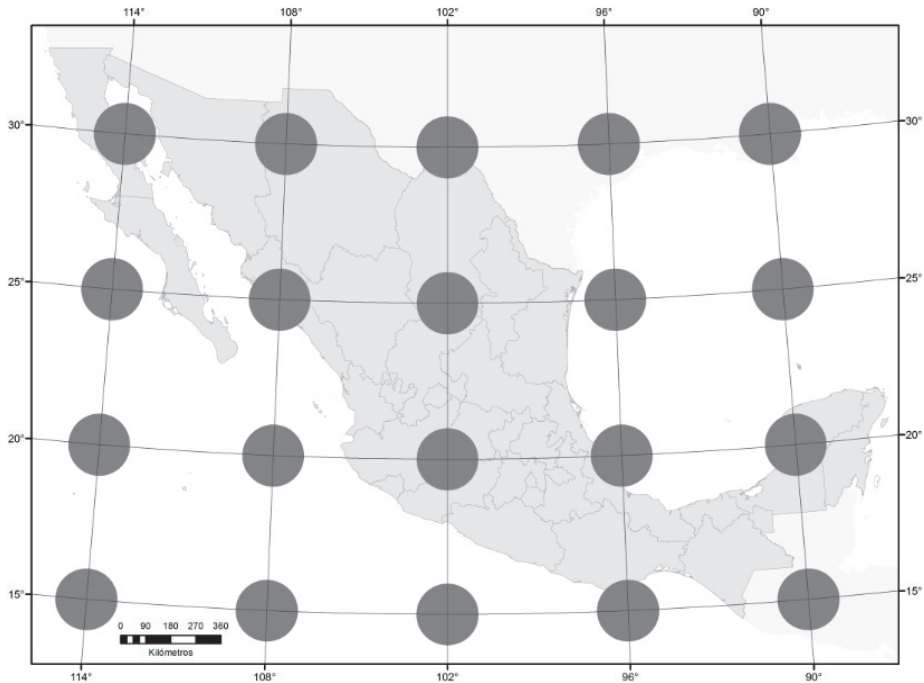


Figura 5. Indicatriz de Tissot sobre la proyección CEA adaptada para México.

Fuente: elaborado sobre la base de Córdoba, 1977 y procesamiento de archivos vectoriales en SIG.

La comparación de la variación del valor de superficie calculado en la CEA, con respecto a las diferentes proyecciones y el elipsoide que se emplean de manera oficial para la representación de México se muestran en la Tabla 4.

Las variaciones de las áreas que ocurren en cada proyección llevan a reflexionar que la realización de cálculos de superficies en proyecciones no equivalentes resultará en valores menos precisos e incluso desproporcionados con respecto a la realidad. De aquí la importancia de elegir una proyección adecuada para cada propósito.

Tabla 4
Comparación de área de 1" de latitud por 1" de longitud en diferentes proyecciones y el elipsoide GRS 80

		14° 30'	17° 30'	23° 30'	29° 30'	32° 30'
<i>GRS 80</i>	<i>Área</i>	2,891.188	2,849.152	2,742.161	2,605.422	2,526.269
<i>UTM</i>	<i>Área</i>	2,896.094	2,853.318	2,745.131	2,607.042	2,527.196
	<i>Diferencia</i>	4.905	4.166	2.970	1.620	0.927
<i>CCL</i>	<i>Área</i>	2,930.214	2,849.151	2,712.372	2,605.423	2,562.030
	<i>Diferencia</i>	39.025	-0.001	-29.789	0.001	35.761
<i>CEA</i>	<i>Área</i>	2,891.189	2,849.153	2,742.161	2,605.421	2,526.268
	<i>Diferencia</i>	0.001	0.001	0.000	-0.001	-0.001

Notas:

1. Medidas en metros cuadrados.
2. Longitud de referencia: meridiano 102°W.
3. La diferencia está calculada en relación a la superficie sobre el elipsoide.

Fuente: elaborado sobre la base de INEGI, 2002; Córdoba, 1977.

Cartografía nacional equivalente en escala 1:500,000

Con la finalidad de realizar una cartografía equivalente a escala nacional, se propone la separación del territorio en 45 cartas escala 1:500,000. Para esta cartografía, el territorio nacional puede dividirse en franjas de 6° longitud, cada franja mantiene un meridiano central, de manera que se emplean seis meridianos centrales que coinciden con los utilizados en la proyección UTM para México 87°, 93°, 99°, 105°, 111°, 117° W (Figura 6).

El uso de franjas permite que la posición de las cartas permanezca muy cercana a la horizontal, de otra manera, en el caso de emplear un solo meridiano central, las cartas que se ubican en los extremos longitudinales del país presentarían una inclinación poco convencional. La discontinuidad del territorio segmentado en franjas para la obtención de las cartas no representa cambios en el factor de escala indicado en la Figura 4; de esta manera, dado que la escala varía sólo latitudinalmente, puede posibilitarse la continuidad por medio de cálculos matemáticos. Esta característica supone una ventaja con respecto a la cartografía UTM debido a que el factor de escala en dicha proyección aumenta tanto en sentido latitudinal como longitudinal y la unión de cartas es menos accesible.

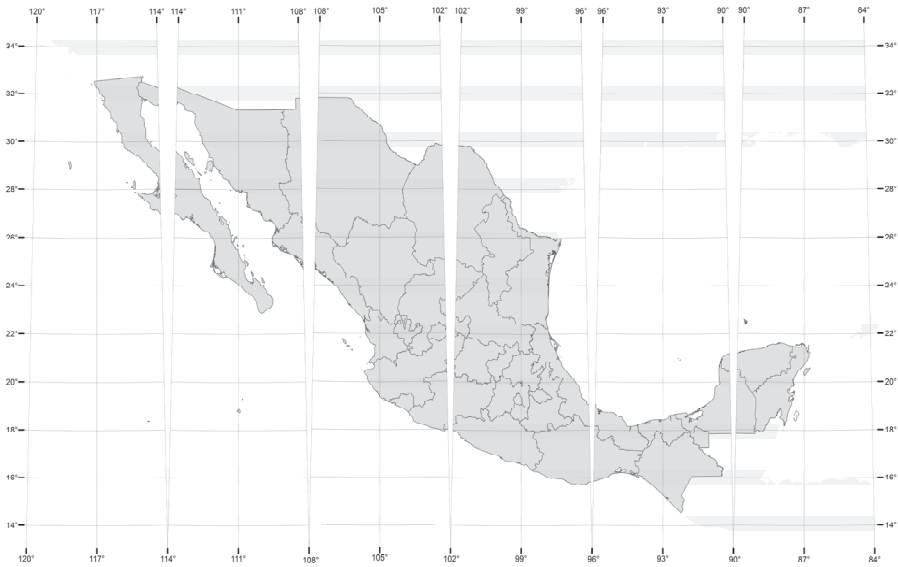


Figura 6. Representación de México en proyección CEA discontinua con seis meridianos centrales.

Fuente: elaborado con base en procesamiento de archivos vectoriales en SIG.

La Figura 7 muestra la división de las 45 cartas. El formato para su nomenclatura es derivado del que establece INEGI en la Norma Técnica NTG-013-2006, donde se señala que las dimensiones de una carta escala 1:500,000 son 2° latitud por 3° longitud, sin embargo, algunas cartas cubren hasta 2° 30' latitud y 3° 30' longitud debido a la configuración de la línea de costa del territorio. Las claves de las cartas se asignaron conforme a la Norma Técnica NTG-008-2005 División y Nomenclatura de los Conjuntos de Datos Espaciales por Escala emitida por el INEGI (2005), que indica que el nombre de las cartas se determina, por orden de prioridad, con base en la localidad con mayor número de habitantes, rasgos hidrológicos y rasgos orográficos; en este caso, por la amplia cobertura de las cartas, todas se nombraron de acuerdo a la localidad más poblada. Por otra parte, se les asignó una clave formada por un número romano, que numera el renglón en el que se ubica la carta, se comienza a enumerar desde los 34° N hasta los 14° N; asimismo se asignó una letra que señala el número de columna desde la A en los 117° W hasta la J en los 87° W. Con el fin de reducir el número de cartas y evitar representaciones con un cubrimiento continental mínimo, en las cartas III-A, VIII-E y VII-J se insertaron los territorios insulares Isla Guadalupe, Isla Clarión e Isla Socorro, y Arrecife Alacranes, respectivamente.

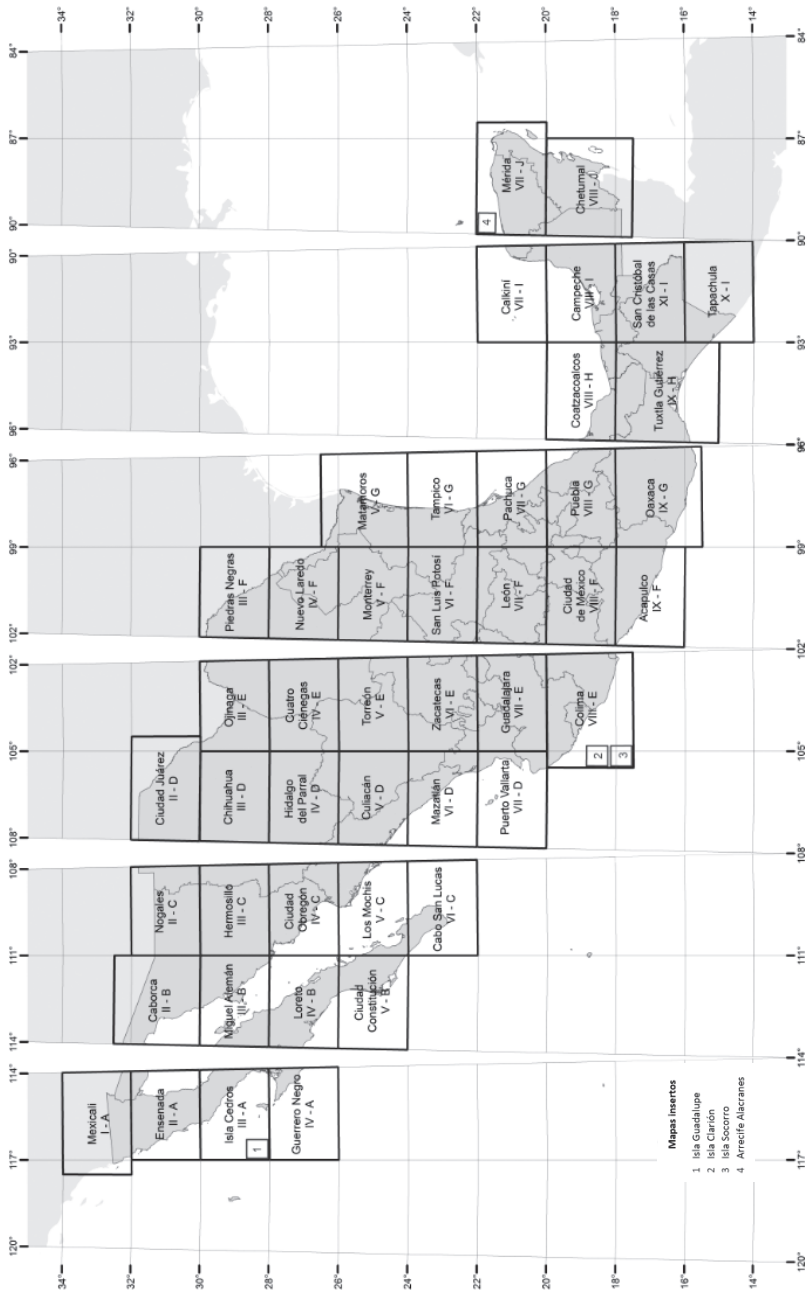


Figura 7. División de cartas escala 1:500,000 para elaboración de cartografía nacional empleando la proyección CEA.

Fuente: elaborado con base en procesamiento de archivos vectoriales en SIG.

Conclusiones

En el presente trabajo se ha mostrado la posibilidad de representar el territorio mexicano de una manera satisfactoria con la proyección Cónica Equivalente de Albers (CEA); para ello, fue necesario tomar decisiones en cuanto a los parámetros matemáticos que deben aplicarse, dadas las condiciones de extensión latitudinal y longitudinal de México. Con esta optimización también se mantienen reducidas las deformaciones angulares.

La proyección CEA para México también mostró cualidades para su utilización en distintas escalas, lo que posibilita alcanzar una integración de la cartografía nacional. Con las proyecciones UTM y CCL, que tienen actualmente un uso regular en México, los estudios que requieran un análisis a diferentes escalas deben tomar decisión, ya sea por la preservación de una sola proyección y asumir el riesgo de usar inapropiadamente una de ellas, o bien, enfrentar el problema del cambio de sistema.

La proyección bajo estudio mostró una ventaja en el manejo del factor de escala en relación con la UTM. Es conocido que, en este último sistema, la escala varía tanto de forma latitudinal como longitudinal; los patrones de deformación de la CEA, en cambio, varían sólo en sentido latitudinal y será más preciso hacer mediciones de fenómenos que ocurren en diferentes longitudes, en particular si esas mediciones implican el cálculo de áreas. Asimismo, en los estudios de escala chica, mostró ventajas con respecto a la CCL, ya que, por sus propiedades, además de conservar la dimensión de las áreas, se observó que, al proyectar a México en la CEA bajo parámetros adecuados, esta no modifica sustancialmente la forma de los territorios.

Es así que una cartografía nacional equivalente para México permite a los usuarios dimensionar correctamente los fenómenos de interés; la escala 1:500,000, propuesta como primer acercamiento para la escisión de las cartas, posibilita la realización de cálculos analíticos y cartométricos sobre una base más precisa.

El presente trabajo no pretende descalificar la cartografía nacional que se realiza en México y que se ha practicado sobre bases fundamentadas; más bien, procura abonar en la discusión y ser de utilidad como producto de una investigación cartográfica que promueve el uso y entendimiento de las proyecciones cartográficas. La finalidad es contribuir con una alternativa, especialmente para los trabajos que no requieran emplear la cartografía oficial de México para mostrar sus resultados.

Bibliografía

Adams, O. (1927). *Tables for Albers projection*, US Government Printing Office, Estados Unidos.

- Alashaikh, A.; Bilani, H. y Alsalman, A. (2014), "Modified perspective cylindrical map projection", *Arabian Journal of Geosciences*, Springer, 7(4):1559-1565.
- Alonso, F. (1989). *Apuntes de Cartografía*, División de Ingeniería Civil, Topografía y Geodésica, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Battersby, S. y Kessler, F. (2012). "Cues for Interpreting Distortion in Map Projections", *Journal of Geography*, 111(3):93-101.
- Caire, J. (1974). "La proyección cartográfica para Petróleos Mexicanos", *Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros*, 26(1-3), enero-marzo, México.
- (2002). *Cartografía básica*, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Córdoba, G. (1977). "Control primario para la elaboración de cartas geográficas", tesis de licenciatura en Geografía, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Dent, B. (1999). *Cartography Thematic Map Design*, Mc. Graw Hill, Estados Unidos.
- Eckert, M. (1961). *Cartografía*, Unión Tipográfica Editorial Hispanoamericana, México.
- Franco, S. y Valdez, M.A. (2003). *Principios básicos de cartografía y cartografía automatizada*, Universidad Autónoma del Estado de México, México.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) (2002). *Guía de proyecciones cartográficas*, México.
- (2005), Norma Técnica NTG-008-2005 División y Nomenclatura de los Conjuntos de Datos Espaciales por escala, México.
- (2006), Norma Técnica NTG-013-2006 Edición de Cartografía Topográfica, México.
- Jenny, B. y Patterson, T. (2013). "Blending world map projections with Flex Projector", *Cartography and Geographic Information Science*, 40(4):289-296.
- Jenny, B.; Patterson, T.; Petrovič, D. y Hurni, L. (2011). "A Polynomial Equation for the Natural Earth Projection", *Cartography and Geographic Information Science*, 38(4):363-372.
- Kirtiloglu, O. (2010). "Distortion analysis of map projections", *10th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM2010*, I:995-1002.
- Oztug, I. (2015). "Quasi indicatrix approach for distortion visualization and analysis for map projections", *International Journal of Geographical Information Science*, 29(12):2295-2309.
- Paquentín, E. (1956). "Proyección Cónica conforme de Lambert. Cálculo de la proyección respectiva de 5' en 5'", *Ingeniería Hidráulica de México*, vol. X, julio-agosto-septiembre, pp. 57-66.
- Patterson, T.; Šavrič, B. y Jenny, B. (2015). "Introducing the Patterson cylindrical projection", *Cartographic Perspectives*, 78:77-81.

- Raisz, E. (1985). *Cartografía general*, Omega, Barcelona.
- Robinson, A.; Sale, R.; Morrison, J. y Muehrcke, P. (1987). *Elementos de Cartografía*, Omega, Barcelona.
- Safari, A. y Ardalán, A. (2007). “New cylindrical equal area and conformal map projections of the reference ellipsoid for local applications”, *Survey Review*, 39(304):132-144.
- Salitchev, K. (1979). *Cartografía*, Editorial Pueblo y Educación, La Habana.
- Streben, D. (2016). “An adaptable equal-area pseudoconic map projection”, *Cartography and Geographic Information Science*, XVIII:338-345.
- Šavrič, B. y Jenny, B. (2014). “A new pseudocylindrical equal-area projection for adaptive composite map projections”, *International Journal of Geographical Information Science*, 28(12):2373-2389.
- Šavrič, B.; Jenny, B.; Patterson, T.; Petrovič, D. y Hurni, L. (2011).” A polynomial equation for the Natural Earth projection”, *Cartography and Geographic Information Science*, 38(4):363-372.
- Snyder, J. (1987). *Map projections, a working manual*, U.S. Geological Survey Professional Paper 1395, Government Printing Office, Estados Unidos.
- (1997). *Flattening the earth: two thousand years of map projections*, University of Chicago Press, Estados Unidos.
- Tyner, J. A. (2010). *Principles of map design*. Guilford Press, Estados Unidos.

Uso do software livre QGIS (Quantum GIS) para ensino de Geoprocessamento em nível superior

Marcia Harumi Ito*
Homero Fonseca Filho*
Luís Américo Conti**

Recibido el 01 de marzo de 2016: aceptado el 17 de noviembre de 2016

Resumen

Con la buena reputación del software libre de sistemas de información geográfica, se presenta la oportunidad para los cursos de pregrado adoptar estos sistemas, debido al ahorro y sobre todo por la calidad que puede ofrecer. El objetivo de este estudio fue analizar las percepciones de los estudiantes y profesor de la asignatura, sobre el uso del software libre Quantum GIS (QGIS) para enseñanza de Geoprocetamiento. Se aplicaron a los estudiantes cuestionarios con respuestas cerradas y abiertas, después realizaron análisis estadísticos. Se concluyó que 91% de los estudiantes no tenían conocimiento del QGIS; 87% lo utilizó por primera vez y QGIS fue bien evaluado por 89% de los estudiantes, lo que representa una excelente elección.

Palabras clave: *Sistema de Información Geográfica (SIG), QGIS, cartografía, Infraestructura de Datos Espaciales (IDE), geotecnología; educación superior, Aprendizaje Basado en Problemas (ABP).*

Abstract

Free software of Geographic Information Systems have been well evaluated worldwide and therefore their use for teaching in higher education can be a good opportunity, due to the quality and savings they provide. Accordingly, the aim of this study was to analyze the students' and professor perception and experience using Quantum GIS (QGIS)

* Escola de Artes, Ciências e Humanidades (EACH), Laboratório de Computação Geospacial (LaCoGeo), Grupo de Estudos e Pesquisas em Infraestrutura de Dados Espaciais (GEPIDE), Universidade de São Paulo (USP), Av. Arlindo Bettio, nº 1000, Parque Ecológico do Tietê - Ermelino Matarazzo, 03828-000, São Paulo, Brasil, e-mail: marcia.harumi.ito@usp.br; homeroff@usp.br; lconti@usp.br

for learning and teaching Geoprocessing. A survey and a statistical analysis were performed and it was found that: 91% of the students were unaware of the QGIS; 87% used it for the first time, and that it was well evaluated by 89% of the students and by the professor. Thus, it was concluded that the QGIS was an excellent choice.

Key words: Geographic Information System (GIS), QGIS, cartography, Spatial Data Infrastructure (SDI), higher education, Problem Based Learning (PBL).

Resumo

Com a boa reputação de softwares livres de Sistemas de Informações Geográficas, seu uso para ensino em cursos de nível superior pode ser uma boa oportunidade devido à economia e qualidade que oferecem. O objetivo deste estudo foi analisar a percepção e experiência dos alunos e do docente ao utilizarem o Quantum GIS (QGIS) para ensino de Geoprocessamento em nível superior. Foram aplicados questionários com respostas fechadas e abertas e realizadas análises estatísticas. Concluiu-se que 91% dos alunos desconheciam o QGIS; que 87% o utilizaram pela primeira vez e que este foi bem aceito por 89% dos alunos e pelo docente. Concluiu-se que o QGIS foi uma excelente opção.

Palavras chave: Sistema de Informação Geográfica (SIG), QGIS, cartografia, Infraestrutura de Dados Espaciais (IDE), geotecnologia; ensino superior, Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP).

Introdução

O desenvolvimento tecnológico é crescente em vários segmentos da sociedade e em várias áreas de conhecimento. Este não ocorre de forma igual em todas as áreas, mas, há algumas que se destacam pela rapidez, como a da informática. Dada essa possibilidade de mudança rápida, existe uma preocupação em acompanhar o uso e as aplicações das novas tecnologias. Várias áreas do conhecimento foram beneficiadas e até revolucionadas pelo desenvolvimento tecnológico da informática, como a Cartografia e a Geografia.

A informação geográfica é estudada e utilizada pela humanidade desde seus primórdios e o desenvolvimento tecnológico produziu os Sistemas de Informação Geográfica —SIG, que estão atualmente num patamar de popularização muito alto. Esta popularização ocorreu, em parte, pelas iniciativas de desenvolvimento de softwares livres de SIG.

O aumento dos estudos e investimentos nesta vertente tendem a corroborar com a melhoria e disseminação do conhecimento da mesma. Nesse sentido as técnicas de análise espacial de dados são particularmente eficientes no estudo da superfície terrestre, inclusive para resolução de problemas. Em razão disto, foram desenvolvidas várias ferramentas analíticas voltadas à análise exploratória de dados com base em

Sistemas de Informação Geográfica (Almeida, 2011). Ainda no caminho evolutivo a informação geográfica já está sendo considerada uma ciência, a Ciência da Informação Geográfica (Longley *et al.*, 2013).

Para acompanhar a evolução e suprir as necessidades e demandas do ensino da informação geográfica, as escolas podem lançar mão do uso de softwares livres para ensino.

Neste contexto surgem algumas dúvidas. Será que os softwares livres funcionam bem para ensino? Será que os professores e alunos terão uma boa experiência com estes? Qual a facilidade de utilizá-los?

SIG e Geoprocessamento

Segundo Longley *et al.* (2013 p. 17), ainda ronda alguma controvérsia na história dos SIG, pois ocorreram várias iniciativas paralelas na América do Norte, Europa e Austrália. Porém estes autores (p. 435) reconhecem que Roger Tomlinson foi o pai dos SIG. Outros autores mais consideram que ele foi o criador do termo Sistema de Informação Geográfica e é considerado o precursor no desenvolvimento dos conceitos e tecnologias que resultaram nos sistemas SIG atuais (Wing, Bettinger, 2003, p. 5). Os primeiros SIGs surgiram na década de 1960 e a expressão Geographic Information System ao longo da década de 1970 (Câmara, Davis, Monteiro, 2001), desde esta época os SIGs obtiveram diversas denominações como as levantadas por Maguire (1991) e Rocha (2000).

O SIG foi desenvolvido por agentes governamentais devido a iminente necessidade de solucionar as complexidades das questões ambientais e criar um inventário de recursos naturais (Câmara, Davis, Monteiro, 2001); (Wing, Bettinger, 2003). Os estudos de SIG se desenvolveram concomitante à Cartografia, no desenvolvimento de alguns fundamentos matemáticos, como as questões de geometria computacional. Nas décadas seguintes houve um impulso no crescimento dos SIGs devido aos avanços na área computacional, que permitiram a diminuição dos custos de produção de memória e hardware (Câmara, Davis, Monteiro, 2001).

Para o desenvolvimento de SIG, além do incremento do hardware e software, é necessário o emprego de uma base de dados georreferenciados. Estes dados são os que estão associadas a um sistema de coordenadas, que em geral são caracterizados pelas suas coordenadas de latitude e longitude (Fitz, 2008). Com a popularização e grande disseminação, no cenário atual, as pessoas passaram a ter acesso às ferramentas SIG através de uma conexão com a internet, por meio de aplicações que mesclam modelagem 3D, imagens de satélite e sistemas de navegação por satélite (GNSS —Global Navigation Satellite System, como por exemplo, o Sistema de Posicionamento Global —GPS), o Google Earth, WikiMapia, Google Maps, entre outros.

Existem vários autores que definem SIG em diversas literaturas e, uma das primeiras definições de Sistema de Informação Geográfica —SIG foi a de Dueker, no

qual o mesmo descreve SIG como um caso especial de sistemas de informação em que o banco de dados consiste de observações sobre feições espacialmente distribuídas, atividades ou eventos, que são definidas no espaço como pontos, linhas ou áreas. Um SIG manipula dados sobre esses pontos, linhas e áreas para recuperar dados para consultas e análises específicas para este fim (Dueker, 1979; apud Maguire, 1991, p. 11).

Aronoff (1989), posteriormente à Dueker, define SIG como “sistema de captação, armazenamento, manipulação, análise e apresentação de dados georreferenciados” (Aronoff, 1989; apud Maguire, 1991, p. 10; Rocha, 2000, p. 47; Almeida; Morgado, 2007, p. 13). Rocha (2000, p. 48) denomina Sistema de Informação Geográfica —SIG como um sistema com capacidade para

[...] aquisição, armazenamento, tratamento, integração, processamento, recuperação, transformação, manipulação, modelagem, atualização, análise e exibição de informações digitais georreferenciadas, topologicamente estruturadas, associadas ou não a um banco de dados alfanuméricos.

Já, segundo Câmara, Davis e Monteiro (2001, p. 1), “as ferramentas computacionais para Geoprocessamento, chamadas de Sistemas de Informação Geográfica, permitem realizar análises complexas, ao integrar dados de diversas fontes e ao criar bancos de dados geo-referenciados”. Além disso, “tornam possível automatizar a produção de documentos cartográficos”.

Geoprocessamento é um todo, um conjunto, enquanto Sistemas de Informação Geográfica é elemento deste conjunto. São termos distintos, porém interligados, pois é o SIG que realiza as atividades do Geoprocessamento (Alves, 2011).

O Geoprocessamento tem obtido considerável avanço na integração de dados geográficos (Silva *et al.*, 2011), bem como avanços conceituais, técnicos e metodológicos (Silva, Zaidan, 2004). Para Silva (2012, p. 19) o Geoprocessamento pode ser compreendido como um “conjunto de conceitos, métodos e técnicas dirigido à transformação de dados ambientais georreferenciados em informação relevante para a compreensão e o manejo de ambientes”.

É público que estas ferramentas possuem aplicações em diversas áreas de conhecimento como, por exemplo, na identificação do uso do solo; no planejamento ambiental, em áreas contaminadas, entre muitas outras, só para citar algumas na área Ambiental, que é o interesse deste trabalho. Nota-se que há muitas pesquisas baseadas nas técnicas de processamento digital de imagens de satélite e Sistemas de Informação Geográfica em desenvolvimento.

No Brasil, o Geoprocessamento foi introduzido na década de 1980, em decorrência da disseminação do conhecimento, influência e esforços do Prof. Jorge Xavier da Silva da Universidade Federal do Rio de Janeiro (Câmara, Davis, Monteiro, 2001).

Ainda, estes autores, relatam Geoprocessamento como a “disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica e que vem influenciando de maneira crescente as áreas de Cartografia, Análise de Recursos Naturais, Transportes, Comunicações, Energia e Planejamento Urbano e Regional” (Câmara, Davis, Monteiro, 2001, p. 1).

Software Livre e aberto

No ano de 1985, a fundação de software livre —Free Software Foundation— foi criada por Richard Matthew Stallman, com o intuito de desenvolver um sistema operacional totalmente livre e compatível com a plataforma Unix, o qual foi denominado de GNU e a licença de código aberto para este software foi denominada GNU GPL (Reis, 2003).

O conceito de Software livre é anterior à década de 1980, e este termo possuía outras denominações até os anos de 1980. Nas décadas de 1960 e 1970, a maioria dos softwares foram desenvolvidos de forma colaborativa e aberta, em várias empresas e instituições (Levy, 1994; apud Reis, 2003).

Stallman, foi pioneiro na idealização do desenvolvimento de software livre, além disso, fundador do movimento software livre e consolidou o conceito de copyleft (Damasio, Ribeiro, 2006). Stallman, quando se refere ao software livre, quer dizer que respeita as liberdades essenciais dos usuários: a liberdade de executá-lo, para estudar e alterá-lo, e de redistribuir cópias com ou sem alterações. Esta é uma questão de liberdade, não de preço, por isso pense liberdade de expressão, não em cerveja grátis (Stallman, 2009, p. 31).

Este autor complementa que essas liberdades são muito relevantes, pois promovem a partilha e cooperação, que é a solidariedade social. Também caracteriza as diferenças entre software livre e software open source, embora os dois termos possuam a mesma categoria, a idéia e os valores transmitidos por eles são diferentes.

Quase todos softwares open source —código aberto é um software livre; os dois termos descrevem quase a mesma categoria de software. Mas, eles defendem pontos de vista com base em valores fundamentalmente diferentes. Open source —código aberto— é uma metodologia de desenvolvimento; software livre é um movimento social. Para o movimento do software livre, software livre é um imperativo ético, porque somente este respeita a liberdade dos usuários (Stallman, 2009).

Em outra definição (Alves, 2011, p. 27), o software livre é descrito como “um programa computacional como qualquer outro programa proprietário, possui a mesma finalidade para atender um determinado objetivo como, por exemplo as planilhas de cálculos, editores de texto e imagens, etc.”. Em contestação ao software proprietário surgiu o software livre ou de código aberto, também denominado open source. Os softwares proprietários são os programas de computador de código-fonte

fechado, que possuem registro por uma única empresa, a qual cobra o direito de propriedade intelectual, denominado como copyright (Guesser, 2005).

O Geoprocessamento tem grande potencial de uso no Brasil, devido a sua grande extensão territorial, bem como sua grande deficiência de informações adequadas para a tomada de decisões sobre os problemas ambientais, rurais e urbanos. Em especial, há grande potencial para o uso de sistemas com tecnologias de baixo custo e que requerem conhecimentos obtidos localmente (Câmara, Davis, Monteiro, 2001). Nesse sentido, muitas empresas, instituições e pessoas físicas buscam softwares livres ou de código aberto, devido ao seu custo gratuito ou relativamente baixo, além da facilidade de acesso e adequação de uso, pois estes podem ser editados de acordo com suas necessidades. Como um bom exemplo, pode ser citado o Quantum GIS, da sigla QGIS.

Quantum GIS

O Quantum GIS (QGIS) é um SIG que permite análise de dados espaciais, visualização e edição. Possibilita aos usuários criar mapas multicamadas, utilizando várias projeções cartográficas. Estes mapas podem ter várias finalidades como análises ambientais, urbanas, demográficas, dentre outras (Pejović *et al.*, 2014). “QGIS suporta um grande número de formatos de dados matriciais e vetoriais que são facilmente adicionados usando a arquitetura de plug-in” (Censipam, s/d, p. 5; apud Almeida, 2011, p. 174).

O QGIS é um sistema resultante de um projeto oficial da Open Source Geospatial Foundation (OSGeo), software gratuito, com interface gráfica simples, de código aberto licenciado segundo a Licença Pública Geral GNU. É multiplataforma, escrito em C++1, o Python2 e, baseado nas bibliotecas Qt43, funciona nas plataformas Mac OSX, Windows, Linux, Unix e Android e permite o emprego de muitos formatos, como o raster, vetorial, bases de dados e várias funcionalidades (Manghi, Cavallini, Neves, 2011); (Almeida, 2011); (QGIS, 2014).

A linguagem C++1 é uma linguagem de programação de nível médio e a linguagem Python2 é mais sofisticada, de alto nível. “Qt é um framework multiplataforma. Com ele é possível desenvolver aplicativos e bibliotecas uma única vez e compilá-los para diversas plataformas sem que seja necessário alterar o código fonte” (Almeida, 2011, p. 174). Um dos pontos positivos do QGIS é a facilidade para encontrá-lo para download e ser instalado em computadores com menor capacidade de processamento. Outro ponto positivo é o grande número de usuários (Almeida, 2011).

As funcionalidades do QGIS tem aumentado constantemente, por meio de funções nativas e de complementos, que são possíveis de se editar, analisar dados, gerir, visualizar e criar mapas para impressão. Maiores detalhamentos das funcionalidades estão disponíveis no site oficial QGIS, online no endereço <http://www2.qgis.org/pt_BR/site/about/features.html>. Também estão disponíveis

no referido endereço, vários estudos de casos de usuários relatando aplicações com QGIS em seus trabalhos com SIG. A versão mais atualizada do QGIS também pode ser encontrada no referido endereço (QGIS, 2014).

O projeto QGIS se iniciou em 2002. É produto do trabalho voluntário de um grupo de desenvolvedores, autores de documentação, tradutores, e colaboradores que auxiliam no processo de lançamento de novas versões. Também, trabalham na identificação e divulgação das eventuais falhas no software. Ainda, os usuários podem participar e contribuir no processo de desenvolvimento do QGIS, pois, podem auxiliar escrevendo novas rotinas para as inúmeras aplicações relacionadas. Isto é possível dado que o QGIS é baseado em uma biblioteca de código aberto. A administração do projeto é feita por um grupo de técnicos e especialistas em geoprocessamento, pelo Project Steering Committee (Manghi, Cavallini, Neves, 2011); (Oliani, Paiva, Antunes, 2012); (Pejović *et al.*, 2014). Algumas das extensões QGIS como GDAL, GRASS GIS, PostGIS e PostgreSQL são consideradas importantes, visto que aumentaram significativamente sua usabilidade (Pejović *et al.*, 2014).

A interface gráfica do QGIS foi criada de forma a contemplar a simplicidade e facilidade no seu uso. Esta permite consultas espaciais, identificação e seleção de geometrias, exploração interativa de dados, pesquisa, visualização e seleção de atributos e criação de simbologia vetorial e raster. Também permite o geoprocessamento de camadas raster e vetor, manipulação de camadas raster, entre outros (Almeida, 2011). “As funcionalidades do QGIS são ampliadas através de plug-ins. Além dos instalados automaticamente com o programa, o usuário pode buscar e instalar outros plug-ins utilizando o menu do QGIS” (Almeida, 2011, p. 175). Outra vantagem, segundo Neto (2010), é a possibilidade de o QGIS importar pontos de GPS por meio de plug-ins.

Infraestrutura de Dados Espaciais (IDE) e Ensino

Pode se considerar que a disponibilidade e garantia de acesso às informações geográficas (IG) por meio das infraestruturas de dados espaciais (IDE) representa um meio de contribuição para o desenvolvimento da sociedade da informação e o conhecimento indica implicitamente que a educação em IDE cumprirá o papel fundamental para alcançar a sociedade em geral e nos distintos âmbitos, tanto públicos como privados (Gonzalez, Fonseca Filho, Bernabé-Poveda, 2012, p. 437).

Os autores Gonzalez, Fonseca Filho e Bernabé-Poveda (2012) concordam com Krasilichik y Araujo (2010), que o modelo de educação embasada na simples transmissão de conhecimento, que prevalece desde o século XIX, está passando por uma fase de transição no ensino, diante das necessidades e demandas de uma sociedade informatizada, de maior disponibilidade e uso das Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC), das novas relações entre as instituições de ensino e pesquisas com

a comunidade local e global, requer a necessidade de mudanças e reformas na educação.

A sociedade atual e os estudantes possuem um perfil e necessidades diferentes e é necessário adotar novas técnicas de ensino e fundamentos pedagógicos compatíveis com este novo estudante, de modo a suprir as limitações da educação tradicional (Ramos *et al.*, 2010).

Devido aos consideráveis avanços obtidos na área de Geoprocessamento bem como nas suas ferramentas, também são necessários avanços nos estudos, no uso e na disseminação dessas ferramentas na área acadêmica. Também, proporcionar uma resposta diversificada e flexível oferecida por parte da Universidade, visando responder às características atuais da sociedade, do conhecimento, das informações e das necessidades de formação e treinamento no âmbito das Infraestruturas de Dados Espaciais, como relatados pelos autores Gonzalez, Fonseca Filho e Bernabé-Poveda (2012, p. 443).

Neste contexto, este trabalho tem como objetivos:

- a) pesquisar e estudar as potencialidades do uso e da aplicação do software livre Quantum GIS como tecnologia da geoinformação para ensino de Geoprocessamento em curso de graduação.
- b) analisar a percepção dos alunos e do docente quanto ao uso do sistema QGIS na disciplina Introdução ao Geoprocessamento no curso de Gestão Ambiental na Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo.

Justificativa

O estudo se justifica pela necessidade de se conhecer o potencial de uso do software livre QGIS para ensino de Geoprocessamento em cursos de graduação, bem como sua adequação e desempenho como ferramenta de ensino. É importante conhecer a percepção dos alunos e do docente após terem utilizado o QGIS. Algo similar foi realizado por Fonseca Filho *et al.* (2013) para o sistema OpenStreetMap (OSM).

Como o software é livre, os alunos podem instalar o programa em seus computadores pessoais o que poderá lhes dar mais liberdade para planejar seus horários de estudo. Também é importante aumentar a participação de softwares livres e gratuitos em cursos de graduação, visando o aumento de conhecimento e domínio no uso de ferramentas de análise espacial. Isso possibilita melhorar as competências na formação acadêmica e possibilita grande economia financeira para a instituição e/ou propicia o redirecionamento de investimentos.

Os softwares privados e pagos, denominados softwares proprietários, demandam dependência tecnológica e às vezes custo alto, além das restrições de uso, pois os programas de código fechado são limitados e por vezes seus algoritmos não estão disponíveis.

Materiais e métodos

O estudo foi realizado por meio de revisão bibliográfica (obtenção dos dados secundários), nas aplicações na área de ensino, como também na utilização das ferramentas de QGIS e por fim a aplicação de um questionário semi-estruturado (obtenção dos dados primários) com a finalidade de quantificar o potencial de uso do software Quantum GIS, testado na disciplina Introdução ao Geoprocessamento. Revisão de tutoriais, vídeos de utilização das ferramentas e do software.

Escolha do software Quantum GIS (QGIS)

A aprendizagem e domínio do Quantum GIS tem a importância e o intuito de melhorar a qualificação e formação acadêmica na utilização de Sistemas de Informação Geográfica com plataformas de softwares de acesso gratuito. Além disso, a escolha deste sistema levou em consideração: a) a facilidade para o download; b) a acessibilidade, pois não requer um hardware muito potente; c) a disponibilidade de tutoriais para o seu aprendizado; d) pelo fato de ser um software de livre acesso e gratuito, e finalmente; e) por possuir grande número de usuários.

Descrição do curso e da disciplina

O curso de Bacharelado em Gestão Ambiental da EACH-USP é um curso multidisciplinar, em que a formação profissional e acadêmica do Gestor Ambiental visa a interação com profissionais de diversas áreas do conhecimento, tais como Biólogos, Ecólogos, Químicos, Físicos, Economistas, Administradores, Historiadores, Engenheiros, Agrônomos, Geólogos, Geógrafos, dentre outros.

A disciplina Introdução ao Geoprocessamento, possui enfoque em noções básicas de Cartografia, Escalas, Sistemas de Coordenadas Geográficas, princípios e aplicações de GPS, Sensoriamento Remoto, Sistemas de Informação Geográfica, Conceitos de Geoprocessamento e o uso multidisciplinar com a interação das diversas áreas do conhecimento nas aplicações de estudo de caso.

Atualmente esta disciplina é ministrada para duas turmas de 60 vagas cada, num total de 120 alunos por ano. Os períodos de oferecimento são matutino e noturno. No ano de 2014, haviam 57 inscritos para o matutino e 42 para o noturno.

A disciplina Introdução ao Geoprocessamento foi concebida para oferecer ao aluno, uma visão completa de uso e aplicações de Sistemas de Informações Geográficas onde se buscou a apresentação de cenários de problemas e questões reais no contexto das Ciências Ambientais.

Informações e maior detalhamento sobre o conteúdo programático oficial da disciplina de Introdução ao Geoprocessamento estão dispostas em meio digital no endereço eletrônico: <<https://uspdigital.usp.br/jupiterweb/obterDisciplina?sglDis=ACH1084&verdis=3>>.

A metodologia de ensino desta disciplina foi embasada em aulas expositivas com apresentação de material áudio-visual, exercícios em sala de aula e fora dela, entrega de trabalho teórico e prático com aplicações de SIG utilizando o QGIS.

Para a fundamentação teórica, foram introduzidos conceitos sobre SIG, Geoprocessamento, exemplos do cotidiano e de estudos de caso. Foi adotada a metodologia de ensino Aprendizado Baseado em Problemas, da sigla em inglês PBL, Problem Based Learning. Esta metodologia é definida por Mayo e sua equipe (Mayo *et al.*, 1993), como uma estratégia educativa que introduz aos estudantes situações significativas e contextualizadas no mundo real. O professor assume o papel de facilitador do processo de aprendizagem, proporcionando os recursos e orientando os alunos a medida que desenvolvem os conhecimentos e habilidades na resolução dos problemas, contribuindo a promover as atividades de interação e colaboração (Gonzalez, Fonseca Filho, Bernabé-Poveda, 2012, p. 440).

A estrutura da disciplina baseou-se em módulos de aprendizagem em que cada bloco teórico foi acompanhado de exercícios práticos em bases de dados de acesso livre e público, disponíveis em sites oficiais de instituições governamentais e de pesquisa. Ao final de cada módulo teórico foi proposto um exercício em que os temas e conceitos abordados no curso complementaram-se na busca de uma análise integrada de um problema real.

Todo o conteúdo teórico, assim como os tutoriais de elaboração dos exercícios foram sintetizados em uma apostila e complementado por sugestões de aplicações mais aprofundadas em cada um dos tópicos propostos. Já o conteúdo didático assim como as informações práticas e material dos exercícios foram disponibilizados através de um portal do curso ao qual os alunos puderam acessar e estabelecer grupos de discussão com a participação do professor e colegas.

A estrutura didática dos módulos seguiram uma lógica de aprendizado em que conceitos básicos de representação espacial, cartografia, sensoriamento remoto e análise geográfica conectaram-se em uma sequência estabelecida de modo a permitir ao aluno um grau de familiarização cada vez mais aprofundado tanto nas questões conceituais quanto nas aplicações práticas e no ferramental disponibilizado no software.

A base conceitual para a elaboração dos módulos seguiu a organização do material didático e bibliografia sugerida segundo trabalhos de Kemp *et al.* (1992), McClurg & Buss (2007); Karssenberget *et al.* (2001), entre outros. Em particular, os trabalhos de Walsh (1992) e Lee & Bednarz (2009) guiaram a estruturação do conteúdo dos módulos segundo base lógica de aprendizado conceitual. O conteúdo foi baseado em quatro módulos a saber: I - Informação espacial e manipulação de dados geográficos, II- Elaboração de mapas, III- Análise e modelagem espacial, IV- Fenomenologia e exemplos práticos.

Os módulos foram sustentados por aprendizado de conceitos básicos e definições aplicadas posteriormente em exercícios práticos com informações adquiridas na Internet através de sites de instituições de ensino e pesquisa. A seguir um detalhamento de cada um dos módulos, seus conteúdos e exercícios aplicados.

I. Informação espacial e manipulação de dados geográficos

Ia. Conceitos básicos: Conceituação de espaço geográfico, geoprocessamento e Sistemas de Informações Geográficas (SIGs); representação do espaço (universo matricial e vetorial); tipos de dados e arquivos; níveis de informação e “layers” em um SIG; hardware e Software.

Ib. Tipos de exercícios: Familiarização com estrutura e interface gráfica do software; carregamento e visualização de arquivos vetoriais; mapa de municípios brasileiros e dados de demografia e dados de altimetria raster (MDT); transformação raster \Leftrightarrow vetor; busca por campos e por localização (e.g. indicar quais municípios com maior e menor taxa de analfabetismo por estado);

Ic. Fonte de dados: PNUD - Brasil (disponível no site do IBGE); Altimetria por Radar — Sistema SRTM (disponível no site da EMBRAPA).

II. Elaboração de mapas

Ila. Conceitos básicos: Noções de Geodésia e modelos de Terra (geoide x elipsóide x datum); transformações de coordenadas; elementos de Cartografia e representação espacial (escala, toponímia, simbologia e abstração); topologia.

Ilb. Tipos de exercícios: Elaboração de mapas a partir de ferramental de compositor de mapas; configuração de escala, simbologias, rótulos, visualização e elementos cartográficos.

Ilc. Fonte de dados: PNUD - Brasil (disponível no site do IBGE); Altimetria por Radar - Sistema SRTM (disponível no site da EMBRAPA).

III. Análise e modelagem espacial

IIIa. Conceitos básicos: Modelagem raster - álgebra de mapas; Classificações e segmentações; Sensoriamento remoto e processamento digital de imagens; análise multivariável; modelagem vetorial - banco de dados geográficos linguagem de query, SQL; modelagem digital de terreno, interpolação e noções de Geoestatística.

IIIb. Tipos de exercícios: A partir de dados de municípios (vet), altimetria (rast), biomas (vet) e morfologia (vet) estabelecer áreas mais suscetíveis a implementação de uma área de preservação permanente segundo conjunto de regras pré-estabelecidas; elaboração de um modelo digital de terreno a partir de dados pontuais; visualização de imagens de satélites.

IIIc. Fonte de dados: Mapas Vetoriais em Série de Biomas e Unidades Geomorfológicas do Brasil (disponível no site do IBAMA).

IV. Fenomenologia e exemplos práticos.

IVa. Conceitos básicos: Elementos de análise de paisagens; tipos de problemas envolvendo gestão de território e políticas ambientais; pensando a problemática espacial e como elaborar um plano de resolução de problemas em um SIG; Exemplos baseados em bibliografia científica e técnica.

IVb. Tipos de exercícios: Foi proposta uma questão real onde o problema proposto foi a determinação de áreas vulneráveis a supressão da vegetação através de queimadas e análise da presença destes eventos com relação as vias (estradas) no estado do Pará. Para tal foi proposto que se calculasse a densidade de focos queimadas no estado e posteriormente uma análise de correlação espacial com a presença de estradas e municípios do Estado. Ao fim, um relatório de aconselhamento deveria ser elaborado.

IVc. Fonte de dados: Mapas vetoriais em Série de Biomas e Dados de queimadas (séries - polígonos); Dados do sistema viário brasileiro (em séries disponíveis no site do DNIT).

Vale ressaltar que no ano de 2014 esta disciplina foi oferecida de forma experimental por um professor diferente do que o de costume. Assim, o mesmo utilizou a metodologia de ensino Aprendizagem Baseada em Problemas e a organização dos conteúdos em módulos, como descrito acima (respeitando a ementa oficial) e utilizou o software QGIS, devido ao seu potencial de uso e flexibilidade de acesso.

A avaliação foi realizada por meio de participação em sala de aula, aplicação de exercícios e trabalhos em grupos de cinco a oito pessoas, com partes teóricas e práticas no QGIS, bem como na aplicação em estudo de caso.

A versão do QGIS para download e instalação para realização dos exercícios em aula foi o QGIS 2.6.1 'Brighton'. Esta versão, assim como as anteriores estão disponíveis para download no endereço: <http://www.qgis.org/pt_BR/site/index.html>.

Coleta e análise de dados

Como esquematizado no fluxograma da figura 1, para coleta de dados sobre a percepção dos alunos matriculados na disciplina, foi aplicado um questionário contendo dez perguntas. Dentre as perguntas, oito eram de respostas alternativas e duas discursivas. Após a elaboração das perguntas, a aplicação do questionário foi disposto em meio digital e realizada por intermédio do sistema online denominada Formulários Google, que permite criar formulários personalizados para questionários e pesquisas gratuitamente. Permite também realizar a análise dos dados obtidos diretamente no

sistema Planilhas Google, pois o Formulários Google reúne e vincula os dados de resposta da pesquisa no Planilhas Google.

A divulgação do questionário foi realizada por meio de correio eletrônico. Para a segurança das informações, foram gerados códigos de validação, enviados por e-mail a cada aluno, a fim de evitar mais de um envio por aluno, tal como a garantia de segurança de dados e para que alunos ao qual não estivessem matriculados na disciplina não tivessem acesso ao questionário, pois as perguntas foram elaboradas com pertinência somente aos matriculados.

Ademais, visto sua importância, foi registrada a percepção do docente da disciplina, bem como as percepções dos discentes para uma análise mais completa da experiência de uso do QGIS na disciplina.

A metodologia da pesquisa consistiu em entrevista semi estruturada, composta por questões de respostas abertas e fechadas, com variáveis qualitativas e quantitativas. A análise dos dados foi realizada após a aplicação do questionário e por meio das análises estatísticas de distribuição de frequência.



Figura 1. Fluxograma da metodologia.

Resultados e discussão

Percepção do docente

Como mencionado, o acompanhamento dos exercícios práticos do curso foi realizado em computadores pessoais (notebooks) sem a utilização de laboratórios ou infraestrutura institucional. Tal contexto trouxe como principais vantagens, a possibilidade de acompanhamento e desenvolvimento dos exercícios obrigatórios (e complemen-

tares) além da sala de aula, a partir de reprodução e complementação das atividades realizadas em sala.

Foram observados, entretanto, alguns problemas com a adoção de tal prática. Primeiramente, nem todos os alunos matriculados possuíam computadores pessoais com capacidade de processamento compatível com o uso proposto. Neste caso foi permitido aos alunos se organizarem em grupos de modo a acompanhar os exercícios em sala e incentivado a utilização posterior em casa ou nos laboratórios de informática da instituição em desktops fixos.

O uso de computadores pessoais em sala também trouxe problemas técnicos em relação ao desempenho dos sistemas utilizados (tanto em relação à configuração de hardware como em relação à diversidade de sistemas operacionais utilizados). Foram observados, em diversas ocasiões, problemas de congelamento e súbita parada, tanto durante a instalação do QGIS quanto em aplicações específicas do programa, prejudicando consideravelmente o andamento normal dos exercícios.

A participação e nível de atenção dos estudantes nesta experiência foi considerada satisfatória, permitindo que a dinâmica proposta tenha sido seguida e, salvo algumas exceções, foi possível a todos os alunos (individualmente ou em grupo) acompanhar as atividades práticas dentro do esperado. Especificamente no trabalho final, em que diversos conceitos abordados no módulo teórico da disciplina foram exigidos, o desempenho dos alunos foi particularmente expressivo, comprovando o nível adequado de absorção dos estudantes tanto no que se refere à elementos conceituais teóricos quanto em relação ao ferramental prático de uso do QGIS.

Percepção do estudante

Foi testada a utilização do software Quantum GIS (versão 2.6.1 'Brighton') para a aplicação das aulas práticas da disciplina Introdução ao Geoprocessamento. Este foi escolhido devido a sua suposta facilidade de acesso e por ser aparentemente um exemplo de boa aceitação dentre os softwares existentes de aplicações em SIG. Para verificação de sua aceitação, buscou-se conhecer a percepção dos discentes e se constatou que a percepção foi boa com resultados positivos.

Após a aplicação da pesquisa, dos 93 questionários enviados aos alunos, 49,46% destes foram respondidos, sendo que 38% das respostas correspondiam aos alunos do período matutino e 62% do período noturno.

A distribuição de frequência das respostas dos alunos, correspondentes às questões 1, 2, 3 e 4, estão dispostas na Tabela 1. A primeira questão do questionário se referia à utilização do software Quantum GIS anteriormente à disciplina de Introdução ao Geoprocessamento. Das respostas obtidas, 91% não haviam utilizado ainda e 9% já o haviam utilizado.

Tabela 1
Distribuição de frequência de alunos de acordo com sua percepção sobre o uso do Sistema QGIS, março de 2014

	<i>Frequência (%)</i>			
	<i>Não</i>	<i>Sim</i>	<i>Talvez</i>	<i>Indiferente</i>
Utilização do Quantum GIS antes da disciplina	91	9		
Utilização de outro SIG antes da disciplina	87	13		
Gostaram do uso do QGIS na disciplina	0	89		11
Intenção de continuidade no uso do QGIS	9	41	50	

A segunda questão referia-se a utilização de outros SIGs para Geoprocessamento. Resultou que 87% declararam que nunca utilizaram outro SIG. Os demais 13% já haviam utilizado outros SIGs como ArcGis, DIVA-GIS e Google Earth.

A terceira questão era sobre a opinião do aluno sobre o uso do QGIS na disciplina. Obteve-se que 89% gostaram e 11% foram indiferentes. Para aqueles que gostaram foram encontradas respostas abertas como: a) ser de grande utilidade para seus estudos e formação acadêmica; b) familiarização com o sistema; c) diversidade de integração de dados e sua visualização; d) facilidade no manuseio e utilização das ferramentas; e) trouxe a percepção da formulação de mapas e entendimento da aplicação prática do Geoprocessamento; f) pela possibilidade de interação na utilização em diversas áreas de conhecimento e estudo de caso, cruzamento de dados (oriundos de banco de dados como por exemplo os do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária —INCRA e o Instituto Socioambiental —ISA) para criação de diversos tipos de mapas, melhorar o entendimento e visualização na delimitação de uma área de estudo, realizar o zoneamento de uma área, aumentando assim maior número de teses e análises; j) pelo cruzamento de dados qualitativos e quantitativos em uma mesma imagem; l) gostaram muito da parte prática (cerca de 6,52%); m) 11% ressaltaram e sugeriram dedicação de maior tempo e disposição voltadas às aulas práticas, mesmo sendo conciliada com as aulas teóricas; n) outros enfatizaram a importância de seu aprendizado na disciplina de Geoprocessamento e até fizeram a utilização do QGIS na elaboração de mapas para trabalhos de outras disciplinas; o) alguns gostaram por ser um software open source e ser gratuito, pois isso aumenta a possibilidade de utilização em diversos locais evitando assim problemas com licenças que são requeridas por softwares proprietários, além de ser um grande avanço para a liberdade de informações; p) devido à similaridade das ferramentas e funções do QGIS com o ArcGIS, atendendo as expectativas quanto ao seu uso e; q) pela descoberta sobre a relevância do conhecimento da disciplina na vida profissional, constatada por meio da troca de experiências com egressos do curso de Gestão Ambiental.

Já para os que foram indiferentes (11%), as respostas foram: a) embora considerassem a proposta da disciplina interessante, ficaram indiferentes devido ao pouco tempo que destinaram às aulas práticas, pouca disponibilização de infraestrutura de laboratórios com computadores, os quais estivessem com os softwares instalados para a utilização prática; b) não ser da área de interesse (possivelmente o principal motivo); c) grande carga de conteúdo teórico impossibilitou um aperfeiçoamento adequado; d) existência de outros meios mais práticos e, e) por utilizarem outro software.

A quarta questão abordou sobre a intenção na continuidade da utilização do QGIS em outros trabalhos/atividades. Dentre os alunos, 50% declarou que talvez continuem a utilizar. Já 41% tem intenções de continuar usando o QGIS e 9% não.

A seguir, a Figura 2 mostra o gráfico referente a quinta questão, que abordou a característica idade do aluno entrevistado. A idade entre os alunos foi variável dentro da faixa etária de 19 a 63 anos, com predominância para alunos entre 19 a 21 anos, dos quais os alunos dessa faixa etária correspondem a cerca de 70% e as demais idades somam 30%.

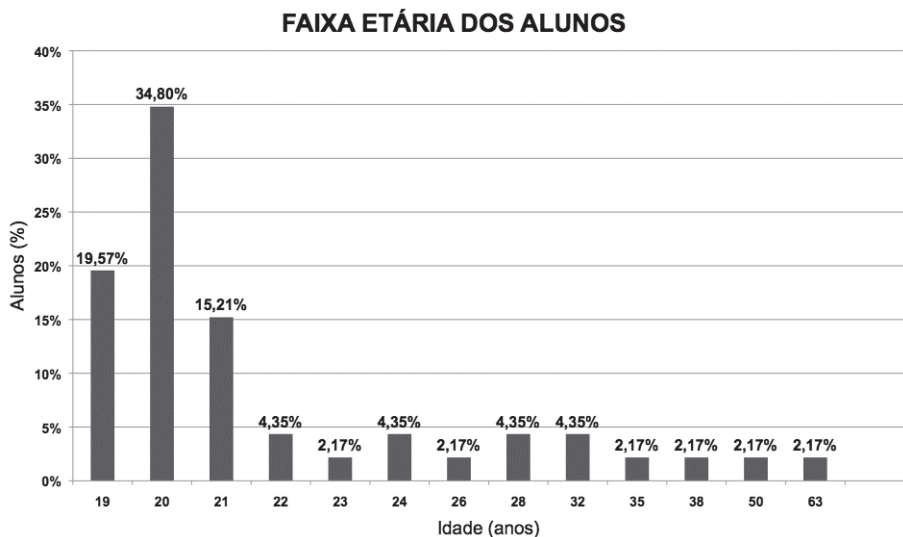


Figura 2. Distribuição de frequência dos alunos da disciplina ACH1084 de acordo com sua faixa etária, 2014.

A sexta questão era referente ao sexo do aluno, para caracterizar a amostra. Do total de entrevistados 63% eram do sexo feminino e 37% eram do sexo masculino.

Para o aprendizado prático foram destinadas duas perguntas, a sétima e oitava questão. A distribuição de frequência das mesmas está disponibilizada na tabela 2. A sétima questão levantou se durante o curso o aluno: a) instalou e utilizou o QGIS em

um computador que tem acesso (em casa/trabalho); b) instalou, mas não utilizou e c) não instalou e somente acompanhou em sala de aula ou no computador do grupo do trabalho. Obteve-se respectivamente, para a opção a) 70%, b) 2% e c) 28%.

Tabela 2
Distribuição de frequência de alunos que instalaram o QGIS
para realização do trabalho, março de 2014

	<i>Frequência (%)</i>
Instalou e utilizou o QGIS em um computador que possui acesso	70
Instalou o QGIS, mas não utilizou	2
Não instalou o QGIS	28

A oitava questão foi sobre a preferência e aprendizado com trabalho prático de geoprocessamento (Tabela 3). Se o aluno preferia realizá-lo individualmente, em duplas ou grupo de 5 a 6 pessoas. O resultado obtido para os que preferiam realizar individualmente foi de 17%. Para a realização em duplas foi de 70% e em grupo de 5 a 6 alunos foi de 13%. Este resultado foi inesperado, pois, em várias disciplinas do curso os alunos estão acostumados a realizar trabalhos em grupos de 6 alunos. Pelos dados obtidos não foi possível identificar o motivo desta preferência. Esta questão pode e deve ser melhor estudada em outras pesquisas com os alunos desta e de outras disciplinas do curso.

Tabela 3
Distribuição de frequência de alunos em relação a sua preferência quanto
ao número de alunos para a realização do trabalho prático com QGIS, março de 2014

	<i>Frequência (%)</i>
Preferência para realizá-lo individualmente	17
Preferência para realizá-lo em duplas	70
Preferência para realizá-lo em grupo de 5 a 6 pessoas	13

A nona questão abordou se o aluno estava em um grupo que ficou em recuperação ou se o grupo havia sido aprovado direto. Dos questionários respondidos todos eram de grupos que foram aprovados direto ou seja 100%. No entanto, vale ressaltar que apenas 1 grupo, entre todos os grupos da disciplina, não passou direto, tendo ficado em recuperação e nenhum destes alunos responderam ao questionário.

A décima questão foi destinada à opinião do aluno sobre a sua experiência com a utilização do QGIS. Esta questão era aberta e livre, não sendo obrigatório o envio de resposta. Dentre os 46 respondidos, 39% enviaram resposta para esta questão.

Das respostas obtidas para a décima questão, ocorreram respostas positivas como: uma boa experiência, pois foi uma ferramenta de fácil manuseio e utilização; importante para sua formação acadêmica e profissional; pretendem continuar a estudá-lo e utilizá-lo; uma boa experiência, pois são raras as disciplinas que possuem aulas práticas no uso de ferramentas como a utilizada em questão; boa, pois foi possível ter noção da utilização do software; a apostila elaborada pelo Professor foi extremamente importante para eficiência no aprendizado das ferramentas do QGIS, foi instrutiva e de fácil entendimento, sem esta, o tempo perdido para o aprendizado seria maior; experiência muito boa e interessante.

Já as respostas negativas foram: embora haja facilidade no manuseio diante ao contexto apresentado, o programa apresenta algumas limitações que atrapalham na fluidez do trabalho, mas nada muito crítico; outra limitação em função do pouco tempo para o aprendizado, foi em relação a algumas diferenças entre versões do QGIS instalados em diferentes sistemas operacionais (Windows, Apple, Linux).

Algumas sugestões para o aprimoramento da disciplina no futuro foram identificadas nos questionários. Por exemplo, conciliar melhor a parte da fundamentação teórica com a parte prática. Alguns sugeriram 50% de cada e outros uma porcentagem maior de aulas práticas com o QGIS. Houve uma sugestão de disponibilização de cursos (extensão universitária) de verão/inverno com mais aulas práticas para auxiliar o aluno no aprendizado do QGIS e, também, o oferecimento de disciplinas extracurriculares, devido à importância do conhecimento de softwares SIG para a área de atuação do Gestor Ambiental.

Foi possível detectar que a maioria dos alunos gostou e teve uma boa experiência, mas o tempo para o aprendizado prático foi curto. Apesar da parte teórica ser de grande importância para a compreensão e utilização do sistema, sendo possível, sugerem maior carga horária prática, desde o início da disciplina, pois possibilitaria maior aprofundamento na utilização do QGIS e na elaboração de mapas, visto que há carências nesse sentido. Ao adquirir aprofundamento dessa habilidade seria muito útil em outras disciplinas, nos trabalhos, seminários e estudos como as pesquisas acadêmicas a serem realizadas e assim permitir melhorias na qualidade dos mesmos.

Conclusões

Nas condições em que foi realizado este trabalho, foi possível responder às perguntas de pesquisa e atingir os objetivos propostos.

Sim, o software livre QGIS funcionou bem para o ensino de Geoprocessamento.

O professor e os alunos tiveram uma boa experiência com o QGIS, que se mostrou de fácil aprendizado e utilização.

Este estudo mostrou que há um grande potencial de uso e aplicação do software livre QGIS para ensino de Geoprocessamento em cursos de graduação, neste caso, na

disciplina Introdução ao Geoprocessamento do curso de Bacharelado em Gestão Ambiental, da Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo, visto sua acessibilidade, facilidade no manuseio e utilização, possibilidade de integração de dados e interação interdisciplinar.

Foi possível concluir que a percepção dos alunos e do docente foi muito positiva, pois, 91% dos alunos não conheciam o software antes da disciplina e 89% destes gostaram de utilizá-lo, além do que 41% dos alunos pretendem utilizá-lo no futuro.

Concluiu-se que o QGIS é de fácil instalação, pois, 70% dos alunos instalaram o software em algum computador que eles tinham acesso para a realização do trabalho. Constatou-se que nem todos os alunos matriculados possuíam computadores pessoais com capacidade de processamento compatível com o uso proposto. Acredita-se que os alunos que não instalaram o software não o fizeram por algum motivo técnico ou pessoal, como não ter um computador disponível ou mesmo por não se interessar. Isso é algo que pode ser melhor estudado numa próxima pesquisa.

Concluiu-se que a preferência dos alunos (70%) é para a realização dos trabalhos práticos em duplas. Apenas 13% preferem trabalhos em grupos de 5 ou 6 pessoas, que é uma quantidade de alunos por grupo muito frequente nas diversas disciplinas do curso. Este fato foi surpreendente. Possivelmente fazer o trabalho em duplas talvez dê mais protagonismo ao aluno na realização do trabalho, na execução das tarefas e no aprendizado do software e dos conteúdos. No entanto, é preciso estudar melhor esta questão.

Concluiu-se que a experiência com o QGIS possibilitou a percepção de elaboração de mapas e entendimento da aplicação prática do Geoprocessamento e possibilitou a interação com diversas áreas de conhecimento, em estudos de caso e cruzamento de dados para criação de diversos tipos de mapas. Didaticamente muito interessante.

Constatou-se que a disciplina pode ser ministrada sem a necessidade de infraestrutura de laboratório de informática e com software livre, se os alunos se encarregarem de providenciar computadores a que têm acesso para realização das práticas, bem como acesso à Internet. Desta forma a falta de infraestrutura de informática deixa de ser um impedimento e pode se tornar um modelo de difusão de conhecimentos em situações de carência institucional, ainda que seja muito recomendado que a universidade disponibilize laboratórios bem equipados para as aulas. Vale lembrar que há alunos que não possuem computadores pessoais e isso não pode ser negligenciado.

A experiência mostrou que as Infraestruturas de Dados Espaciais (IDE) tem e terão um papel fundamental na disponibilização de dados espaciais, não só para uso didático e acadêmico, mas sim para uso profissional dos futuros Gestores Ambientais e outros profissionais mais. Os alunos não tiveram grandes dificuldades de encontrar e baixar dados geográficos em formato vetorial e raster, bem como MDT para a realização dos exercícios práticos disponíveis na Internet em sites ou Geoportais de instituições públicas de governo, de ensino e de pesquisa.

Finalmente, a grande maioria dos alunos gostou e teve uma boa experiência, mas o tempo para o aprendizado prático foi considerado curto. Também foi apontado por alguns alunos a necessidade de melhor equilibrar a quantidade de horas entre teoria e prática, bem como a necessidade de aumentar a quantidade de horas de aulas prática de alguma forma, o que denota uma necessidade de melhor estudar esta questão.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Pró-Reitoria de Graduação da Universidade de São Paulo pela concessão de uma bolsa de estudos no âmbito do Programa Ensinar com Pesquisa; ao Laboratório de Computação Geoespacial (LaCoGeo) da EACH/USP pela disponibilização de suas instalações e ao Grupo de Estudos e Pesquisas em Infraestrutura de Dados Espaciais (GEPIDE) pela colaboração.

Bibliografia

- Almeida, A.D.B.F.C. de e Morgado, A.V.F. (2007). “Implementação de um algoritmo computacional em código aberto para manipulação da base cartográfica Nacional”, Ministério da Defesa Exército Brasileiro, Departamento de Ciência e Tecnologia, Instituto Militar de Engenharia, Curso de Graduação em Engenharia Cartográfica, Rio de Janeiro, 50 pp.
- Almeida, L.C. (2011). “Análise espacial de dados com o Quantum Gis: exercícios realizados durante tópico especial ofertado pelo programa de Pós-Graduação em Geografia da UFSC”, *Observatorium*, 3:173-194.
- Alves, J. da S. (2011). “Software GIS Livre e o ensino-aprendizagem da geografia”. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia), Universidade Estadual da Paraíba, Guarabira, 50 pp.
- Aronoff, S. (1989). *Geographical Information Systems: a management perspective*, WDI Publications, Ottawa, 294 pp.
- Câmara, G.; Davis, C. e Monteiro, A.M.V. (2001). “Introdução à ciência da geoinformação”, *INPE*, São José dos Campos, SP, 13:345.
- Censipam (s/d). “Quantum GIS 1.4.0 - Guia do Usuário: Versão 1.4.0 Enceladus”, Tradução do Centro Gestor e Operacional do Sistema de Proteção da Amazônia, s/d.
- Damasio, E. e Ribeiro, C.E.N. (2006). “Software livre para bibliotecas, sua importância e utilização: o caso GNUTECA Free software for libraries, its importance and use: the gnuteca case”, *RDBCI*, Campinas, SP, 4(1):70-86.
- Fitz, P.R. (2008). *Geoprocessamento sem complicação*, Oficina de Textos, São Paulo, 160 pp.
- Fonseca Filho, H.; Leite, B.P.; Pompermayer, G.A.; Werneck, M.G.; Levy, W. (2013). “Teaching VGI as a strategy to promote the production of urban digital

- cartographic databases”, in Joint Urban Remote Sensing Event 2013, *JURSE 2013*, São Paulo, 856:222-225.
- Gonzalez, M.E.; Fonseca Filho, H.; Bernabé-Poveda, M.Á. (2012) “Educación y formación en el contexto de las IDE”, in Bernabé-Poveda, M.Á.; López-Vazquez, C.M. (ed.), *Fundamentos de las infraestructuras de datos espaciales (IDE)*, 1 ed. Madrid, UPM Press, cap. 34, pp. 435-442.
- Guesser, A.H. (2005). “Software livre e controvérsias tecnocientíficas: uma análise sociotécnica no Brasil e em Portugal”, Dissertação de Mestrado em Sociologia Política Santa Catarina, Florianópolis, 183 pp.
- Karssenbergh, D.; Burrough, P.A.; Sluiter, R. & de Jong, K. (2001). “The PCRaster software and course materials for teaching numerical modelling in the environmental sciences”, *Transactions in GIS*, 5(2):99-110.
- Kemp, K.K., Goodchild, M.F. & Dodson, R.F. (1992). “Teaching GIS in Geography”, *The Professional Geographer*, 44(2):181-191.
- Krasilchik, M. & Araujo, U.F. (2010). “Novos caminhos para a educação básica e superior”, *ComCiência*, Campinas, n. 115, 2010. Disponível em <http://comciencia.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1519-76542010000100007&lng=es&nrm=iso>, acesso em: 09 de fevereiro de 2017.
- Lee, J. & Bednarz, R. (2009). “Effect of GIS learning on spatial thinking”, *Journal of Geography in Higher Education*, 33(2):183-198.
- Levy, S. (1994). *Hackers: Heroes of the Computer Revolution*. Dell Publishing, New York, 455 pp.
- Longley, P.A.; Goodchild, M.F.; Maguire, D.J. & Rhind, D.W. (2013). *Sistemas e ciência da informação geográfica*, Porto Alegre, Bookman, 3a. ed., 540 pp.
- Maguire, D.J. (1991). “An overview and definition of GIS”, *Geographical Information Systems: principles and applications*, vol. 1, pp. 9-20.
- Manghi, G.; Cavallini, P. & Neves, V. (2011). “Quantum GIS: Um desktop potente e amigável”, *Revista FOSSGIS Brasil*, 1(2):10-15.
- Mayo, P.; Donnelly, M.B., Nash, P.P. & Schwartz R.W. (1993). “Student perceptions of tutor effectiveness in a problem-based surgery clerkship”, *Teaching and Learning in Medicine*, An International Journal, 5(4):227-233.
- McClurg, P.A. & Buss, A. (2007). “Professional development: Teachers use of GIS to enhance student learning”, *Journal of Geography*, 106(2):79-87.
- Neto, J.A.B.; Carneiro, A.F.T. (2010). “Análise e aplicação de softwares livres na estruturação de cadastros territoriais urbanos”. *CONIC*, CTG – UFPE, 4 pp.
- Oliani, L.O.; Paiva, C. & Antunes, A.F.B. (2012). “Utilização de Softwares Livres de Geoprocessamento para Gestão Urbana em Municípios de Pequeno e Médio Porte”, Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Recife *Anais eletrônico*. Recife, 8 f., disponível em

- <https://www.ufpe.br/cgtg/SIMGEOIV/CD/artigos/Todos_Artigos/058_1.pdf>, acesso em 9 de fevereiro de 2015.
- Pejović, M.; Gospavić, Z.; Milovanović, B. & Arsić, I. (2014). “Solving a surveying problem by using R and QGIS - Setting out of a land expropriation zone”, *Genouka*, 2(2):12-18.
- QGIS, Quantum GIS. Versão QGIS 2.6.1 ‘Brighton’, disponível em: <http://www2.qgis.org/pt_BR/site/about/index.html>, acesso em: 05 de outubro de 2014.
- Ramos, J.B.; Fonseca Filho, H.; Freire, M.V. & Peres, S.M. (2010). “Experiências na área de engenharias e ciências aplicadas”, *ComCiência*, Campinas, n. 115, Disponível em: <http://comciencia.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1519-76542010000100010&lng=en&nrm=iso>, acesso em: 09 de fevereiro de 2017.
- Reis, C.R. (2003). “Caracterização de um processo de software para projetos de software livre, 2003”, Dissertação de Mestrado em Engenharia de Software, Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo, São Carlos, ICMC/USP, 247 pp.
- Rocha, C.H.B. (2000). *Geoprocessamento: tecnologia transdisciplinar*, Minas Gerais: editora do autor, 220 pp.
- Silva, Jr. (s/d.). “Tutorial Básico em Sistemas de Informação Geográfica para o Quantum Gis: Versão 0.8.1 ‘Titan’”.
- Silva, A.C.C.; Fracaro, C.; Carvalho, L.H.W.; Camilo, N. C.; Oliveira, T.R.; Ronconi, T.A.; González, R.H.A.; Mariani, L. (2011). “Diagnóstico Ambiental e Delimitação de Áreas de Preservação Permanente – APPs da Microbacia do Arroio Califórnia – Foz do Iguaçu/PR, com a Utilização do Software de Geoprocessamento gvSIG”, *Jornada Latinoamericana e do Caribe do gvSIG*, 3., 2011, Foz do Iguaçu.
- Silva, J.X. (2012). “Uma Posição Crítica e Atuante para a Geografia an Active and Questioning Position in Geography”, *Espaço Aberto*, Rio de Janeiro, PPGG-UFRJ, 2(1):17-26.
- Silva, J.X. da & Zaidan, R.T. (2004). *Geoprocessamento e análise ambiental: aplicações*, Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 368 pp.
- Stallman, R. (2009). “Viewpoint Why open source misses the point of free software”, *Communications of the ACM*, 52(6):31-33.
- Walsh, S.J. (1992). “Spatial education and integrated hands-on training: Essential foundations of GIS instruction”, *Journal of Geography*, 91(2):54-61.
- Wing, M.G.; Bettinger, P. (2003). “GIS: An updated primer on a powerful management tool”, *Journal of forestry*, Bethesda, 101(4):4-8.

Deforestation in the Kayabi Indigenous Territory: Simulating and Predicting Land Use and Land Cover Change in the Brazilian Amazon

Hugo de Alba Martínez*

Recibido el 06 de febrero de 2016; aceptado el 24 de febrero de 2017

Resumen

Las prácticas de cambio en la cobertura y uso de suelo como la cría de ganado, tala de árboles, agricultura, minería y urbanización son los mayores contribuyentes de la deforestación en el Amazonas, generando gran impacto tanto en los ecosistemas como en los procesos ambientales a diversas escalas, tales como la fragmentación y degradación del suelo, pérdida de biodiversidad y alteración en la composición atmosférica y cambio climático.

Utilizando SIG, teledetección y el *Land Change Modeler* de IDRISI se simuló el paisaje futuro del territorio indígena Kayabi en el Amazonas brasileño. El modelo fue capaz de simular exitosamente la expansión de la deforestación en la región así como el identificar los principales atributos del paisaje que facilitan la expansión de perturbaciones antropogénicas.

Palabras clave: *Amazonas brasileño, SIG, deforestación, cambio de uso y cobertura del suelo, sensores remotos, predicción, tierra indígena, Kayabi.*

Resumo

As práticas de mudanças na cobertura e uso do solo como a criação de gado, corte de árvores, agricultura, mineração e urbanização são os maiores fatores do desmatamento na Amazônia, gerando grande impacto tanto nos ecossistemas como nos processos ambientais nas diversas escalas, tais como a fragmentação e degradação do solo, perda de biodiversidade, alteração na composição atmosférica e mudança climática.

* Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente, Periférico Sur Manuel Gómez Morín 8585, C.P. 45604, Tlaquepaque, Jalisco, México, correo electrónico: hdealba@iteso.mx

Utilizando-se Sistema de Informação Geográfica (SIG), sensoriamento remoto e o ‘*Land Change Modeler*’ da IDRISI se simulou a paisagem futura do território indígena Kayabi na Amazônia Brasileira. O modelo foi capaz de simular com êxito a expansão do desmatamento na região assim como identificar os principais atributos da paisagem que facilitam a expansão de perturbações antropogênicas.

Palavras chave: *Amazônia brasileira, SIG, desmatamento, mudança de uso e cobertura do solo, sensores remotos, predição, terra indígena, Kayabi.*

Abstract

Land use/cover change practices in the Brazilian Amazon, such as cattle ranching, logging, agriculture, mining, and urbanization are the major contributors to deforestation and have major impacts on ecosystems and environmental processes at local, regional and global scales. A simulation of future landscape in the Kayabi Indigenous Territory in the Brazilian Amazon was carried out using Geographic Information Systems (GIS), Remote Sensing and the IDRISI’s Land Change Modeler. The model was able to successfully simulate deforestation expansion in the region and identify the main landscape attributes driving anthropogenic disturbance expansion in the studied area. Distance from roads and distance from existing disturbance were found as the key factors driving deforestation in the Kayabi area.

Key words: *Brazilian Amazon, GIS, LUCC, deforestation, remote sensing, prediction, Indigenous Land, Kayabi.*

Introduction

During 2007, over 80% of both current clearing and cumulative clearing has been concentrated in a band along the eastern and southern edges of the forest, this band is called the ‘arc of deforestation’ (Fearnside, 2007), see Figure 1. However, in addition to the overall deforestation expansion, smaller clearings that are located far from existing frontier, play a more importance role in the process than their area would suggest. These new areas serve as seeds for a more intense clearing activity in the future.

According to Asner *et al.*, 2004 (Asner, Keller, Pereira, Zweede and Silva, 2004), the process of Land use/cover change (LUCC) is bringing a fast deforestation processes; the most common LUCC practices in the Brazilian Amazon include cattle ranching, logging, agriculture, mining, and urbanization.

LUCC practices have significant impacts that affect ecosystems and environmental processes at local, regional and global scales. Such effects include land fragmentation and degradation, biodiversity loss, alteration in atmospheric composition and climate change (Vitousek *et al.*, 1997).

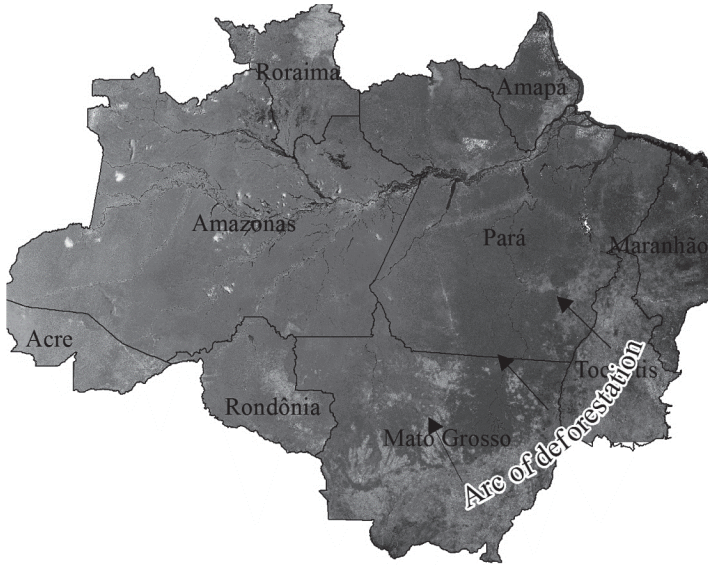


Figure 1. Arc of deforestation' in Legal Amazon.



Figure 2. Location of Kayabi Territory.

Indigenous lands and different categories of parks and reserves located at the edge of the 'arc of deforestation' serve as a primary defence against deforestation. This is the case of the Kayabi Indigenous Territory located in the states of Mato Grosso and Para, in the Brazilian Amazon. However, since 2000 anthropogenic processes have critically speeded deforestation in the Kayabi Territory. This paper aims to understand the determinants of LUCC by using a modelling approach.

In order to develop sustainable environmental management policies and adequate land use planning in the Kayabi Territory, it is vital to understand the determinants of LUCC. In this context, modelling provides insight into the land use change dynamics and its driving factors (Ademola and Takashi, 2007). In addition, models not only help to improve the understanding of these changes, but also allow us to quantitatively predict where future change might happen. For these reasons models are a very important tool to monitor and ultimately protect the forest from further deforestation.

This paper aims to investigate the deforestation process through modelling and predicting future land change for the Kayabi Indigenous Territory.

Modelling LUCC in the Kayabi Indigenous Territory

A model can be defined as a simplified representation of a phenomenon or a system (Chang, 2010). LUCC models are used to study and predict the future states of land use patterns taking into account various biophysical and socio-economic factors. Laurance *et al.* (2002) have assessed the effects of biophysical and anthropogenic predictors on deforestation at the Brazilian Amazon. According to their research, three types of mayor potential predictors were identified: human demographic factors (rural-population density, urban-population size), factors that affect physical accessibility to forests (linear distances to the nearest paved highway, unpaved road and navigable river) and factors that may affect land use suitability for human occupation and agriculture (annual rainfall, dry season severity, soil fertility, soil water logging, soil depth).

Future landscape prediction was developed using different GIS and IDRISI's Land Change Modeler and followed five sequential steps, presented as follows.

- i. Creation of forest land cover maps from 2000, 2006 and 2009 derived from remotely sensed data;
- ii. Land-change cover analysis by cross-tabulating forest land cover maps;
- ii. Calculation of transition potentials from forest to anthropogenic disturbance using a MLP neural network methodology;
- iv. Assessment of the model performance by predicting a 2009 land cover and comparing it with an actual 2009 land cover map; and
- v. Predicting a 2020 land cover.

Each of these steps will be presented as follow.

Creation of land cover maps derived from remotely sensed data

CLASlite software was utilized to create cover maps for each image shown in Table 1, followed by a supervised classification using ENVI software to create 2 class land cover maps for the years 2000, 2006 and 2009 (forest and anthropogenic disturbance). The result of the classification was a 2 class map: Forest and Anthropogenic Disturbance for each of the analyzed years (see Figure 3).

The land change analysis was based on two multi-temporal land cover maps derived from a 2000 Landsat ETM+, a 2006 Landsat TM, a third land cover map, for the purpose validation of the model, was derived from two 2009 SPOT 5 images (see details in Table 1).

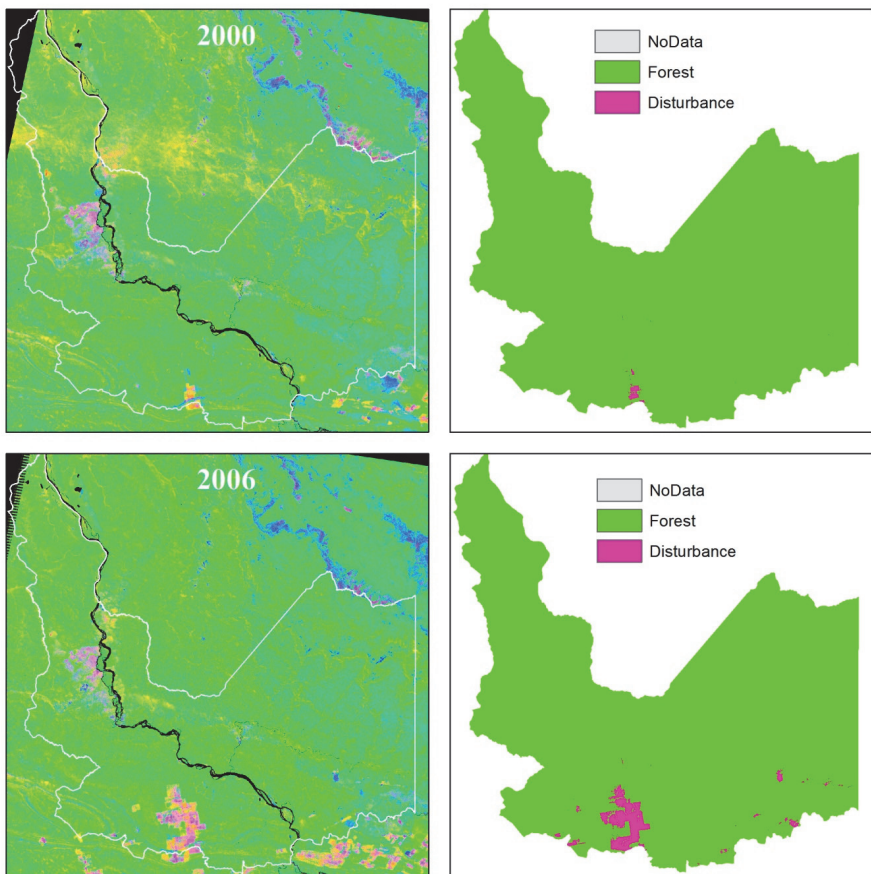


Figure 3. Resulting classification of CLASlite's fractional cover maps.

Table 1
Characteristics of used satellite data

<i>Sensor</i>	<i>Spectral Bands</i>	<i>Spectral resolution</i>	<i>Ground pixel Size</i>	<i>Acquisition date</i>	<i>Scene ID</i>
Landsat ETM+	B1: Blue	0.45-0.515 μm	30 m	31/05/2000	Path/Row: 245/66
	B2: Green	0.525-0.605 μm	30 m		
	B3: Red	0.63-0.69 μm	30 m		
	B4: Near-infrared	0.75-0.90 μm	30 m		
	B5: SWIR	1.55-1.75 μm	30 m		
	B6: Thermal-infrared	10.4-12.5 μm	60 m		
	B7: Mid-Infrared	2.09-2.35 μm	30 m		
	P: Panchromatic	0.52-0.9 μm	15 m		
Landsat TM	B1: Blue	0.45-0.52 μm	30 m	25/06/2006	Path/Row: 245/66
	B2: Green	0.52-0.6 μm	30 m		
	B3: Red	0.63-0.69 μm	30 m		
	B4: Near-infrared	0.76-0.9 μm	30 m		
	B5: SWIR	1.55-1.75 μm	30 m		
	B6: Thermal-infrared	10.4-12.5 μm	120 m		
	B7: Mid-Infrared	2.08-2.35 μm	30 m		
SPOT 5	B1: Blue	0.50-0.59 μm	10 m	29/05/2009	5682369090529142034 2U
	B2: Green	0.61-0.68 μm	10 m	12/09/2009	5694363090812133852 2U
	B3: Near-infrared	0.78-0.89 μm	10 m		
	B4: SWIR	1.58-1.75 μm	10 m		

Land Change Cover Analysis by cross-tabulating forest land cover maps

Change from forest class to disturbance between 2000 and 2006 was assessed by using Change Analysis Tab in LCM. LCM analyses each pixel in the earlier land cover map for a transition to a different class in the later land cover image. Since there are only two land cover classes, there are four possible outcomes for each pixel (see Figure 4):

- Case 1. Forest with no change (Forest persistence)
- Case 2. Forest transition to Disturbance (Forest-Disturbance)
- Case 3. Vegetation Re-growth (Disturbance-Forest)
- Case 4. Disturbed area with no change. (Disturbance persistence)

A 3rd order polynomial trend surface was created using LCM to aid interpretation. Spatial trend analysis is an effective way of visualizing the general trend of change based on the observed change between two land cover maps and, as can be seen in Figure 5, makes evident change from forest to disturbance is concentrated in the south part of the image which is consistent with the deforestation tendency observed on the ‘arc of deforestation’.

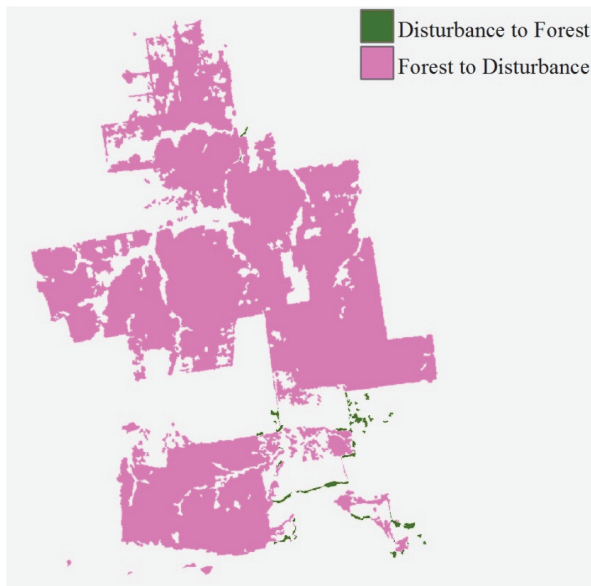


Figure 4. Class transitions calculated by LCM.¹

¹ Transitions less than 500 hectares were ignored in the model as they are likely to be a map error in image co registration.

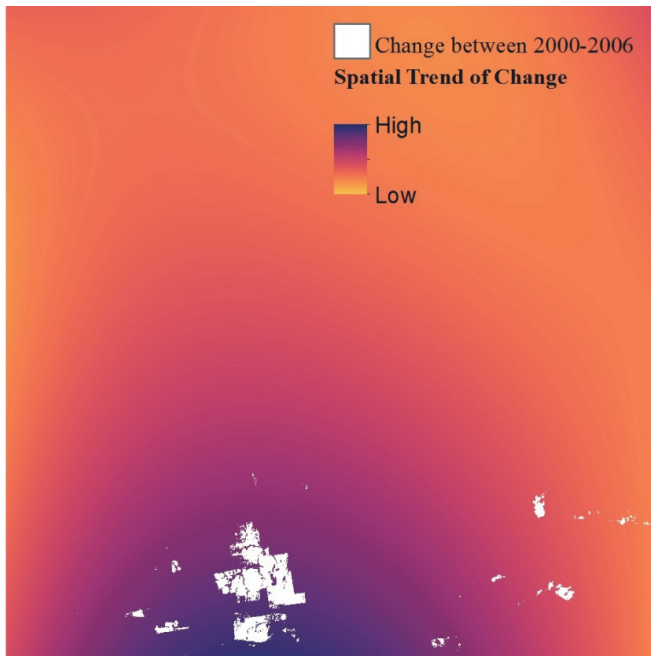


Figure 5. Spatial trend of change.

Calculation of transition potentials using a MLP neural network methodology

Transition potentials are expressed as the likelihood of one land cover category to another (Paegelow and Camacho Olmedo, 2008). In this case, only transition from forest to anthropogenic disturbance was modelled. A MLP Neural Network approach was used to create transition potential maps. Five factors were identified as major driving forces of change (see Table 1) and were assessed for correlation to deforestation.

Table 2
Explanatory variables in transition sub-model structure

<i>Explanatory Variable</i>	<i>Type</i>
Distance from roads	Dynamic
Distance from disturbance	Dynamic
Terrain (DEM)	Static
Distance from streams	Static
Slope	Static

LCM's Test and Selection of site and driver variable module was used to test the potential power of explanatory variables (see Table 3). Only variables with values higher than 0.45 (strong association with change) were kept in the sub-model structure.

Table 3
Cramer's V Test for explanatory variables

<i>Explanatory Variable</i>	<i>Cramer's V</i>
Distance from roads	0.4730
Distance from disturbance	0.4572
Terrain	0.1114
Distance from streams	0.0493
Slope	0.0233

The transition potential from forest to disturbance was modelled using the MLP neural network methodology. The LMC sub model was used to create the transition potential map (MLP achieved an accuracy rate of 94.56 % and a RMS value of 0.20). The outcome of the model is a transition potential map for transition from forest to disturbance (see Figure 6). Each pixel on this map contains the probability value (from 0 to 1) of changing from forest to anthropogenic disturbance.

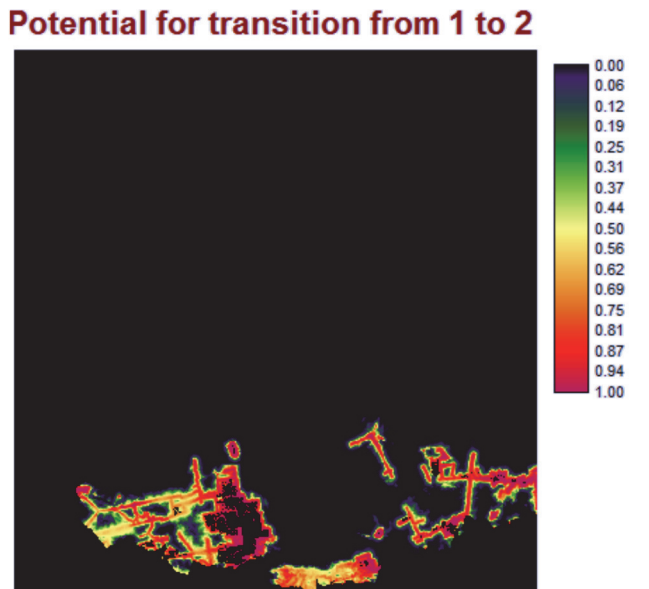


Figure 6. Transition potential from forest to anthropogenic disturbance.

Assessment of the model performance by predicting a 2009 land cover and comparing it with an actual 2009 land cover map

Markov chain analysis was used to predict the quantity of change in 2009 and then compare to an actual 2009 land cover map. LCM provides two basic models of prediction: a hard prediction model and a soft prediction model.

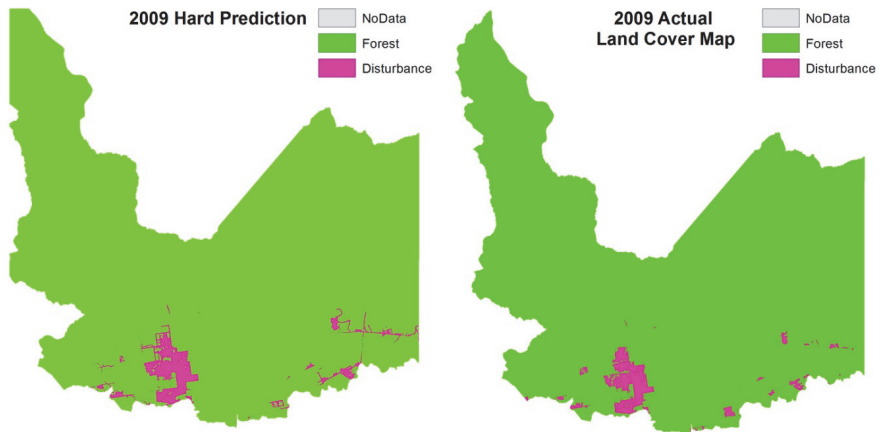


Figure 7. Hard prediction of Kayabi forest condition in 2009 and actual 2009 land cover map.

Figure 7 shows two disagreements in the prediction are either concerned with quantity or with location of change. The assessment of the hard prediction was carried out with the LCM Validate function (see the resulting map in Figure 8 and output of function in Figure 9).

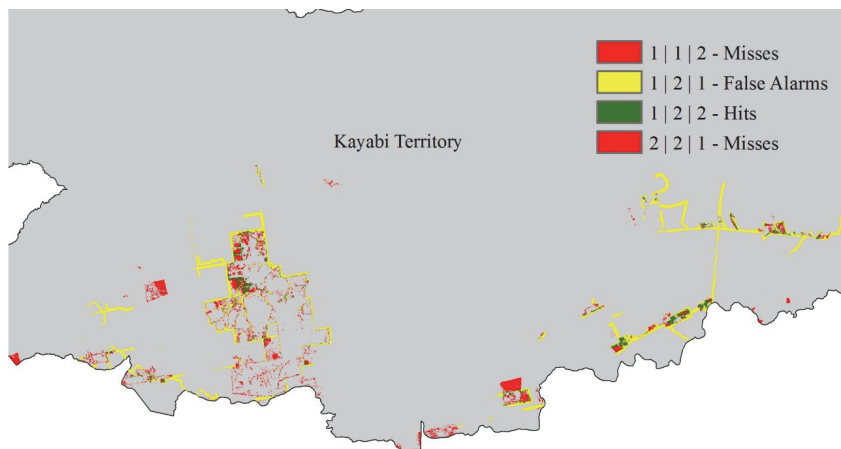


Figure 8. Validation map: hits, false alarms and misses.

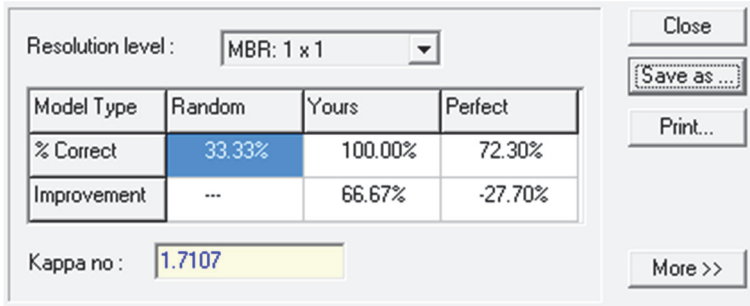


Figure 9. Validation results.

As the hard prediction is a single realization of a future scenario chosen from many equally plausible scenarios (Eastman, 2009), it is very difficult to achieve an accurate hard prediction. The soft prediction identifies vulnerability to change, and thus provide a more meaningful map (see Figure 10).

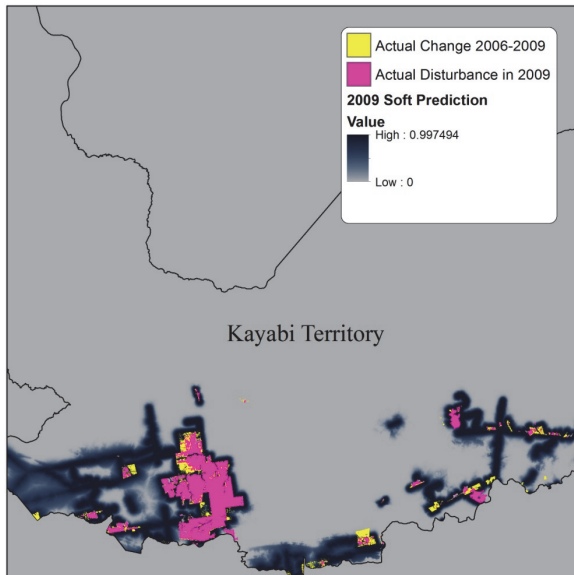


Figure 10. 2009 Soft prediction.

A quantitative assessment of the soft prediction was carried out using receiver operating characteristic (ROC) statistics. The ROC is able to compare a map of actual change to maps of modeled suitability for land-cover change (Pontius and Schneider, 2001). The result of the ROC statistic was 0.987, which is a very strong value and indicates the soft prediction was very accurate.

Predicting the Kayabi Territory forest condition in 2020

Both hard and soft predictions were produced for the year 2020 (see Figure 11).

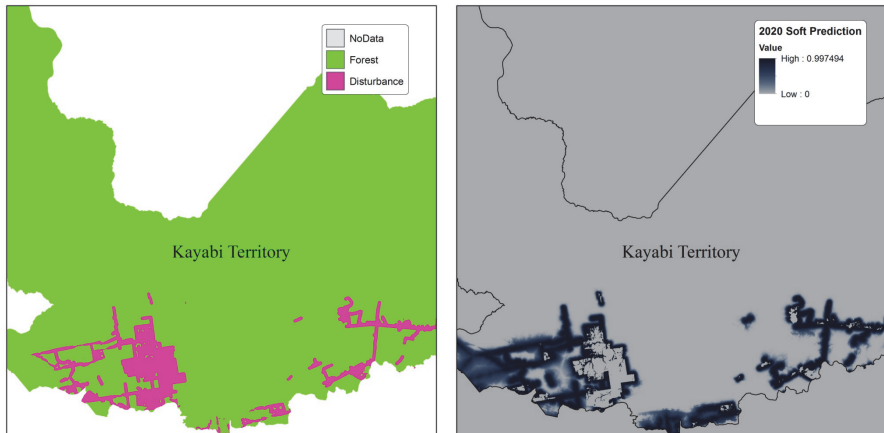


Figure 11. Map Predictions for 2020: hard prediction (left-hand side) and soft prediction (right-hand side).

Discussion and conclusions

The results of the prediction of landscape change for 2020 (see Table 4) indicate that by the year 2020, assuming the nature of forest development does not change, an additional 36,000 hectares of forest will be lost in the Kayabi Territory, making a total of 60,645 hectares for the period 2000-2020.

Table 4
Time Analysis of forest lost in Kayabi Territory

<i>Year</i>	<i>Forest Lost (ha)</i>
2000	1,776
2006	18,018
2009	5,040
2020	35,811
Total	60,645

The predicted amount of the deforestation seems high if compared to reality. This can be explained, as the model uses the deforestation rate calculated to train the model. According to the change analysis 16,242 hectares were lost in six years (2000-

2006), resulting an average deforestation rate of 2,707 hectares per year. External factors play an important role in interpreting the results. In this case, it is known rates of deforestation were impacted by legal injunction process. Such events are very difficult to incorporate into the model.

Figure 12 shows a time series of land cover maps of the Kayabi Territory consistent with the hypothesis that roads and previous disturbance are the main drivers for deforestation. The analysis also confirmed new disturbed areas serve as seeds for a more intense clearing activity in the future.

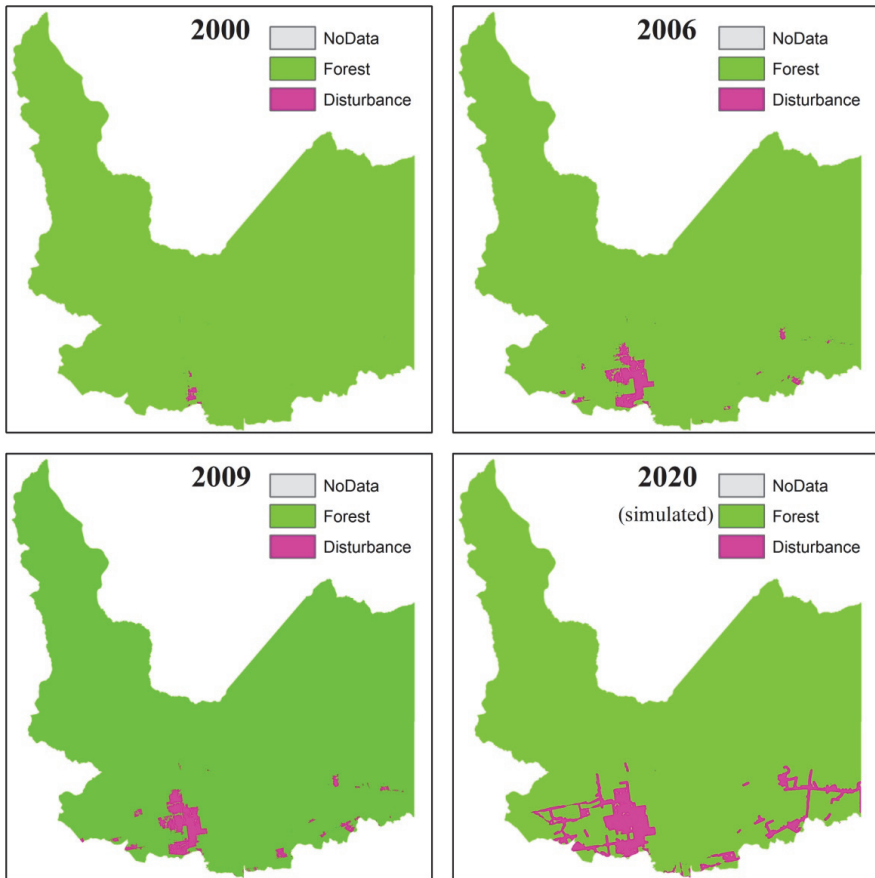


Figure 12. Time series Analysis of deforestation in Kayabi Territory.

Based on visual interpretation of the simulation and the ROC criterion, it is clear the soft predictions were produced with a satisfactory level of accuracy. Figure 13 shows the 2020 soft prediction overlaid on a 2011 Landsat image (July 25, 2011), where it is clear post 2009 disturbed areas are vulnerable.

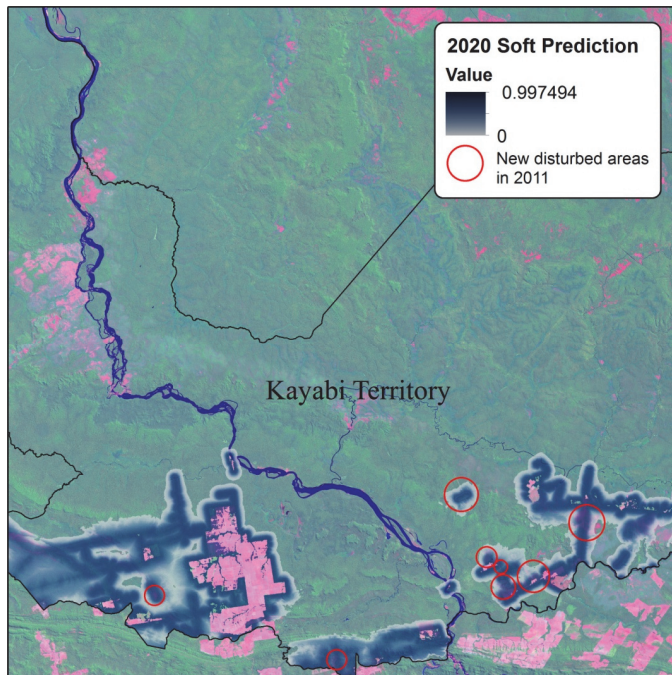


Figure 13. The 2020 soft prediction overlaid on a 2011 Landsat.

LUCC modelling is an effective mean for adequate land use planning and the development of sustainable environmental management policies. GIS, remote sensing and modelling software are ideal tools to accomplish these tasks.

This study was able to successfully simulate future deforestation expansion in the region and also, identified the main landscape attributes driving deforestation expansion in the Kayabi Territory. Distance from roads and distance from existing disturbance were found as the key factors driving deforestation. Nevertheless, other important aspects have great impact on LUCC. For instance, despite the demarcation of the Kayabi Territory intended conservation of the forest it seems that, far from its purpose of protecting it, it increased the deforestation rates because the uncertainty to the land owners of their land tenure. Single farmers were the most active actors in the deforestation process. The soft prediction maps simulated in this study provide excellent means for monitoring areas where selective logged has happened and therefore to protect new areas that are susceptible to be disturbed.

References

- Ademola, K.B. and Takashi, O. (2007). "Geostatistical techniques for incorporating spatial correlation into land use change models", *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 9:438-446.

- Asner, G.P.; Broadbent, E.N.; Oliveira P.J.; Keller M., Knapp D.E. and Silva J.N. (2006). "Condition and fate of logged forests in the Brazilian Amazon", *PNAS*, 12947-12950.
- Chang, K.-T. (2010). *Introduction to Geographic Information Systems*, Singapore, McGraw-Hill.
- Eastman J.R. (2009). *IDRISI Guide to GIS and Image Processing*, Clark University, Worcester.
- Fearnside, P.M. (2007). "Deforestation in Amazonia", Retrieved August 13, 2011, from The Encyclopedia of Earth, <http://www.eoearth.org/article/Deforestation_in_Amazonia> (March 30).
- R. Gil Pontius Jr. and Laura C. Schneider (2001). "Land-cover change model validation by an ROC method for the Ipswich watershed, Massachusetts, USA", *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 85(1-3), June, pp. 239-248, <[http://dx.doi.org/10.1016/S0167-8809\(01\)00187-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0167-8809(01)00187-6)>, <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880901001876>>.
- Laurance, W.F.; Albernaz, A.K.; Schroth, G.; Fearnside, P.M.; Bergen, S.; Veinticinque, E.M., *et al.* (2002). "Predictors of Deforestation in the Brazilian Amazon", *Journal of Biogeography*, pp. 737-748.
- Paegelow M. and Camacho Olmedo M.T. (2008). *Modelling Environmental Dynamics: Advances in Geomatics*, Springer, Berlin.
- Vitousek, P.; Mooney, H.; Lubchenco, J. and Melillo, J. (1997). "Human domination of Earth's ecosystems", *Science*, 277:494-499.

Detección digital de Sistemas Convectivos de Mesoescala a partir de imágenes meteorológicas multiespectrales

Salomón Ramírez*

Ivan Lizarazo**

Recibido el 21 de noviembre de 2016; aceptado el 20 de abril de 2017

Abstract

The exact identification of Mesoscale Convective Systems (MCS) is not a simple task. In this work, Support Vector Machines (SVM), Decision Trees (DT) and Random Forests (RF) non-parametric machine learning algorithms (ML) were applied to detect MCS, from a series of GOES-13 weather satellite images acquired on April 03, 2013 every half hour from 11:45 to 22:15 hours, Coordinated Universal Time (UTC), covering the Colombian territory.

The results obtained by these methods were compared with a traditional method referred to as brightness temperature (BT). Accuracy assessment was conducted using STEP (*shape, theme, edge, position*), a method that evaluates geometric and thematic similarity between objects, using as reference a dataset of high accuracy data extracted from images of precipitation Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM).

The aim of this study was to determine whether using information from several spectral channels of weather images, rather than from a single infrared channel (IR) as traditional techniques do, allows accurate detection of MCS.

Experimental results show that the Decision Tree (DT) and Random Forest (RF) algorithms performed better than the IR-TB algorithm to detect MCS, while that the results of SVM algorithm, suggest that its use may not be favorable for practical applications.

* Facultad de Ingeniería, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, DC., Colombia, correo electrónico: seramirez@correo.udistrital.edu.co

** Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, DC., Colombia, correo electrónico: ializarazos@unal.edu.co

Accuracy ranges at 95% confidence levels to DT, RF, TB and SVM algorithms, at evaluated time's instants [12:15, 15:15, 18:15, 21:15] by similarity metric (*[shape]*, *[theme]*, *[edge]*, *[position]*) in their respective order were: DT ([89%-98%], [75%-94%], [68%-96%], [80%-98%]), RF ([87%-95%], [73%-89%], [67%-87%], [78%-90%]), IR-TB ([83%-95%], [68%-87%], [60%-81%], [72%-91%]) y SVM ([86%-93%], [72%-83%], [65%-78%], [76%-81%]).

The decision criteria of the classification model yielded by DT could be replicated several times in different dates without performing visual interpretation in each image, being very useful for operational applications under the approach presented here.

Key words: *machine learning algorithms, weather images, decision trees, support vector machines, random forests, mesoscale convective systems.*

Resumo

A identificação exata dos Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM) não é uma tarefa simples. No presente trabalho se aplicaram algoritmos não paramétricos de aprendizagem de máquina (ML) às Máquinas de Suporte Vetorial (SVM), Árvores de Decisão (DT) e Florestas Aleatórias (RF) para detectar SCM, a partir de uma série de subcenas de imagens meteorológicas tomadas pelo satélite GOES-13 em 3 de abril de 2013 a cada meia hora desde às 11:45 até às 22:15 horas, Tempo Universal Coordenado (UTC), que cobrem o território colombiano.

Os resultados obtidos por estes métodos foram comparados com o método tradicional denominado Temperatura de Brillo (TB). Para a avaliação dos resultados se empregou *STEP (shape, theme, edge, position)*, um método que avalia a semelhança geométrica e temática entre objetos, tomando como referência um conjunto de dados de alta precisão extraídos de imagens de precipitação da Missão para a Medição de Chuvas Tropicais (TRMM).

O objetivo deste trabalho foi determinar se, ao empregar informação de vários canais espectrais de imagens meteorológicas em lugar de usar um só canal infravermelho (IR), como fazem as técnicas tradicionais, é possível obter resultados mais exatos na detecção do SCM.

Os resultados experimentais mostraram que os algoritmos DT e RF proporcionam uma detecção mais exata que a obtida pelo algoritmo tradicional IR-TB para detectar SCM, a menos que os resultados do algoritmo SVM, sujam não sendo favorável seu uso para aplicações práticas.

As gamas de precisão obtidas com 95% de confiança para os algoritmos DT, RF, TB y SVM, nos instantes de tempo avaliados [12:15, 15:15, 18:15, 21:15] por métrica de semelhança (*[shape]*, *[theme]*, *[edge]*, *[position]*) foram em sua respectivo ordem: DT ([89%-98%], [75%-94%], [68%-96%], [80%-98%]), RF ([87%-95%], [73%-89%], [67%-87%], [78%-90%]), IR-TB ([83%-95%], [68%-87%], [60%-81%], [72%-91%]) y SVM ([86%-93%], [72%-83%], [65%-78%], [76%-81%]).

Os critérios de decisão do modelo de classificação obtido por DT poderiam ser replicados várias vezes em diferentes datas sem se realizar interpretação visual em cada imagem, sendo muito útil para aplicações operativas sob o enfoque que se apresenta aqui.

Palavras chave: *algoritmos de aprendizagem de máquina, imagens meteorológicas, árvores de decisão, máquinas de suporte vetorial, florestas aleatórias, sistemas convectivos de mesoescala.*

Resumen

La identificación exacta de Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM) no es una tarea sencilla. En el presente trabajo se aplicaron los algoritmos de aprendizaje de máquina (ML) no paramétricos Máquinas de Soporte Vectorial (SVM), Árboles de Decisión (DT) y Bosques Aleatorios (RF) para detectar SCM, a partir de una serie de sub-escenas de imágenes meteorológicas tomadas por el satélite GOES-13 el 03 de abril de 2013 cada media hora desde las 11:45 hasta las 22:15 horas, Tiempo Universal Coordinado (UTC), que cubren el territorio colombiano.

Los resultados obtenidos por estos métodos fueron contrastados con el método tradicional denominado Temperatura de Brillo (TB). Para la evaluación de los resultados se empleó *STEP* (*shape, theme, edge, position*), un método que evalúa la similitud geométrica y temática entre objetos, tomando como referencia un conjunto de datos de alta exactitud extraído de imágenes de precipitación de la Misión para la Medición de Lluvias Tropicales (TRMM).

El objetivo de este trabajo fue determinar si al emplear información de varios canales espectrales de imágenes meteorológicas en lugar de usar un solo canal infrarrojo (IR) como lo hacen las técnicas tradicionales, es posible obtener resultados más exactos en la detección de SCM.

Los resultados experimentales mostraron que los algoritmos DT y RF proporcionan una detección más exacta que la obtenida por el algoritmo tradicional IR-TB para detectar SCM, mientras que los resultados del algoritmo SVM, sugieren que no es favorable su uso para aplicaciones prácticas.

Los rangos de exactitud obtenidos con el 95% de confianza para los algoritmos DT, RF, TB y SVM, en los instantes de tiempo evaluados [12:15, 15:15, 18:15, 21:15] por métrica de similitud (*[shape]*, *[theme]*, *[edge]*, *[position]*) fueron en su respectivo orden: DT ([89%-98%], [75%-94%], [68%-96%], [80%-98%]), RF ([87%-95%], [73%-89%], [67%-87%], [78%-90%]), IR-TB ([83%-95%], [68%-87%], [60%-81%], [72%-91%]) y SVM ([86%-93%], [72%-83%], [65%-78%], [76%-81%]).

Los criterios de decisión del modelo de clasificación obtenido por DT podrían ser replicados varias veces en diferentes fechas sin realizar interpretación visual en cada imagen, siendo muy útil para aplicaciones operativas bajo el enfoque que aquí se presenta.

Palabras clave: *algoritmos de aprendizaje de máquina, imágenes meteorológicas, árboles de decisión, máquinas de soporte vectorial, bosques aleatorios, sistemas convectivos de mesoescala.*

Introducción

En latitudes tropicales, tanto ecuatoriales como medias, las nubes Cumulonimbus (Cb), son responsables de causar algunas condiciones climáticas extremas; estas nubes producen convección intensa que origina la formación de Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM) (Liu *et al.*, 2014). Un SCM es un sistema de nubes Cb de origen convectivo que produce un área de precipitación contigua de aproximadamente 100 km en por lo menos una dirección (Houze, 2004).

La presencia de SCM supone un grave riesgo para la aviación y puede afectar a los cultivos y las poblaciones urbanas debido a la rápida evolución de tiempo atmosférico que se produce en diferentes escalas espaciales y temporales (Liu *et al.*, 2014). En Colombia se localiza un gran número de SCM, los cuales de acuerdo a los datos de la Misión para la Medición de Lluvias Tropicales (TRMM) durante el período 1998-2002, contribuyeron aproximadamente al 70% de la precipitación anual del país (Sakamoto *et al.*, 2011). En este país particularmente, son recordados los desastres causados por las fuertes lluvias producidas por SCM, que azotaron a gran parte del territorio nacional entre el segundo semestre de 2010 y el primer semestre 2011, causando efectos devastadores causados sobre la población, así como sobre la economía local, regional y nacional (Colombia Humanitaria, 2010).

La observación de SCM puede ser una fuente importante de datos para su asimilación en la predicción del tiempo atmosférico y el seguimiento de las tendencias climáticas (Liu *et al.*, 2014). En tal sentido, las imágenes de los Satélites Geoestacionarios Operacionales Ambientales (GOES), han demostrado un alto potencial para la detección y seguimiento de SCM (Goyens *et al.*, 2012).

Una técnica bien conocida para llevar a cabo estas tareas, es el uso de umbrales de temperatura de brillo (TB) en el canal infrarrojo térmico (TIR) de 10.8 μ m, asumiendo que temperaturas bajas de brillo en este canal están asociadas con convección profunda que penetra en el interior de la troposfera superior (Goswami y Bhandari, 2012; Ravelo y Santa, 2000). Mientras esta técnica es simple de usar, varios estudios han mostrado que, en la atmósfera tropical, las estimaciones de precipitación basadas en este canal pueden no ser tan exactas como se espera, particularmente sobre latitudes ecuatoriales (Laurent *et al.*, 2002; Machado *et al.*, 1998). El método IR-TB es actualmente empleado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), servicio meteorológico colombiano, para realizar la detección y monitoreo de la evolución de SCM, usando como fuente de datos las imágenes meteorológicas GOES-13.

El propósito de este trabajo consiste en determinar si el empleo de información de varios canales espectrales de imágenes meteorológicas, en lugar del uso de un solo canal como lo hacen las técnicas tradicionales, permite obtener resultados confiables y consistentes en la detección de SCM.

Detección y seguimiento de SCM

La detección y el seguimiento de SCM a partir de imágenes meteorológicas se realiza tradicionalmente de forma manual (Fiolleau y Roca, 2013), mediante interpretación visual (nefoanálisis) de imágenes del canal visible (VIS) y del canal infrarrojo (IR) (Desbois *et al.*, 1982), obtenidas de satélites de órbitas geoestacionarias (GEO, del inglés Geostationary Earth Orbit), cuyas tonalidades de grises permiten a los interpretes reconocer detalles inherentes a la estructura de los SCM. Sin embargo, este conocimiento no es fácil de adquirir y suele ser desarrollado después de muchos años de experiencia práctica (Peak y Tag PM, 1994), siendo un trabajo dispendioso y subjetivo (Machado *et al.*, 1998), cuyas limitaciones son más marcadas cuando el personal rota con frecuencia.

Para superar esas limitaciones, desde mediados de 1980 a la fecha, un número de autores han propuesto diferentes técnicas digitales para el análisis de SCM, las cuales en su gran mayoría se basan en la aplicación de algoritmos de detección a partir del infrarrojo térmico (TIR), mediante el uso de umbrales de temperatura de brillo (TB) asociados a bajas temperaturas (Tabla 1). El principal beneficio de usar umbrales de TB considerando tan solo los canales térmicos reside en su simplicidad (Morel y Senesi, 2002), y está basado en la premisa que el comienzo de las precipitaciones ocurre cuando la temperatura del tope de las nubes, es decir la más alta altitud de la parte visible de la nube, desciende de dicho umbral, y se considera que dichas nubes tienen gran desarrollo vertical y por lo tanto existe una alta probabilidad de que produzcan precipitaciones (Ravelo y Santa, 2000).

Sin embargo, las técnicas basadas en la TB del tope de la nube tienden a sobrestimar las precipitaciones en ambientes secos y a subestimarlas en ambientes más húmedos (Ba y Gruber, 2001), por ejemplo, no permiten distinguir nubes Cirrus (Ci) espesas de nubes convectivas profundas (Cb). Al respecto, algunos autores (Bader *et al.*, 1996) señalan que a partir de los otros canales es posible obtener información útil de las nubes; como por ejemplo su espesor y tamaño, derivados de los canales visibles (VIS); su temperatura y altura del tope, derivadas de los canales infrarrojos (IR) y su fase del ciclo de vida, derivada de canales de vapor de agua (WV) (Suvichakorn, 2007).

En la Tabla 1 se resumen los aspectos más relevantes de los principales estudios relacionados con el seguimiento y pronóstico de nubes convectivas, consignando características inherentes a las fuentes de datos empleadas, por ejemplo, la resolución

espacial (Δx) y resolución temporal (Δt), así como el método aplicado para la detección de SCM.

A partir de la información consignada en la Tabla 1, se evidencia que a excepción de Goswami y Bhandari, que emplean para la detección de SCM un método de clasificación no supervisado sobre el canal IR, la mayoría de autores emplean el método IR-TB cuyos umbrales varían en el intervalo [213 K, 258K].

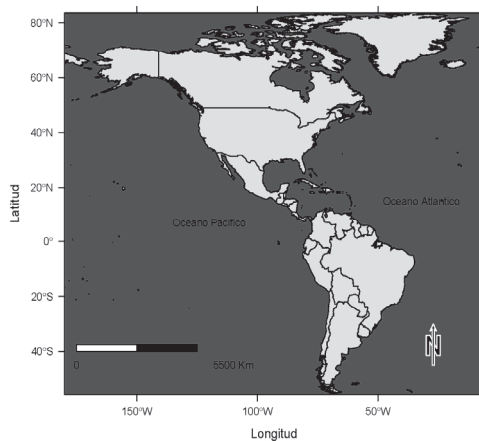
Tabla 1
Principales aspectos considerados durante detección de SCM

<i>Autor</i>	<i>Satélite/Sensor</i>	Δx	Δt	<i>Canales</i>	<i>Método</i>
Woodley <i>et al.</i> (1980)	SMS-1	4 km	30 min	TIR VIS/VI	TB \leq 253K
Klitch <i>et al.</i> (1985)	GOES-5	4 km	30 min	R	TB \leq 243K
Williams y Houze (1987)	GMS-1	2.4 km	180 min	TIR	TB < 213K
Arnaud <i>et al.</i> (1992)	METEOSAT-4	5 km	30 min	TIR	TB \leq 233K
Chen <i>et al.</i> (1996)	GMS-1	5 km	30 min	TIR	TB \leq 235K
Chen y Houze (1997)	GMS-1	10 km	30 min	TIR	TB \leq 235K
Hodges y Thorncroft (1997)	METEOSAT	150 km	180 min	TIR	TB \leq 258K
Laurent <i>et al.</i> (1998)	METEOSAT-4	5 km	30 min	TIR	TB \leq 233K
Machado <i>et al.</i> (1998)	GOES-7	30 km	180 min	TIR	TB \leq 245K
Carvalho y Jones (2001)	GOES-8	4 km	30 min	TIR	TB \leq 235K
Machado (2002)	GOES-8	4 km	30 min	TIR	TB \leq 233K
Morel y Senesi (2002)	METEOSAT	6 km	30 min	TIR	TB \leq 243K
Vila <i>et al.</i> (2008)	GOES-8	4 km	30 min	TIR	TB \leq 235K
Goswami y Bhandari (2011)	KALPANA-1	8 km	30 min	TIR	K-Means
Sakamoto <i>et al.</i> (2011)	GOES-12	4 km	30 min	TIR	TB \leq 235K
Sieglafl <i>et al.</i> (2011)	GOES-12	4 km	30 min	TIR	TB \leq 235K
Goswami y Bhandari (2012)	KALPANA-1	8 km	30 min	TIR	K-Means
Goswami y Bhandari (2012b)	KALPANA-1	8 km	30 min	TIR	K-Means
Goyens <i>et al.</i> (2012)	METEOSAT-8	3 km	15 min	TIR	TB \leq 235K
Shukla y Pal (2012)	KALPANA-1	8 km	30 min	TIR	TB \leq 241K
Fiolleau y Roca (2013)	METEOSAT-7	3 km	30 min	TIR	TB \leq 235K

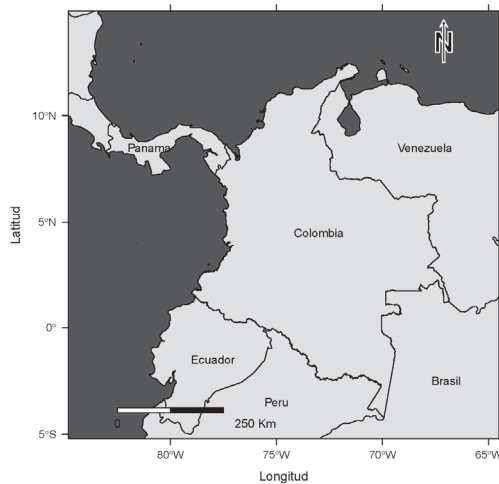
Datos y métodos

Área de estudio

El presente trabajo se llevó a cabo sobre la zona comprendida desde -84.81° de longitud Oeste (W) y -5.21° de latitud Sur (S), hasta -64.5° de longitud W y 14.92° de latitud Norte (N), que comprende principalmente el territorio colombiano, el cual se encuentra ubicado en la esquina noroccidental de América del Sur (Figura 1a). Colombia ocupa una extensión de 2,070,408 km², con una proporción aproximada de territorio marítimo del 45% y de territorio continental del 55% (Figura 1b).



(a) América



(b) Colombia

Figura 1. Localización área de estudio.

Datos

Los datos usados para la detección de SCM comprenden una serie de 22 sub-escenas meteorológicas en modo-A (8 bits), cada una con 2240 x 2260 píxeles con resolución espacial de 1 km a 8 km, tomadas por el satélite GOES-13 el 03 de abril de 2013 desde las 11:45 hasta las 22:15 horas Tiempo Universal Coordinado (UTC).

El satélite GOES-13 transmite imágenes de la atmósfera cada 30 minutos, en 5 canales espectrales diferentes, uno visible (VIS), tres infrarrojos (IR) y uno de vapor de agua (WV), con resoluciones espaciales de 1 km en las longitudes de onda del visible, 4 km en las longitudes de onda del infrarrojo y 8 km en las longitudes de onda del vapor de agua (Tabla 2) (Xu, Wooster, Roberts y Freeborn, 2010).

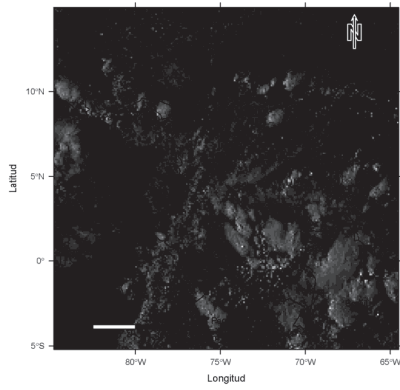
Tabla 2
Características imágenes GOES-13

Canal	Resolución espectral	Resolución espacial	Descripción
1	0.52-0.72 μm	1 km	Visible (VIS)
2	3.78-4.03 μm	4 km	Infrarrojo medio (MIR)
3	6.47-7.02 μm	8 km	Vapor de agua (WV)
4	10.2-11.2 μm	4 km	Infrarrojo térmico (TIR1)
5	12.9-13.8 μm	4 km	Infrarrojo térmico (TIR2)

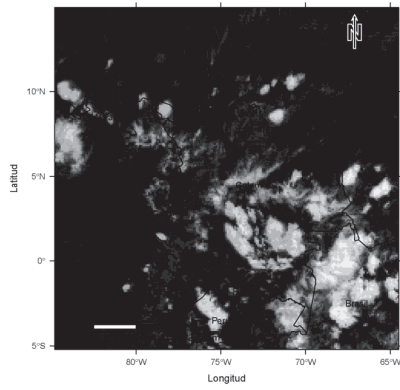
En las Figuras 2a-2e, se muestran los cinco canales que conforman las sub-escenas de GOES correspondientes al instante de tiempo (20130403-21:15 UTC) empleado como referencia durante el desarrollo del estudio.

Algunas sub-escenas de imágenes correspondientes al producto 3B42 del satélite TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) de la NASA (National Aeronautics and Space Administration), fueron empleadas para extraer objetos precipitantes de referencia, que permitieran evaluar la exactitud de los objetos precipitantes extraídos de las imágenes GOES-13.

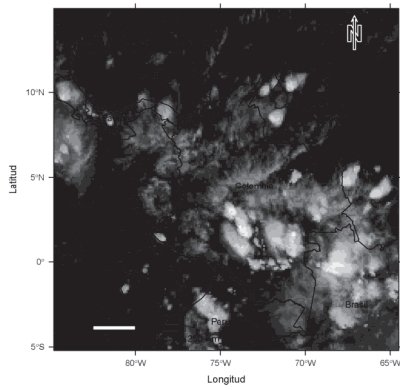
En la Figura 2f, se muestra una sub-escena del producto TRMM-3B42, que combina datos de infrarrojos (escáner) y microondas (radar) (Doraiswamy, Natarajan y Nanjundiah, 2013), proporcionando la fracción de área de precipitación y estimaciones de la tasa media de precipitación expresada en mm/hr, en el rango de tiempo de ± 90 min cada 3 hr (Goyens *et al.*, 2012), para todas las longitudes de la tierra comprendidas entre los 50° de latitud N y los 50° de latitud S, en una grilla con resolución espacial de 25 km (Doraiswamy *et al.*, 2013). Este conjunto de imágenes TRMM, comprende una serie de 4 sub-escenas de precipitación, correspondientes al 03 de abril de 2013 desde las 12:00 hasta las 21:00 horas UTC.



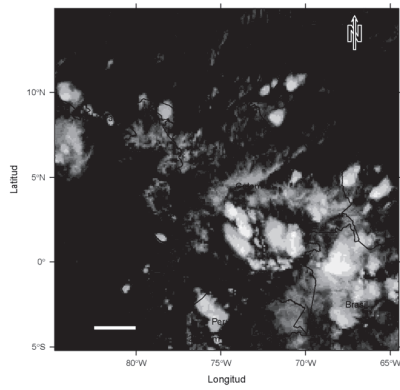
a) Canal VIS



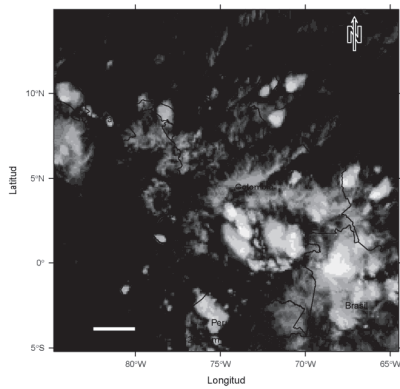
(b) Canal MIR



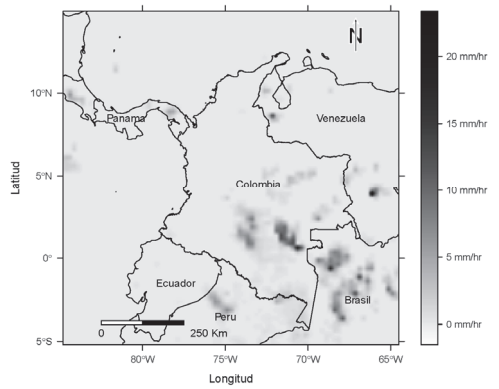
(c) Canal WV



(d) Canal TIR1



(e) Canal TIR 2



(f) Precipitación TRMM (3B42)

Figura 2. Imágenes canales GOES-13 y NASA-TRMM (3B42).

Métodos

En este estudio se emplearon los algoritmos de Aprendizaje de Máquina (ML), Máquinas de Soporte Vectorial (SVM), Árboles de Decisión (DT) y Bosques Aleatorios (RF), para extraer nubes precipitantes a partir de una serie de imágenes meteorológicas. La Figura 3 muestra esquemáticamente la metodología seguida, que abarcó dos enfoques de análisis principales: (A) análisis basado en píxeles que incluye las fases 1 a 5 y (B) análisis orientado a objetos que incluye las fases 6 y 7. A continuación se describe cada una de las fases:

En la primera fase, identificada con el número 1 en la Figura 3, se realizó el pre-procesamiento de la imagen, que incluyó: (i) lectura de cada canal que conforma cada imagen de la serie temporal; (ii) asignación del sistema de referencia espacial MAGNA-SIRGAS (EPSG:4686) a cada canal de la serie de imágenes; (iii) remuestreo del tamaño de los píxeles de los canales MIR, WV, TIR1 y TIR2 de cada imagen, al tamaño del píxel del canal VIS (1 km) de cada imagen, aplicando el método bilineal; (iv) recorte de la extensión geográfica cubierta por los canales MIR, WV, TIR1 y TIR2 de cada imagen (-88.23° W, -9.14° S, -51.58° E, 18.34° N), a la extensión geográfica cubierta por el canal VIS de la serie de imágenes (-84.81° W, -64.5° E, -5.21° S, 14.92° N); y (v) agrupación de todos los canales en una sola imagen para cada instante de la serie.

Durante la segunda fase, identificada con el número 2 en la Figura 3, se realizó la delineación de los objetos de entrenamiento, adoptando como clases objetivo ω_j con $j \in \{1, \dots, R\}$ (Lizarazo, 2008) y $R = 3$, correspondientes a la leyenda de clasificación propuesta por Tsonis (1984) y Tsonis e Isaac (1985), siendo establecidas tres clases principales: Cielo despejado (Cd), Nubes que no precipitan (Nn) y Nubes que precipitan (Np).

A partir de esta leyenda, se realizó la interpretación visual de los canales VIS y TIR1, tomando como imagen de referencia la correspondiente al instante 2013-04-03-21:15 UTC. Se obtuvieron 18 objetos de entrenamiento, mostrados en la Figura 4, divididos como sigue: siete pertenecientes a la clase Cd (verde), seis a la clase Nn (amarillo) y cinco a la clase Np (rojo), los cuales comprenden un total de 270,563 píxeles.

La tercera fase, identificada con el número 3 en la Figura 3, consistió en realizar un diseño de muestreo y su implementación para establecer un modelo de entrenamiento del proceso de clasificación, a partir de muestras representativas de las clases seleccionadas (Lizarazo, 2008), que comprendió: (i) definición del tamaño de la muestra, siendo aplicado el criterio de Tso y Mather (2009), que sugiere que el número mínimo de datos de píxeles por clase objetivo ω_j debe ser 30 veces el número de atributos (canales) x_i con $i \in \{1, \dots, n\}$ (Lizarazo, 2008) y $n = 5$, utilizados para identificar las clases, obteniendo así un tamaño de 450 muestras de entrenamiento;

(ii) distribución espacial de la muestra de entrenamiento, realizada de manera aleatoria sobre los objetos de entrenamiento; y (iii) extracción de la respuesta multispectral x_i de la imagen de referencia y la etiqueta de la clase objetivo x_j asociada a los objetos de entrenamiento en cada localización j de la muestra.

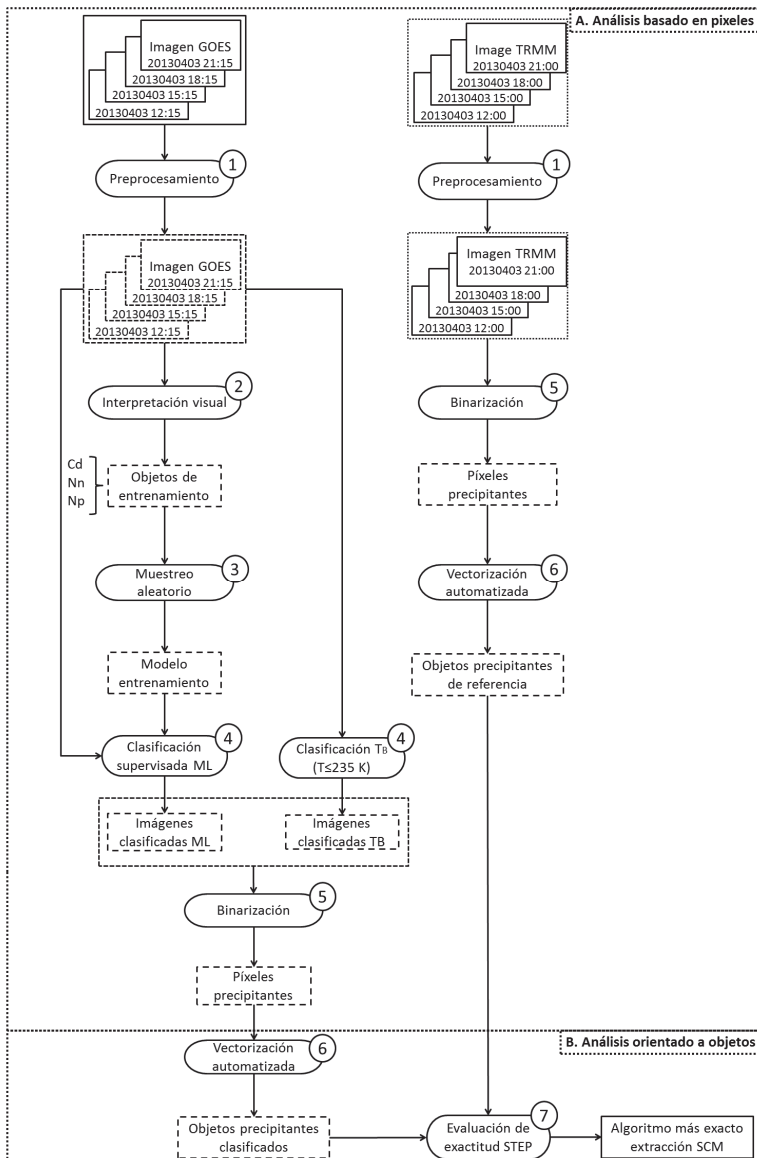
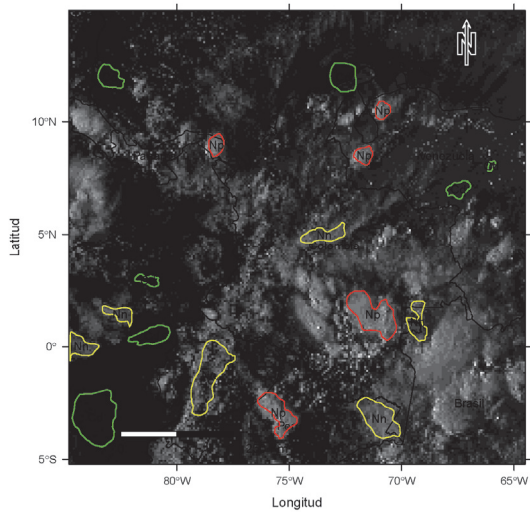
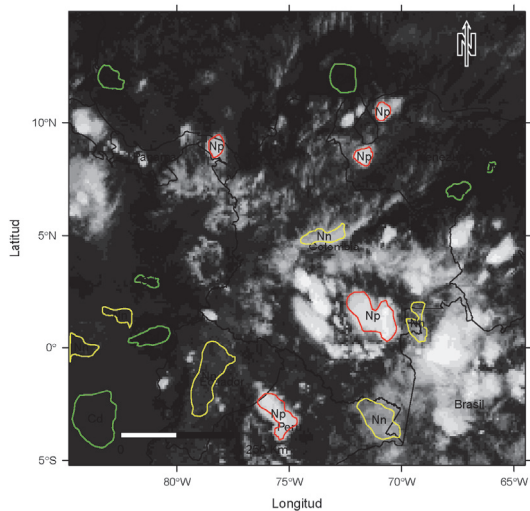


Figura 3. Metodología.



(a) Canal VIS



(b) Canal TIR1

Figura 4. Objetos de entrenamiento sobre imagen GOES 2013-04-03-21:15 UTC.

En la cuarta fase, identificada con el número 4 en la Figura 3, se realizó la clasificación supervisada de SCM basada en píxeles para la serie de imágenes, aplicando el modelo de entrenamiento establecido previamente, con el objetivo dividir su espacio de atributos en compartimentos que englobaran cada una de las clases objetivo

(Lizarazo, 2008) mediante la implementación de los algoritmos de aprendizaje máquina (ML) no paramétricos Máquinas de Soporte Vectorial (SVM), Árboles de Decisión (DT) y Bosques Aleatorios (RF) (Boulesteix *et al.*, 2012; Hastie *et al.*, 2009; Tan *et al.*, 2005; Tso y Mather, 2009; Vapnik, 2000), los cuales han sido ampliamente aplicados para resolver problemas científicos y de ingeniería durante casi dos décadas, sin embargo la aplicación de estos métodos en el área de geociencias y teledetección es bastante reciente y limitada (Lary *et al.*, 2016), sin evidencia aparente de haber sido utilizados en aplicaciones meteorológicas, ganando popularidad en los últimos años en la clasificación de datos de sensores remotos para uso del suelo y cobertura de la tierra, debido a que sus resultados experimentales sugieren que computacionalmente son más eficientes y exactos que otros métodos (Lizarazo y Elsner, 2009; Lizarazo, 2008, 2010).

El método tradicional de detección de nubes precipitantes conocido como Temperatura de Brillo (TB) también fue usado como referencia para comparación de resultados. Este método asume que la precipitación está altamente correlacionada con la fracción de área cubierta por píxeles más fríos que un umbral de temperatura dado. En el presente estudio (i) los niveles digitales (ND) Modo-A del canal TIR1 de GOES (10.8 μ m) fueron convertidos en temperatura de brillo aplicando las ecuaciones (1) y (2) (Tsonis, 1984); y (ii) luego para delimitar áreas precipitantes por TB se empleó un umbral de temperatura 235K (-38,15° C), por parecer apropiado para la detección de nubes precipitantes en diferentes regiones tropicales de América del Sur (Vila *et al.*, 2008), separando así píxeles más fríos que dicho umbral de otros píxeles.

$$TB = 330K - \frac{ND_{TIR1}}{2}; ND_{TIR1} \leq 176 \quad (1)$$

$$TB = 418K - ND_{TIR1}; ND_{TIR1} > 176 \quad (2)$$

Donde:

TB es la temperatura de brillo calculada a partir de los niveles digitales (ND) del canal TIR1.

Durante la quinta fase, identificada con el número 5 en la Figura 3, se realizó la binarización de las imágenes clasificadas, para separar píxeles que representaban precipitaciones de otros píxeles. Asignando el valor 1 a los píxeles correspondientes a la clase *nubes precipitantes* y el valor 0 en caso contrario, para las clasificaciones obtenidas mediante los algoritmos ML, mientras que a las imágenes de TB se les asignó el valor de 1 a los píxeles más fríos que 235K y el valor de 0 en caso contrario. Las cantidades de precipitación de TRMM también fueron binarizadas mediante la conversión de intensidades de lluvia no nulas en 1 y 0 de otro caso, obteniendo así un conjunto exacto de áreas precipitantes de referencia para llevar a cabo la evaluación de los métodos de clasificación.

La sexta fase, identificada con el número 6 en la Figura 3, consistió en extraer áreas precipitantes a partir de la vectorización automatizada de las imágenes binarizadas, agregando así píxeles contiguos de precipitación para crear polígonos (Lizarazo y Barros, 2010), que representaran objetos precipitantes.

En la séptima fase, se llevó a cabo la evaluación de la exactitud temática y geométrica de los objetos precipitantes obtenidos por cada método, aplicando la matriz de similitud STEP propuesta recientemente (Lizarazo, 2014), que provee cuatro (4) métricas de similitud: (i) *shape* (forma); (ii) *theme* (tema); (iii) *edge* (frontera); y (iv) *position* (posición).

A partir de las métricas expuestas anteriormente se construyó una matriz de similitud STEP, la cual fue empleada para realizar el cálculo de la exactitud global (PCC), de manera similar a como se calcula dicha exactitud en una matriz de error tradicional (Congalton y Green, 2008), pero incorporando en cada celda de la matriz de error el área de los objetos en lugar de su conteo, que corresponde a un área ponderada para compensar la desigualdad entre el área los SCM y el área de otros objetos (Lizarazo, 2014), siendo esa última mucho mayor que la primera, por lo que la probabilidad de clasificar correctamente estos últimos sea mucho mayor.

También se calculó el intervalo de confianza (IC) para PCC, con un nivel de confiabilidad del 95%, empleando la Ecuación 3 (Tan *et al.*, 2005):

$$IC = \frac{2 \times N \times PCC + Z^2 \mp Z \sqrt{Z^2 + 4 \times N \times PCC - 4 \times N \times PCC^2}}{2(N + Z^2)} \quad (3)$$

donde *PCC* es la exactitud, *N* es el tamaño de la muestra de validación y *Z* es el valor de probabilidad a dos colas de la distribución normal estándar para el nivel de confiabilidad evaluado.

La evaluación fue realizada para los instantes 12:15, 15:15, 18:15 y 21:15 horas UTC, de acuerdo a la disponibilidad de los objetos precipitantes de referencia extraídos de las imágenes de precipitación de TRMM. Los datos brindados por TRMM son de alta exactitud temática, lo cual en términos prácticos resulta ser favorable para realizar la validación de resultados. Sin embargo, dicho conjunto de datos es de menor resolución espacial (625 km²) que el conjunto de datos de GOES-13 (1 km²), empleado para extraer los objetos precipitantes por diferentes métodos e instantes de tiempo. Por lo tanto, para minimizar el efecto de desajuste entre las dos escalas espaciales, la evaluación se enfocó en los objetos precipitantes que exhibían una organización de mesoescala, es decir, ≥ 1000 km² (Houze, 2004).

Resultados

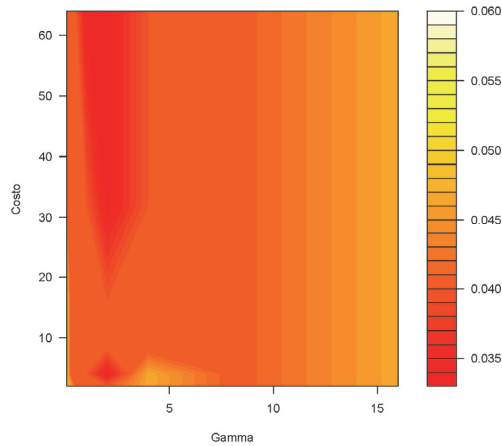
La implementación de “búsqueda mediante retícula” para el algoritmo SVM permitió obtener como parámetros óptimos del modelo de clasificación los valores de $C = 4$

y $\gamma = 2$, para los cuales se minimiza el error como se muestra en la Figura 5a, donde las tonalidades rojas indican los parámetros para los cuales el error del modelo de clasificación disminuye, mientras que las tonalidades amarillas indican parámetros para los cuales el error del modelo de clasificación aumenta.

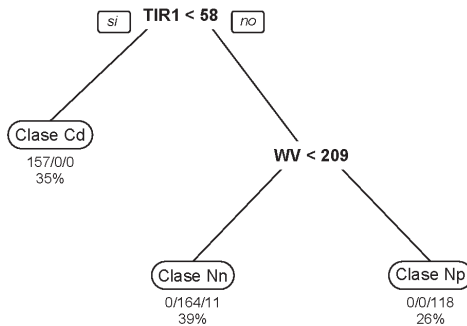
Mediante la implementación del algoritmo DT se obtuvo el árbol de reglas presentado en Figura 5b, donde se indica la proporción de la muestra de entrenamiento que fue asignada a cada clase objetivo. Este árbol exhibe una estructura muy simple que consta tan solo de dos particiones, seleccionando los canales TIR1 (10.8 μ m) y WV (6.5 μ m) como las que aportan mayor información en el modelo de clasificación. El canal IR permite discriminar entre cielo despejado (Cd) y nubes (N), hecho que está asociado a que las nubes son los objetos más fríos en este canal (Hillger y Ellrod, 2003), y la discriminación entre las nubes que no precipitan (Nn) y las nubes que precipitan (Np), está asociada a las altas concentraciones de gotículas presentes en el canal de WV (Ferreira, 2006). Las reglas del modelo de clasificación DT son las siguientes: (i) si los ND del canal TIR1 son < 58 entonces es la clase es Cd; (ii) si los ND del canal TIR1 son ≥ 58 y los ND del canal WV son < 209 entonces la clase es Nn; y (iii) si los ND del canal TIR1 son ≥ 58 y los ND del canal WV son ≥ 209 entonces la clase es Np.

En la Figura 5c, se muestra la contribución de cada canal en el modelo de clasificación en función de la medida de importancia Disminución Media de Gini, obtenida a partir de la implementación del algoritmo RF, evidenciando similitud entre los canales más importantes elegidos por este modelo de clasificación y los canales elegidos por el modelo de clasificación DT. Siendo el canal más importante el TIR1 (10.8 μ m) con una contribución al modelo de clasificación del 98.7%, seguido por el TIR2 (13.3 μ m) con una contribución del 85.1%, sin embargo, al ser canales similares con una diferencia 2.5 μ m en su longitud de onda media, existe una diferencia de su contribución de apenas 13.6%, lo cual, sugiere que quizás su aporte sea redundante y por lo tanto no fue elegido por DT. Mientras que el canal WV (6.5 μ m), elegido por DT, contribuye en un 66%. En contraste los canales VIS (0.63 μ m) y MIR (3.9 μ m) son los que menos contribuyen con el 39.1% y 8.9% respectivamente, la escasa contribución del canal MIR quizás se deba a su baja emisividad, lo que a temperaturas de brillo muy frías genera ruido.

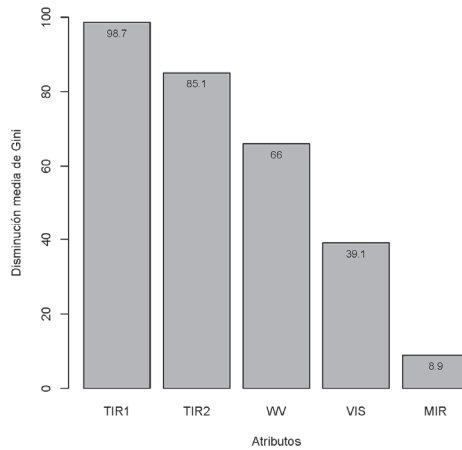
Al observar las salidas gráficas de los SCM detectados por cada uno de los métodos aplicados, visualmente se evidencia que existe coincidencia en la localización de las áreas de precipitación. Sin embargo, para los cuatro instantes de validación presentados en la Figura 5 se puede observar de manera visual que el método SVM permite obtener áreas de precipitación cuyo tamaño es más cercano a los SCM de referencia que las áreas obtenidas mediante los métodos DT y RF. Por otro lado, aunque algunas de las formas del método RF son similares a las de los SCM de referencia, en particular en la región central del país, en general la similitud de forma no es sobresaliente para ninguno de los métodos.



a) “búsqueda mediante retícula” algoritmo SVM



b) Árbol de decisión obtenido para el algoritmo DT



c) Importancia atributos para el algoritmo RF

Figura 5. Salidas de los modelos de clasificación para los algoritmos ML implementados.

Los resultados de evaluación de exactitud mediante el método STEP, consignados en la Tabla 3, muestran que los índices que exhiben mayor exactitud en su respectivo orden son: *Shape*, *Theme*, *Position* y *Edge*; siendo *Edge* la métrica más problemática en la detección de SCM. Mientras que la exactitud de los métodos, en orden descendente, fue DT, RF, TB y SVM. Para la métrica *Shape*, el método DT presenta variaciones en el intervalo de validación comprendidas entre el 89% y el 98%, el método RF entre el 87% y el 95%, el método TB entre el 83% y 95% y el método SVM entre el 86% y 93%. Para la métrica *Theme*, el método DT presenta variaciones en el intervalo de validación comprendidas entre el 75% y el 94%, el método RF entre el 73% y el 89%, el método TB entre el 68% y 87% y el método SVM entre el 72% y 83%. Para la métrica *Edge*, el método DT presenta variaciones en el intervalo de validación comprendidas entre el 68% y el 96 %, el método RF entre el 67% y el 87%, el método TB entre el 60% y 81% y el método SVM entre el 65% y 78%. Para la métrica *Position*, el método DT presenta variaciones en el intervalo de validación comprendidas entre el 80% y el 98%, el método RF entre el 78% y el 90%, el método TB entre el 72% y 91% y el método SVM entre el 76% y 81%.

Tabla 3
PCC global por métrica de similitud STEP

<i>Shape</i>	12:15	15:15	18:15	21:15	<i>Theme</i>	12:15	15:15	18:15	21:15
SVM	93%	93%	90%	86%	SVM	83%	83%	77%	72%
DT	97%	98%	94%	89%	DT	94%	94%	85%	75%
RF	95%	95%	92%	87%	RF	89%	89%	82%	73%
IR-TB	95%	94%	91%	83%	TB	87%	86%	78%	68%
<i>Edge</i>	12:15	15:15	18:15	21:15	<i>Position</i>	12:15	15:15	18:15	21:15
SVM	78%	74%	70%	65%	SVM	87%	88%	81%	76%
DT	96%	91%	78%	68%	DT	98%	97%	89%	80%
RF	87%	87%	76%	67%	RF	90%	93%	86%	78%
IR-TB	81%	77%	70%	60%	IR-TB	91%	91%	82%	72%

En la Tabla 4 se presentan los intervalos de confianza calculados al 95% de confiabilidad para cada métrica de similitud y para la exactitud general (PCC). Sin embargo, como puede observarse en esa tabla, no es posible establecer de manera categórica un mejor desempeño de alguno de los métodos aplicados puesto que los intervalos de exactitud presentan solapamiento entre sí. No obstante, se observa un comportamiento ligeramente superior de los métodos DT e IR-TB respecto a los métodos SVM y RF.

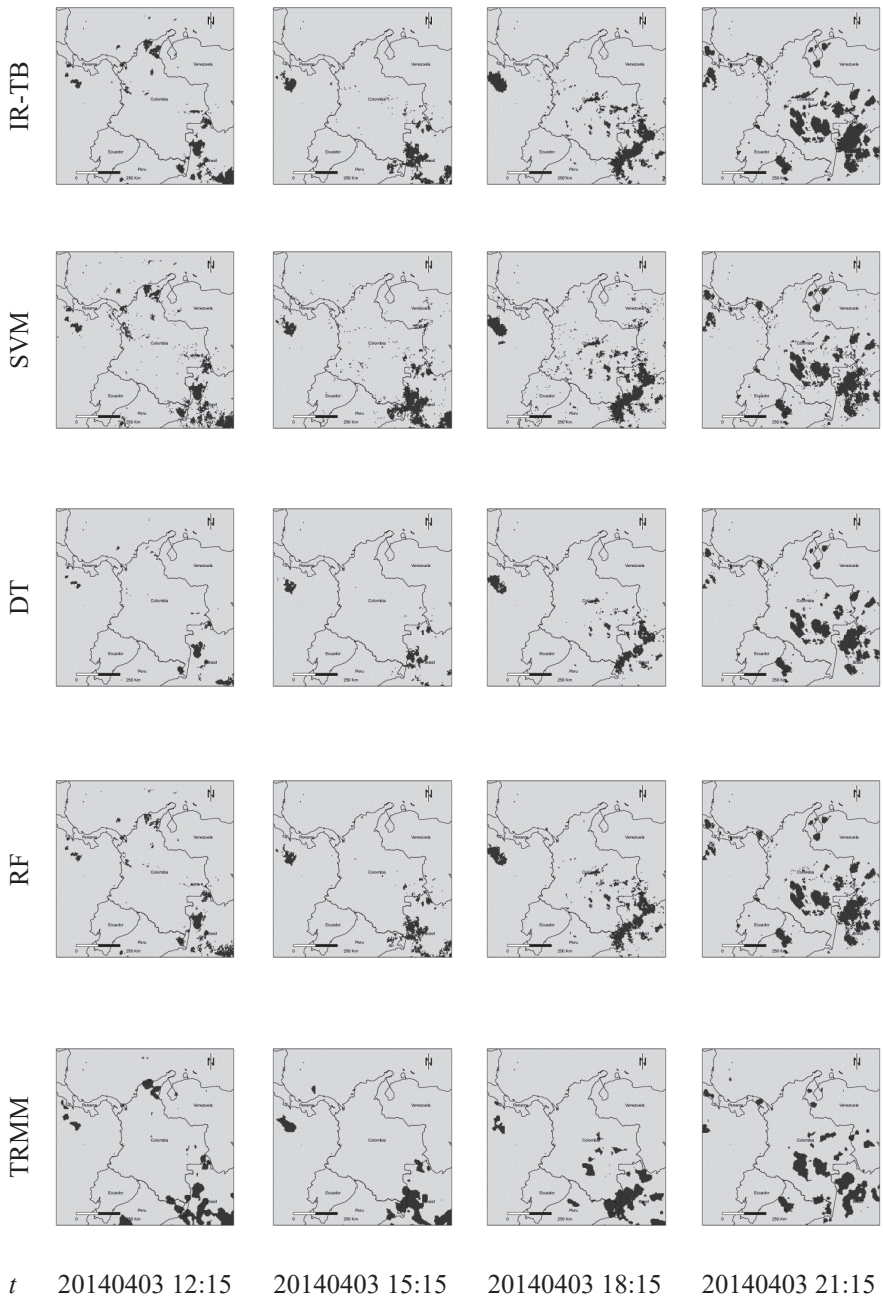


Figura 5. SCM detectados sobre una serie de imagenes meteorológicas.

Tabla 4
PCC global por métrica de similitud STEP

<i>Shape</i>	<i>12:15</i>	<i>15:15</i>	<i>18:15</i>	<i>21:15</i>	<i>Theme</i>	<i>12:15</i>	<i>15:15</i>	<i>18:15</i>
SVM	93%	93%	90%	86%	SVM	83%	83%	77%
DT	97%	98%	94%	89%	DT	94%	94%	85%
RF	95%	95%	92%	87%	RF	89%	89%	82%
IR-TB	95%	94%	91%	83%	TB	87%	86%	78%
<i>Edge</i>	<i>12:15</i>	<i>15:15</i>	<i>18:15</i>	<i>21:15</i>	<i>Position</i>	<i>12:15</i>	<i>15:15</i>	<i>18:15</i>
SVM	78%	74%	70%	65%	SVM	87%	88%	81%
DT	96%	91%	78%	68%	DT	98%	97%	89%
RF	87%	87%	76%	67%	RF	90%	93%	86%
IR-TB	81%	77%	70%	60%	IR-TB	91%	91%	82%

En términos de eficiencia computacional, el método propuesto no es muy exigente. Usando un computador Intel® Core™ i5 de 64 bits a 1,60 GHz, con 6 Gb de RAM y sistema operativo Windows 8, el tiempo de cómputo para los algoritmos de ML fue de 235 segundos para SVM, 81 segundos para DT y 248 segundos para RF. Sin embargo, estos tiempos no son competitivos con el algoritmo tradicional IR-TB que tardó tan sólo 24 segundos para realizar la tarea de detección.

Conclusiones

Se cumplió el objetivo principal de este trabajo, estableciendo que: (i) el uso de cinco canales espectrales meteorológicos, en lugar de un único canal de IR, mejora la detección de SCM; y (ii) el uso del métodos no paramétricos, es decir, métodos no basados en supuestos estadísticos sobre la distribución de datos, no garantizan siempre ser más eficientes que el algoritmo tradicional de IR-TB. Sin embargo, el algoritmo DT permite obtener mejores exactitudes que el algoritmo IR-TB para detectar SCM.

En términos generales los cuatro métodos aplicados en este trabajo exhiben una efectividad favorable, para la extracción de SCM a partir de imágenes meteorológicas con respeto a la similitud y exactitud de los cuatro aspectos inherentes a un objeto: *shape, theme, edge, position*. Sin embargo, se evidencia la presencia de errores tanto por omisión como por comisión en cada uno de los métodos. Dichos errores sugieren que existe algún grado de dificultad por parte de los métodos empleados, en extraer objetos precipitantes preservando sus características temáticas y geométricas. Al respecto se considera, que los resultados obtenidos mediante los métodos no paramétricos dependen en gran medida de la optimización o ajuste de los modelos empleados por cada uno de ellos, lo cual permite obtener resultados más confiables.

De acuerdo con los resultados de este estudio, los algoritmos de aprendizaje máquina muestran ligeras diferencias en la clasificación exactitud de SCM en comparación con el método de IR-BT. Si bien se obtuvieron mejores exactitudes utilizando el algoritmo DT, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en las métricas de exactitud entre DT y el método tradicional IR-TB. Esto sugiere la necesidad de realizar pruebas adicionales para DT y IR-TB en otras fechas y horas con el fin de confirmar si tales diferencias se mantienen o no significativamente.

Los métodos no convencionales de aprendizaje máquina DT y RF, exhiben resultados favorables en la extracción de SCM, frente a los obtenidos para el método convencional IR-TB. Por otra parte, los resultados obtenidos por el método no convencional SVM, no sugieren favorabilidad para su uso en aplicaciones prácticas.

Desde el punto de vista práctico, la contribución científica de este trabajo tiene que ver con el diseño e implementación de un nuevo método para extraer SCM a partir de imágenes meteorológicas, lo cual es el primer paso hacia la cuantificación y

la predicción de precipitación integrando técnicas de teledetección y aprendizaje de máquina.

Los trabajos futuros de los autores de este documento estarán orientados a investigar si el modelo de clasificación obtenido por el algoritmo DT a partir de GOES-13 puede aplicarse en diferentes fechas y permite detectar sistemas convectivos de mesoescala sin realizar interpretación visual en cada nueva imagen. Esta eventual transferibilidad de los criterios de decisión de DT sería muy útil para aplicaciones operativas bajo el enfoque presentado en este artículo.

Bibliografía

- Arnaud, Y.; Desbois, M. y Maizi, J. (1992). "Automatic Tracking and Characterization of African Convective Systems on Meteosat Pictures", *Journal of Applied Meteorology*, 31(5):443-453.
- Ba, M.B. y Gruber, A. (2001). "GOES Multispectral Rainfall Algorithm (GMSRA)", *Journal of Applied Meteorology*, 40(8):1500-1514.
- Bader, M.J.; Forbes, G.S.; Grant, J.R.; Lilley, R.B.E. y Waters, A.J. (1996). "A review of: Images in Weather Forecasting—a practical guide for interpreting satellite and radar imagery", *International Journal of Remote Sensing*, 17(16):3292.
- Boulesteix, A.L.; Janitza, S.; Kruppa, J. y König, I.R. (2012). "Overview of Random Forest Methodology and Practical Guidance with Emphasis on Computational Biology and Bioinformatics", *Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery*, 2:493-507.
- Carvalho, L. y Jones, C. (2001). "A satellite method to identify structural properties of mesoscale convective systems based on the maximum spatial correlation tracking technique (MASCOTTE)", *Journal of Applied Meteorology*, 40:1683-1701.
- Chen, S. y Houze, R. (1997). "Diurnal variation and life-cycle of deep convective systems over the tropical pacific warm pool", *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 123(538):357-388.
- Chen, S., Houze, R. y Mapes, B. (1996). "Multiscale Variability of Deep Convection In Relation to Large-Scale Circulation in TOGA COARE", *Journal of the Atmospheric Sciences*, 53(10):1380-1409.
- Colombia Humanitaria (2010). "Reporte diario ola invernal 2010-2011", recuperado 25 de septiembre de 2013, a partir de <<http://www.colombiahumanitaria.gov.co/Cifras/Paginas/Cifras2011.aspx>>.
- Congalton, R.G. y Green, K. (2008). *Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices* (Second), New York, CRC Press, USA.
- Desbois, M.; Seze, G. y Szejwach, G. (1982). "Automatic Classification of Clouds on METEOSAT Imagery: Application to High-Level Clouds", *Journal of Applied Meteorology*, 21(3):401-412.
- Doraiswamy, H.; Natarajan, V. y Nanjundiah, R.S. (2013). "An exploration framework to identify and track movement of cloud systems", *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 19(12):2896-2905.

- Ferreira, A.G. (2006). *Meteorologia prática*, Oficina de Textos, São Paulo.
- Fiolleau, T. y Roca, R. (2013). "An Algorithm for the Detection and Tracking of Tropical Mesoscale Convective Systems Using Infrared Images From Geostationary Satellite", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 51(7):4302-4315.
- Goswami, B. y Bhandari, G. (2011). "Automatically adjusting cloud movement prediction model from satellite infrared images", en *India Conference (INDICON), 2011 Annual IEEE* (pp. 1-4), <<http://doi.org/10.1109/INDICON.2011.6139604>>.
- (2012a). "Convective Cloud Detection and Tracking from Series of Infrared Images", *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 41(2), 291-299.
- (2012b). "Temperature induced mean based cloud motion prediction model from satellite infrared images", *India Conference (INDICON), Annual IEEE* (pp. 719-723), Springer,Verlag.
- Goyens, C.; Lauwaet, D.; Schröder, M.; Demuzere, M. y Van Lipzig, N.P.M. (2012). "Tracking mesoscale convective systems in the Sahel: relation between cloud parameters and precipitation", *International Journal of Climatology*, 32(12), 1921-1934.
- Hastie, T.; Tibshirani, R. y Friedman, J. (2009). *The elements of statistical learning: Data Mining, Inference and Prediction* (Second). Stanford, California, Springer.
- Hillger, D. y Ellrod, G. (2003). "Detection of important atmospheric and surface features by employing principal component image transformation of GOES imagery", *Journal of Applied Meteorology*, pp. 611-629.
- Hodges, K.I. y Thorncroft, C.D. (1997). "Distribution and Statistics of African Mesoscale Convective Weather Systems Based on the ISCCP Meteosat Imagery", *Monthly Weather Review*, 125(11):2821-2837.
- Houze, R. (2004). "Mesoscale convective systems", *Reviews of Geophysics*, 42:1-43.
- Klitch, M.; Weaver, J.; Kelly, F. y Vonder Haar, T. (1985). "Convective Cloud Climatologies Constructed from Satellite Imagery", *Monthly Weather Review*, 113(3):326-337.
- Lary, D.J.; Alavi, A.H.; Gandomi, A.H. y Walker, A.L. (2016). "Machine learning in geosciences and remote sensing", *Geoscience Frontiers*, 7(1):3-10, <<http://doi.org/10.1016/j.gsf.2015.07.003>>.
- Laurent, H.; D'Amato, N.; y Lebel, T. (1998). "How important is the contribution of the mesoscale convective complexes to the Sahelian rainfall?", *Physics and Chemistry of the Earth*, 23(5-6):629-633.
- Laurent, H.; Machado, L.A.T., Morales, C.A. y Durieux, L. (2002). "Characteristics of the Amazonian mesoscale convective systems observed from satellite and radar during the WETAMC/LBA experiment", *Journal of Geophysical*, 2(1):1-43.
- Liu, Y.; Xi, D.; Li, Z. y Shi, C. (2014). "Automatic Tracking and Characterization of Cumulonimbus Clouds from FY-2C Geostationary Meteorological Satellite Images", *Advances in Meteorology*, 2014, <<http://doi.org/10.1155/2014/478419>>.

- Lizarazo, I. (2008). "Clasificación de la cobertura y del uso del suelo urbano usando imágenes de satélite y algoritmos supervisados de inteligencia", *UD y la GEOMÁTICA*, 2:4-18.
- (2010). "Fuzzy image regions for quantitative land cover analysis", *GEOBIA 2010, Geographic Object-Based Image Analysis*, p. 15, Ghent, Belgium.
- (2014). "Accuracy assessment of object-based image classification: another STEP", *International Journal of Remote Sensing*, 35(16):6135-6156.
- Lizarazo, I. y Barros, J. (2010). "Fuzzy image segmentation for urban land-cover classification", *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 76(2):151-162.
- Lizarazo, I. y Elsner, P. (2009). "Fuzzy segmentation for object based image classification", *International Journal of Remote Sensing*, 30(6):1643-1649.
- Machado, L. (2002). "Diurnal march of the convection observed during TRMM-WETAMC/LBA", *Journal of Geophysical Research*, 107(D20), 8064.
- Machado, L.A.T.; Rossow, W.B.; Guedes, R.L. y Walker, A.W. (1998). "Life Cycle Variations of Mesoscale Convective Systems over the Americas", *Monthly Weather Review*, 126(6):1630-1654.
- Morel, C. y Senesi, S. (2002). "A climatology of mesoscale convective systems over Europe using satellite infrared imagery. I", *Methodology. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 128(584):1953-1971.
- Peak, J. y Tag P.M. (1994). "Segmentation of satellite imagery using hierarchical thresholding and neural networks", *Journal of Applied Meteorology*, 33:605-616.
- Ravelo, A.C. y Santa, J.A. (2000). "Estimación de las precipitaciones utilizando información satelital y terrestre en la provincia de Córdoba (Argentina)", *Agriscientia*, XVII:21-27.
- Sakamoto, M.; Ambrizzi, T. y Poveda, G. (2011). "Moisture sources and life cycle of convective systems over Western Colombia", *Advances in Meteorology*, 2011:1-11.
- Shukla, B.P. y Pal, P.K. (2012). "A Source Apportionment Approach to Study the Evolution of Convective Cells: An Application to the Nowcasting of Convective Weather Systems", *Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, IEEE Journal of*, 5(1):242-247, <<http://doi.org/10.1109/JSTARS.2011.2170661>>.
- Sieglaff, J.M.J.; Cronic, L.L.M.; Feltz, W.F.; Bedka, K.M.; Pavolonis, M.J. y Heidinger, A.K. (2011). "Nowcasting Convective Storm Initiation Using Satellite-Based Box-Averaged Cloud-Top Cooling and Cloud-Type Trends", *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 50(1):110-126.
- Suvichakorn, A. (2007). *The use of the texture and motion of clouds from geostationary satellite images in rain rate estimation and prediction*. University of Southampton.
- Tan, P.; Steinbach, M. y Kumar, V. (2005). "Classification: Basic Concepts, Decision Trees, and Model Evaluation", *Introduction to Data Mining* (1st ed., pp. 145-205), Addison-Wesley.

- Tso, B. y Mather, P. (2009). *Classification methods for remotely sensed data* (2nd ed.). New York, US: CRC Press.
- Tsonis, A.A. (1984). "On the separability of various classes from the GOES visible and infrared data", *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 23(10):1393-1410.
- Tsonis, A.A. y Isaac, G.A. (1985). "On a New Approach for Instantaneous Rain Area Delineation in the Midlatitudes Using GOES Data", *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 24(11):1208-1218.
- Vapnik, V. (2000). *The Nature of Statistical Learning Theory* (Second), Springer, Red Bank, New Jersey, USA.
- Vila, D.; Machado, L.A.T.; Laurent, H. y Velasco, I. (2008). "Forecast and Tracking the Evolution of Cloud Clusters (ForTraCC) Using Satellite Infrared Imagery: Methodology and Validation", *Weather and Forecasting*, 23(2):233-245.
- Williams, M. y Houze, R. (1987). "Satellite-observed characteristics of winter monsoon cloud clusters", *Monthly weather review*, 115:505-519.
- Woodley, W.; Griffith, C.; Griffin, J. y Stromatt, S. (1980). "The Inference of GATE Convective Rainfall from SMS-1 Imagery", *Journal of Applied Meteorology*, 19(4):388-408.
- Xu, W.; Wooster, M.J.; Roberts, G. y Freeborn, P. (2010). "New GOES imager algorithms for cloud and active fire detection and fire radiative power assessment across North, South and Central America", *Remote Sensing of Environment*, 114(9):1876-1895.

El Mapa de América Meridional de Juan de la Cruz Cano de 1775, y los problemas territoriales de España en Brasil

José Andrés Jiménez Garcés *

Recibido el 12 de febrero de 2017; aceptado el 20 de abril de 2017

Abstract

This article presents the problems encountered by the geographer Juan de la Cruz Cano, during the process of elaboration and delivery to the Secretariat of State of the Map of South America concluded in 1775. The difficulties with which they collided, both the author and his work, were due to the existing division within the Spanish Court. The different groups of power that gathered around the king had different and opposing views on what was to be represented in the map. Both groups also differed with respect to the administration of South America.

Key words: *cartography, diplomacy, information, state policy.*

Resumo

O presente artigo expõe os problemas com que se deparou o geógrafo Juan de la Cruz Cano, durante o processo de elaboração e entrega a Secretaria de Estado da Espanha do Mapa da América Meridional concluído em 1775. As dificuldades com que colidiram, tanto o autor como sua obra, foram devidas a divisão existente dentro da Corte Espanhola. Os diferentes grupos de poder que se reuniam em torno do rei tinham opiniões distintas e desencontradas sobre o que havia de representar-se no mapa. Ambos os grupos diferiam igualmente a respeito da administração da América do Sul.

Palavras chave: *cartografia, diplomacia, informação, política de estado.*

* Departamento de Geología y Medio Ambiente, Universidad de Alcalá, España, correo electrónico: jandresjimenez@msn.com.

Resumen

El presente artículo expone los problemas con que se encontró el geógrafo Juan de la Cruz Cano, durante el proceso de elaboración y entrega a la Secretaría de Estado del Mapa de América Meridional concluido en 1775. Las dificultades con que las que chocaron, tanto el autor como su obra, fueron debidas a la división existente dentro de la Corte Española. Los diferentes grupos de poder que se reunían entorno al rey tenían opiniones distintas y encontradas sobre lo que había de representarse en el mapa. Ambos grupos diferían igualmente respecto a la administración de América del Sur.

Palabras clave: *cartografía, diplomacia, información, política de estado.*

Introducción

Una de las mejores obras cartográficas realizadas a lo largo de la Historia Moderna ha sido el Mapa de América Meridional, realizado por Juan de la Cruz Cano y Olmedilla entre 1764 y 1775. Sin duda, no existió representación mejor y más completa de América del Sur anterior al uso de la fotografía aérea en cartografía. Las medidas y datos que los españoles aportan en aquellos momentos en el mapa, eran más fidedignas dentro de sus niveles de error, que las que se conocían de la misma Europa o incluso de España.

Pero el mapa resultó ser un fracaso publicitado por algunos políticos que dirigían la administración española en aquellos momentos, y el autor de la obra pasó a ser un renegado de la cartografía, y su vida no tuvo la relevancia social que buscaba con la realización de su obra. Para la construcción de esta magna obra, Juan de la Cruz siguió las pautas que sus maestros le inculcaron, creyendo que, al realizar una labor tan completa triunfaría, y ascendería socialmente. Pero el plasmar en el mapa aquella cantidad de datos, de la forma científica enseñada por Jorge Juan y Antonio de Ulloa y siguiendo la técnica cartográfica aprendida en el taller de Jean Baptiste Bourguignon D'Anville, no trajo a Cruz Cano nada más que problemas, como él mismo comprendió durante la realización de su obra.

En gran medida, la mayor parte de las dificultades que se asociaron al mapa tras su construcción, se relacionaron con las líneas que se señalaban entre los territorios españoles y portugueses en una de las primeras ediciones. En realidad no solo fueron estas líneas, rápidamente borradas, las generadoras de conflictos en el seno de la corte española, sino que el señalar zonas ocupadas o que habían sido utilizadas en ciertos momentos por portugueses, más al oeste de lo que se pensaba, exasperó a un grupo político español importante, que mantenía ciertas tensiones con otro sector con pensamientos distintos.



Figura 1. Único ejemplar del Mapa Geográfico de América Meridional de Juan de la Cruz Cano, en el que aparecen completas, y no borradas las líneas de división entre las Misiones del Perú y Brasil. Mapa de la cartoteca Windsor de la Universidad de Harvard.
Fuente: <<http://ids.lib.harvard.edu/ids/view/>>.

La división en el seno de la Corte Española

La existencia de grupos políticos en el seno de las distintas cortes europeas era algo que se producía en general, no solo en la modernidad, sino que las diferencias de criterios entre distintos grupos, y, sobre todo, la defensa de intereses de grupo distintos, se produce desde el comienzo de las distintas asambleas que aconsejaban al rey. Los problemas relacionados con estas divisiones eclosionaron siempre que no se buscaba un destino común, y cuando unos han intentado tomar el poder a costa de los otros.

En el caso de aquella segunda mitad del siglo XVIII en los palacios madrileños por donde se movía Carlos III, había al menos dos grupos políticos distintos, en el periodo de tiempo que transcurre entre la construcción del mapa que aquí tratamos, y su uso posterior en cuestiones relacionadas con la política americana, con visiones diferentes respecto a cómo tenía que ser nuestra actuación en aquellos territorios americanos. Por un lado, la defendida por el Secretario de Estado, marqués de Grimaldi, defensor de volver en los acuerdos con Portugal a la línea del Tratado de Tordesillas.¹ Y la postura del que fuera presidente del Consejo de Castilla, posteriormente embajador en París, y principal diplomático español durante las conversaciones previas al Tratado de 1777, conde de Aranda, consistente en ceder los territorios necesarios, para poder defender y rentabilizar bien el resto.

Grimaldi era un político inteligente, y realmente sabía que volver a la línea de Tordesillas, señalada junto con otras en el mapa de Cruz Cano, era casi imposible, pero por otro lado no quería reconocer las incursiones portuguesas hacia el oeste, pues de lo contrario daba la razón en parte a Portugal, y al otro sector político, dirigido por Aranda.

Por el contrario, el conde aragonés desde la embajada de París y su grupo de nobles, reconocían las incursiones lusitanas por el Brasil, y pensaban que había que realizar cesiones, o administrar el sur americano de otra manera.

Aranda y su grupo no solo eran contrarios a la visión de Grimaldi y los suyos, sino que pretendían el poder, la añorada Secretaría de Estado que le entregaría Carlos IV al conde en 1792.

Las líneas que representa Cruz Cano en el Mapa de América Meridional de 1775

En algún momento, alguien podría considerar que las líneas de demarcación que se representan en el mapa podían ser lo que el autor de esta obra, estudiando pactos, tratados, historia y cartografías, pudo considerar como la frontera en Brasil entre España y Portugal. Una vez analizado el trabajo de este gran geógrafo y la situación

¹ Cualquiera de las dos posibles líneas era válida. Y si se tenía que realizar alguna cesión, siempre a cambio de algo de igual valor.

política de aquellos momentos, podemos considerar que no fue así como ocurrieron los acontecimientos en las diferentes fases de construcción de la obra, por lo que se refiere a dichas líneas de demarcación situadas en el mapa.

Cruz Cano dibujará aquello que le indican los documentos existentes hasta aquellas fechas y que le dejan estudiar, y terminará reflejando aquello que le dejan poner en el mapa. Otra cosa es, que ciertas personas le proporcionasen la información que ellos querían que se situase en el mapa, o que otras no le proporcionasen toda la información existente, al no querer que se ubicasen ciertos datos en la obra.

Dependiendo de las ediciones de los mapas podemos observar señalados en ellos dos tipos de “líneas demarcadoras”. En todas las ediciones se dibujan las dos líneas del Tratado de Tordesillas, ya se tomasen las 370 leguas desde la isla más occidental o desde la más oriental del archipiélago de Cabo Verde.² Y solamente en la primera edición se dibuja una línea, que termina siendo doble, cuya función, según la leyenda, era diferenciar las misiones españolas, de la zona de misiones portuguesas. La línea, fue mandada borrar por Grimaldi una vez concluido el mapa, y se añadió desde entonces una leyenda de colores.

Las líneas de Tordesillas que aparecen en el Mapa, las dos cortan América Meridional con dirección norte-sur antes de la desembocadura del río Amazonas, sus puntos norte se encuentran en la Hoja 4 y los más al sur, en la Hoja 6 del mapa.

La primera de estas dos líneas de Tordesillas más oriental, comienza en el Cabo de Cuma en la costa atlántica, en 2° 10' Sur y 45° 20' Oeste,³ unos 80 km al noroeste de la ciudad de San Luis, capital de la Capitanía de Marañan. La línea vertical⁴ se prolonga hacia el sur, atraviesa la cabecera del río de la Palma, más al sur, el río de los Remedios y río de la Concepción, río de los Piloes, y atraviesa el cauce alto del río San Francisco, cerca de la Sierra Bermeja, al sur de la Hoja N° 4; pasa a la Hoja N° 6, a unos 111 km de Villa Rica, continúa hacia el sur tocando el nacimiento del río Parayba, en el suroeste de la Capitanía del Río Janeiro, y su punto sur, por lo que nos concierne, será el oeste de la Isla de San Sebastián, en 24° 20' Sur y 45° 20' Oeste.

La segunda línea de Tordesillas, al oeste de la anterior, tiene su punto norte en la desembocadura del pequeño río Carara en el Atlántico, sobre 1° 10' Sur y 46° 50' Oeste, se prolonga hacia el sur, pasando por el cauce alto del río Mejari, atraviesa el

² Isla de San Antonio, la más occidental, y la de San Nicolás, la más oriental. Hay otras islas más al este en dicho archipiélago, la más oriental sería la de Buenavista, pero parece que se tomó la de San Nicolás por ser está la más oriental de lo que en un principio se consideró como archipiélago. Véase “Carta Esférica de la costa de África” del *Atlas marítimo de España*.

³ Todas las medidas, coordenadas y topónimos reflejados en este trabajo están tomados del *Mapa de América Meridional* de Juan de la Cruz Cano, y siguen su información.

⁴ Representada por tres puntos raya tres puntos

río Parnatinga y, más al sur el río Preto; pasa a la Hoja N° 6 donde en su trayectoria, se interpone la ciudad de San Pablo, capital de la Capitanía de San Vicente. El punto final sur de esta línea, era la desembocadura del río Ytaman en 24° 35' Sur y 46° 50' Oeste.

La otra línea de demarcación que se podía observar en el Mapa, sólo en la primera edición,⁵ no se puede considerar una frontera política como tal, pues según indica Cruz Cano en la leyenda de la citada edición se trata del “Termino de Misiones entre Perú y Brasil”

Este límite, que será borrado rápidamente, en un principio solo señalaba las misiones del Perú y Brasil, y se extiende por la parte este de la Hoja N° 3, Hoja N° 6, una pequeña parte en el este de la N° 5, parte sureste de la N° 1 y suroeste de la N° 2.

La línea reconocía la existencia de unas misiones dependientes del Perú y otras del Brasil, no se indicaba que nación era la propietaria de esas misiones, pero en la zona al este de esa línea se podían observar una serie de territorios ocupados por súbditos portugueses al oeste de los ríos Tocantines y los afluentes por la izquierda del Paraná en su cabecera, Tiete û Añemby y Cabeceras del Paraná. Territorios como los señalados en la Hoja N° 4, Aldea de Sanante de Cua, más al oeste, el Jesús de Cuyabá⁶ y en longitud parecida, pero más al sur, “La estancia en donde los Portugueses pasan en hombros dos leguas las canoas para penetrar por el Río Camapua hasta el Matogroso, Cuyaba, &.”. En la Hoja N° 6 la toponimia en la que se observa una ocupación portuguesa es más abundante, al sur de las cabeceras del Paraná, formando parte de las Capitanías de San Vicente y del Rey ambas al oeste de las líneas de demarcación de Tordesillas.

La línea se marca una vez analizada la información de los mapas realizados por los misioneros de la Compañía de Jesús, junto con los construidos por los comisarios de las Partidas de Límites, con posterioridad al Tratado de 1750.⁷

Analizando esta línea llamada “Termino de Misiones entre Perú y Brasil”, sobre el mapa de la primera edición y comenzando de sur a norte, ésta se inicia cerca de la costa atlántica, al norte de la Ciudad del río Grande de San Pedro; los tres fuertes que hay al norte de la desembocadura del río Grande de San Pedro, Guardia del Norte, Guardia de la Caballada y otro sin nombre, quedan en zona de misiones portuguesas y la ciudad del río Grande de San Pedro, en zona de misiones españolas; la línea se prolonga al norte, por el centro de la Laguna Grande de los Patos, o río Grande de

⁵ Se ha trabajado con el mapa de la Biblioteca de la Universidad de Harvard y con la hoja N° 6 del ejemplar de la Biblioteca Nacional de España, ambos son de la primera edición.

⁶ Según se indica en la obra *Minas de oro que trabajan los Portugueses*

⁷ La línea, a partir del río Jucay, toma dos direcciones, dejando un espacio entre ellas a modo de zona neutral.

San Pedro, prosigue por el centro del cauce bajo del río Jucay desde su desembocadura; cuando el cauce gira al oeste, la línea continua por la margen derecha del cauce del río Jucay, pero al llegar a la desembocadura del río Teviquari,⁸ la línea se divide en dos: una sigue el cauce del río Jucay hacia el norte y la otra, en un principio paralela al río Mboapiari,⁹ sigue al este más pegada a los territorios portugueses.

Prosiguiendo con esta última línea, más larga, a la que denominaré Línea N° 1, prosigue paralela al río Mboapiari y, posteriormente, una vez deja su nacimiento, sigue al noreste, hasta atravesar el cauce alto del río Teviquari en 28° 28' Sur, se prolonga hacia el norte hasta cruzar el cauce del río Uruguay, y prosigue hacia la unión de los ríos Itapeba y Canoas Meri; continúa al noreste, cerca de los pueblos de Pitanguí, Caiacanga y al este de las ruinas de San Miguel; en su trayectoria norte, pasa por el cartel que señala las "Reales Minas de Paraná Pane conforme los Misioneros"; un poco más al norte, cruza el curso alto del río Paraná Pane, prosigue por la ladera izquierda de la Sierra de Ibatucatú para, algo más al norte, continuar por el cauce bajo del río Tiete o Añemby.

Desde el río Tiete pasa a la Hoja N° 4, en la que esta parte de la línea va desde el cauce del río Grande de Paraná¹⁰ hacia el oeste, por el cauce alto del río Pardo, continuando al oeste hasta pasar a la Hoja N° 3. En la misma, la línea llega hasta la desembocadura del río Taguari en el Morro de la Cebada, cerca del río Paraguay en el sureste de la Hoja, continuando al norte hacia la desembocadura del río de los Porrudos en el Cuyaba; sigue por el este de la cordillera de San Josef, hasta el cauce alto del río Paraguay y desciende por este río hasta Marco de Marmol, donde la línea toma dirección oeste. Desde aquí, prosigue hacia el cauce del río Ytenes por la izquierda, cerca de Villa Bella de Matogrosso, continúa al noroeste, pasando a la margen derecha, cruza las desembocaduras del Zanjón de los Infieles y el río San Josef siguiendo el cauce del río Ytenes hacia el noroeste, hasta su unión con el río de la Madera. Prosigue la línea, ya por el cauce derecho del río de la Madera, en la desembocadura del río Beni en el anterior, y hacia el este, pero ahora por la margen izquierda del río de la Madera. Al llegar a la pequeña laguna Cayaá toma dirección oeste, cruza el citado río, y se prolonga 77 km al sur por su cauce izquierdo y toma dirección oeste para cruzar el río Tefe. Continúa hacia el noroeste, cruzando el río Yurba y 53.6 km más al oeste cruza el río Yutay, para avanzar hacia el oeste, por el sur de la Nación Huatates y llegar al cauce derecho del río Yavari. Una vez aquí, sigue por éste río hasta su desembocadura en el Amazonas, y desde este punto sigue por la margen izquierda del Amazonas 50 km, pasando luego a la margen derecha. Continúa por esta parte hacia el noreste y, al llegar al norte del territorio de los indios Guarficus, en una isla del cauce del Amazonas, cruza el río para continuar por la

⁸ Afluente del Jucay por la izquierda.

⁹ Afluente del Teviquari por la izquierda.

¹⁰ Es la desembocadura del Tiete en el Paraná.

margen izquierda, entre el río y las palabras de un cartel pegado a éste: “[...] llamaron igualmente los Españoles, Orellana [...]”. Abandona el cauce del Amazonas y dirigiéndose al noreste, cruza el cauce del río Yupura, bordea el margen este del lago Inasabu o Marahi, cruza el río Nuissi, y mantiene la dirección noreste, llegando a la margen derecha del cauce bajo del río María. Acompaña a este río siguiendo su cauce 72.7 km hasta su desembocadura en el río Negro, cruza aquí el río Negro y desciende por la margen izquierda del mismo 49.4 km, cruzando las desembocaduras de los ríos Cababuri, Abuara e Ynambú. Al llegar a la desembocadura del río Maravia, la línea asciende por su cauce derecho 20 km, cruza este río y se dirige con dirección noreste al cauce del río Parime, atravesándolo a la altura de la 4ª Boca Dara. Prosigue hacia el sur por la margen izquierda del río Parime 129 km, hasta la desembocadura del río Guauao. En éste, se prolonga hacia el noreste por el sur del cauce del citado río, hacia su nacimiento, unos 360 km, sale de la Hoja 3 al este del cauce del río Tocota, y pasa a la Hoja Nº 1 tocando mínimamente su ángulo sureste. Así la línea, desde el punto cercano anterior del río Tocota¹¹ sigue al noroeste, bordea el cauce alto del río Tacutú y toma dirección norte hacia la sierra de Tumucaraque, pasando a la Hoja Nº 2, donde bordea esta sierra para concluir en la Guayana, al sur del cartel que se refiere a este territorio. Los últimos 110 km de la línea en territorio de la Guayana, coinciden con la “Demarcación de Provincia o Partido Grande”¹² con que aparece señalado el límite de este territorio en todos los mapas posteriores a esta primera edición, una vez rectificadas la línea.

La otra parte de la línea “Termino de Misiones entre Perú y Brasil”, a la que denominaré Línea Nº 2, que habíamos dejado en el río Jucay, al norte del río Grande de San Pedro, continúa hacia el oeste por la margen derecha (sur) del río Jucay, y al llegar a Guardia Española, pasa a la margen izquierda, para volver de nuevo a la margen derecha por la desembocadura del río Guacay Guazu en el Jucay. Prosigue hacia el norte por el cauce derecho del río Jucay, hacia el norte de las Tierras de la Vaquería,¹³ abandona el cauce del río¹⁴ al norte, continuando por el cauce izquierdo del río Uruguay Pitá. Prosigue por su cauce hasta la desembocadura del mismo en el río Uruguay; aquí la línea toma el cauce izquierdo del río Pepiry Guazú y sigue hacia el norte, desde su desembocadura frente al Uruguay Pita, hasta su nacimiento. Continúa su avance hacia el norte por la margen derecha del río San Antonio, desde su nacimiento hasta cerca de su desagüe en el río Yguazú, cruza éste y prosigue por su

¹¹ En la Hoja Nº 1 al cauce alto Cruz Cano lo denominó Tacutú.

¹² Límite con la Guayana. Esta frontera con los territorios franceses se prolonga por la ladera norte de la sierra de Tumucaraque.

¹³ Estas quedan al este, en territorio portugués.

¹⁴ La Línea ha seguido durante 423 km el cauce del río Jucay, desde el Río Grande de San Pedro hacia las Tierras de la Vaquería.

cauce derecho 62.5 km hasta su desembocadura en el Paraná. Desde la desembocadura del Yguazú, sigue al norte por el cauce izquierdo del Paraná, cruza el Salto Grande del Paraná de siete quedas¹⁵ y en la desembocadura del río Gatime¹⁶ toma dirección oeste siguiendo el cauce de este río. Posteriormente, prosigue por un afluente en cabecera de éste, el río Guiraquela, y en el suroeste de la Isla de los Tres Hermanos, gira al suroeste por el cauce del río Yguaray, continuando hacia el oeste por el cauce del río Ypane Guazú,¹⁷ hasta concluir en el río Paraguay, muy cerca de la villa de Nuestra Señora de Belem. Aquí termina este brazo más suroccidental de la línea.

Resulta curioso que parte de la línea que denominó N° 1, en concreto parte de esta línea entre el río Grande de San Pedro y el río Tiete, o Añemby, que se adentra más en territorio portugués, es muy parecida, o al menos parece seguir la misma trayectoria que la línea que aparece dibujada en un mapa de los jesuitas realizado tras el Tratado de 1750. Esta obra a la que me refiero es la titulada: “Mapa de la Gobernación del Paraguay y de la de Buenos Aires con la línea divisoria de las tierras de España y Portugal...”¹⁸ y está realizada en 1752. En este mapa aparece una línea dibujada en color verde, que está trazada por un lugar parecido al que utiliza Cruz Cano para diseñar su línea N° 1. Los miembros de la Compañía de Jesús consideraron, y así lo indican en el mapa, que si la línea de frontera de 1750 siguiese esa trayectoria señalada en dicho mapa no perjudicaría ni a indios ni a portugueses, quizás esa misma idea que expresaban los jesuitas, inspiró a Cruz Cano para que parte de su línea N° 1 siguiese parecida trayectoria.

Esta línea N° 1 de “Termino de Misiones entre Perú y Brasil”, se trata de un límite completo de frontera,¹⁹ pues, en realidad, todos los territorios al oriente de ella están ocupados por asentamientos portugueses, pero al occidente de esta línea y al este de la línea N° 2, se encuentran territorios, que no teniendo para España la importancia que confería a los que se encontraban al oeste de la línea N° 2, sí eran ricos, unos en ganado, otros en materias primas y sobre todo en naciones de indios, potenciales cristianos y súbditos de la Corona, sin olvidar que estas zonas podían actuar de territorios tapón frente a la expansión portuguesa.

Analizando este territorio entre las dos líneas, y de sur a norte nos encontramos con varias zonas:

¹⁵ Unos 206 km al norte de la desembocadura del Yguazú.

¹⁶ Afluente por la derecha del Paraná.

¹⁷ Sale de la Hoja 6 y su cauce continúa en la Hoja 5, al sur del Trópico de Capricornio.

¹⁸ AGS. MPD, 06, 032.

¹⁹ Aunque no se identifique así en el mapa donde se representa, y se denomine término de misiones entre Perú y Brasil.

- La primera se encuentra en la Hoja N° 6, se trata de las Tierras de la Vaquería entre los ríos Jucay y Tevicuari, al norte de estas en la margen izquierda del cauce alto del río Uruguay, el Sitio de las Veinte Mil Vacas, zona de ocupación ganadera muy importante en la época.²⁰
- Al norte de este Sitio de las Veinte Mil Vacas, entre la margen izquierda del río Paraná y el nacimiento del río Yguazú,²¹ aparece el “Territorio de la Antigua Pcia. de la Guayrà, perteneciente a los del Paraguay, y Buenos Ayres que fue llamado al mismo tiempo del Tape ô Pcia. de Vera”. En esta Provincia de la Vera, junto con los pueblos ya citados al tratar de la línea N° 2, Tapitay y, Boy Población Nueva situados en la margen izquierda del río Paraná, también se encuentran una serie de misiones destruidas de oeste a este del río: Nuestra Señora de Copacabana, Tambo, Villa Rica y Los Arcángeles, San Antonio, La Encarnación y San Miguel. Por esta zona igualmente pasa un camino real que circunda el norte de estas misiones destruidas y une la margen izquierda del río Paraná²² con otro camino real que comunica los pueblos en el entorno de las Capitanías de San Vicente y del Rey. Este territorio de la Guayra o Provincia de la Vera fue asolado por los portugueses con antelación al tratado de 1750.²³
- Al norte de este camino se encuentran representadas en el mapa otras tres misiones destruidas, San Javier, San José y Loreto, ésta última en la margen izquierda del cauce medio del río Paraná Pané.

Las zonas pobladas al norte de esta hipotética zona neutral, entorno a la línea N° 1, se dividen entre asentamientos lusos al este e hispanos al oeste. Así, al norte del nacimiento del río Pardo, en zona de Misiones de Brasil, hay un pueblo grande, donde Cruz Cano sitúa un cartel con el nombre del pueblo y dice así “La estancia en donde los Portugueses pasan en hombros dos leguas las canoas para penetrar por el Rio Camapua hasta el Matogroso, Cuyaba &”. El pueblo de La Estancia se sitúa 10 km al sur del cauce del río Camapua;²⁴ este río, en su cauce medio, se llama Taquari y desemboca en el río Paraguay en el llamado Morro de las Cebollas. Los portugueses

²⁰ La carne no dejó de ser un artículo de lujo, que solo se comía en ciertas fechas, hasta la introducción de ganado en América, en cuyas fértiles tierras se adaptó muy bien, y se criaba solo en muchos sitios, sin necesidad de pastoreo. Este es el caso de los territorios entorno a la margen sur del río Uruguay.

²¹ Cerca de la línea N° 1.

²² Coincide con la desembocadura del río Ybay, que es un afluente del Paraná por la izquierda.

²³ La información se encuentra en el “Mapa de América del Sur con la línea divisoria de las colonias pertenecientes a España y Portugal”. AGS. MPD, 04, 036. Se encontraba en AGS. Estado, Legajo 07399, 0014. Acompañaba a copia de Pedro Cevallos a Ricardo Walls, San Borja 20 de febrero de 1759.

²⁴ En el mapa el río se denomina Camapoa.

utilizaban estos cauces para, llegando al río Paraguay, remontar sus aguas y entrar por el río Cheane,²⁵ hasta alcanzar el territorio de Cuyabá, situado claramente en zona de misiones brasileñas, con la villa del Jesús de Cuyabá, en la que como indica Cruz Cano había unas “Minas de Oro que trabajan los Portugueses”. De igual manera, remontando el río Paraguay, llegaban a su cauce alto y desde aquí, penetraban en el Matogroso.

Entorno a esta línea N° 1 que era la parte más extensa de lo que Cruz Cano consideró “Termino de Misiones entre Perú y Brasil” se van a ir intercalando, territorios ocupados por españoles y por portugueses. Así, el territorio del Matogroso queda al norte de la línea, en zona de misiones de Brasil, con su villa principal, la aurífera Villa Bella de Matogroso, unida por un camino real a San Antonio y Santa Ana en zona del Brasil. El camino paralelo al río Ytenes, por cuyo cauce asciende la línea, terminará en la villa de La Concepción, en la margen derecha del Ytenes. Las áreas urbanas, en esta zona límite del cauce medio alto del Ytenes, hasta su desembocadura en el río de la Madera, quedan de manera que el pequeño pueblo de Casa Redonda, frente a Isla Cumplida, se dibuja en zona de misiones del Brasil. Sin embargo 64 km al norte por el camino real en la margen derecha del Ytenes, San José Misión de Clérigos quedaba en zona española y, al noroeste la toldería de indios Baures situada en la margen izquierda del río, volvía a estar situada en zona de Brasil. Continuando el camino hacia el noroeste y en la margen izquierda del Ytenes, junto a la desembocadura del río de San Simón, el pueblo de San Simón, abandonado, dibuja en zona española. El pueblo de San José abandonado se encontraba 100 km río abajo, al noroeste de San Simón, en este caso en la margen derecha del Ytenes, se encontraba también en la zona de las misiones del Perú. Pero junto a éste, 16 km al noroeste el pequeño pueblo Hacienda del Francés cerca de la desembocadura del río de San Miguel, queda en zona del Brasil. Partiendo de Hacienda del Francés hacia el oeste transcurridos 114 km por el camino real, señala Cruz Cano en el mapa la villa de La Concepción y, al sur de ella el fuerte de la Estacada de Santa Rosa, ambos en zona española y en la margen derecha del Ytenes, si bien muy pegados a la línea. Frente a La Estacada de Santa Rosa, pero en la margen izquierda, la “Estacada Española de S. Josef por Baulen” en zona de misiones del Perú, al igual que un pueblo grande en la margen izquierda del río Baures,²⁶ el pueblo de San Miguel. Curiosamente se encuentra este pueblo 48 km en zona española, al sur de la línea, y en la primera edición del mapa aparece como “S. Miguel ocupado por los Portugueses” pero en las ediciones posteriores se denomina solamente “S. Miguel ocupado”. En la margen izquierda del Ytenes, frente a la Estacada de Santa Rosa, en zona española, está el pueblo de Santa Rosa la Nueva, abandonado.

²⁵ Este río cauce arriba se denomina río de Cuyaba.

²⁶ Afluente del Ytenes por la izquierda.

Observamos que en los últimos 550 km del río Ytenes hasta unirse con el río de la Madera, tan sólo aparecen habitados la villa de La Concepción, la Hacienda del Francés, el pueblo de San Miguel y la toldería de indios Baures. De ellos, la Hacienda del Francés y San Miguel, habitados claramente por súbditos portugueses; al sur de la margen izquierda del Ytenes, siguiendo los cauces de sus afluentes, los ríos Ubai y Baures, nos acercamos a la Provincia de los Moxos, cuyo límite por estos lugares no aparece, si bien todos los pueblos que surgen hacia el sur (La Magdalena, La Concepción, San Simón...) son claramente españoles. La línea prosigue por el río de la Madera, en la margen izquierda de la desembocadura del río Ytenes y el Mamoré. En el de la Madera hay un fuerte que denomina Cruz Cano “Estacada demolida”, en zona española; sigue la línea por el cauce del río de la Madera hasta el pequeño lago Cayaa, gira al oeste sin aparecer zona urbana alguna, continúa hasta la desembocadura del Yavari en el Amazonas, donde, en la margen derecha de este último, se encuentran las villas de San Pablo de Omaguas y San Pedro, ambas en zona portuguesa. Continuando la trayectoria de la línea ahora hacia el este, esta cruza los brazos de la desembocadura del río Yutay, en la margen derecha del Amazonas, encontrándose en esta zona los pequeños pueblos de Eviratóa, en el primer brazo y Traquatóa en el segundo, ambos en terrenos²⁷ de las misiones de Brasil, mientras que San Cristóbal, cerca de la desembocadura del río Ovaripana en el Amazonas por su cauce izquierdo-norte, está en zona de misiones del Perú.²⁸

La línea pasa a los afluentes del Amazonas por la izquierda, Yupur, Negro y Parime, cortando sus cauces hasta la Guayana a través de la Sierra de Tumucuraque. En todo este último trayecto no aparece zona urbana alguna cerca de la línea, salvo en el cauce del río Negro donde el pueblo de Avanda, 23 km al sur de la línea, queda claramente en zona portuguesa al igual que Nau, Bararóa, Aldeas de Carajais o Cámara y la ciudad de Barcellos, todos en la margen derecha del río Negro, en los 160 km al sur de la línea, claramente en un territorio muy poblado por portugueses.

²⁷ Eviratóa y Traquatóa se representan en la margen derecha- sur del Amazonas.

²⁸ Grimaldi, en su “Respuesta a la Memoria que presentó el 16 de Enero de 1776 el Exmo. Señor Don Francisco Inocencio de Souza Coutiño, Embaxador de S.M.F. cerca del Rei N. S. relativa á la Negociacion entablada para tratar del arreglo y señalamiento de Límites de las Posesiones Españolas y Portuguesas en América Meridional” (GRIMALDI, 1776. Ref. BNE. R/36665) al referirse a la frontera que se trazó sobre los mapas en el Tratado de 1750, dice: “La línea corta muchos parajes habitados como era el caso de la Margen Oriental del Uruguay con los siete pueblos de las Misiones y el de Sta. Rosa el viejo, en el de los Moxos... y quedaba para España el de S. Cristobal, que aquella nación había fundado indebidamente en el río de las Amazonas”. De igual manera, el Secretario de Estado español se está refiriendo a la Estacada de Santa Rosa o a la villa de La Concepción, como hemos visto en la margen derecha del cauce bajo del río Ytenes.

Por lo analizado, la línea de “Termino de Misiones entre Perú y Brasil” que, dividiéndose en dos, hemos denominado al tramo más largo N° 1 y al más corto y occidental N°2, señala las zonas de misión en las que misioneros de España y Portugal habían ocupado territorios en nombre de cada una de las coronas, con el fin de evangelizar indios y hacerlos súbditos de los respectivos monarcas. Éste era el mandato principal que aparece en las Bulas otorgadas por los Papas Nicolás V, Calixto III y Alejandro VI, a los monarcas portugueses y españoles. Extraño es observar que Juan de la Cruz Cano, en lugar de señalar una línea con una sola dirección, realice dos trayectorias. La explicación más lógica es que el autor, ateniéndose a la información recogida por él de mapas, corografías, testimonios recibidos de personas que estuvieron en la zona,²⁹ señala, como dice la leyenda de la primera edición del mapa, las zonas evangelizadas hasta esos momentos tanto por misioneros españoles procedentes del Perú y súbditos del rey de España, como las cristianizadas por misioneros procedentes de las ciudades costeras brasileñas y del mismo Portugal, súbditos del monarca portugués. Pero entre las dos líneas, quedarían los territorios correspondientes a la Provincia de la Vera,³⁰ dónde, como he indicado anteriormente, hubo misiones, pero fueron destruidas y en los momentos de realizarse el mapa no estaban ocupadas por nadie, por lo que Cruz Cano dejó estas zonas fuera de las líneas. Posiblemente esta Provincia de la Vera y los terrenos anexos, estaban situados en la primera edición del mapa entre las dos líneas, como una zona sin ocupar en aquellos momentos por españoles ni portugueses, y posiblemente con la idea de ser esta una zona neutral entre ambas naciones.

Como ya se ha indicado, las líneas fueron borradas por orden de Grimaldi, quien pretendía conseguir de nuevo el mayor territorio posible en Brasil, durante las negociaciones previas al Tratado de 1777. El Secretario de Estado español quería situar la frontera en Brasil en las líneas de Tordesillas, o lo más cerca posible de éstas. Por lo que según él no podía utilizarse un mapa para preparar el tratado donde apareciesen las líneas de misiones representadas por Cruz Cano en la primera edición de su mapa. Pero a pesar de ser estas borradas, la opinión de Grimaldi no era la única existente en la corte de Madrid sobre el tema de la frontera brasileña.

Las líneas borradas y el Tratado de 1777

Llama la atención, al leer los documentos de preparación de las conversaciones previas al Tratado de 1777, como en esa cesión de territorios en la América del Sur, en aquellos momentos, parecen tener menos importancia para España una serie de zonas

²⁹ Como Manuel Antonio Flores Maldonado de Angulo y Bodquín y Antonio de Ulloa.

³⁰ Antigua Guayrá o Tape, que Cruz Cano señala como pertenecientes a las del Paraguay y Buenos Aires. Zona de misiones jesuíticas, pero que, en torno a 1630, había sido atacada por bandeirantes portugueses y defendidas y vueltas a ocupar por los indios guaraníes.

productoras de materias primas minerales, como las Reales Minas de Paraná Pane, las minas de oro de Villa Bella de Matogroso, otras minas de oro unos 125 km al noroeste de las anteriores, Villa del Oro y una mina de oro 64 km al norte de las anteriores. Por el contrario se preferían las zonas ganaderas entorno a los cauces medio y bajo del río Uruguay y, sobre todo, lo más importante, las zonas de misiones en este mismo territorio, pobladas por indios ya evangelizados, y según todos los informes, con una producción económica no superada en la zona en el tiempo en que fueron creadas y dirigidas por los jesuitas.³¹ No podemos olvidar que, desde que en 1761 se revoca el Tratado de 1750, Pedro Cevallos permitió que volvieran a las misiones algunos jesuitas y en torno a 1,500 indios. Posiblemente, la política posterior a 1760, ya con Carlos III, era volver a ocupar y revitalizar económicamente esos territorios y también los de la Provincia de Vera, si bien esta última zona no aparece poblada en el mapa.³² Según explica Diego de Alvear, esta zona tuvo una alta demografía, en torno a 300,000 individuos, y en el siglo XVII la evangelización por parte de los miembros de la Compañía de Jesús fue muy intensa. Las Reducciones creadas por los misioneros fueron atacadas, desde su creación, por mamelucos y paulistas; muchos de los ataques fueron rechazados, pero se incrementaron a partir de 1628-1630. Las incursiones de los portugueses tenían como fin la captura de indios para esclavizarlos, de hecho un testigo informó al rey Felipe IV de la venta de 60,000 indios esclavos en Río de Janeiro el año 1637. La persecución fue tal que se trasladaron las Reducciones de la Guayra a la zona de Yabebiry, emigrando unas 12,000 almas. A principios del año 1738 una segunda trasmigración se produjo a las zonas más orientales del Paraná y Uruguay.

³¹ Posiblemente, en esos momentos, con un pensamiento económico fisiócrata, pensasen que era mejor una economía generadora de productos agrícolas y manufacturados que una puramente extractiva. En este caso, la forma de producir en las “Reducciones Jesuíticas” había sido más humana con los indios que otras formas de explotación. No podemos olvidar como en su libro *Noticias Secretas de América*, Jorge Juan y Antonio de Ulloa critican la forma relajada de evangelización que tenían los franciscanos en la zona amazónica del Perú y ensalzaban la labor de los jesuitas en la zona de Mainas y recomendaban que se confiara la evangelización de la Amazonía a la Compañía de Jesús por su “fervor constante para permanecer en tales empresas sin que la inconstancia de los indios los desaliente” (Juan y Ulloa, 1826).

³² La evangelización de todo el territorio de la Guayra, si bien en el siglo XVI se intentó de manera esporádica, es en el siglo XVII, a partir de 1609, cuando se produce de forma eficiente y sostenida por parte de los jesuitas José Cataldino y Simón Maceta, que recorrieron, en muchos casos, los mismos lugares que antes habían intentado evangelizar sus antecesores, Padres Ortega y Filde. Penetraron por las riveras del Paraná-Pane siendo bien aceptados, por lo que nos indica el Comisario de Límites del Tratado de 1777, Diego de Alvear (Alvear, 1863, p. 39).

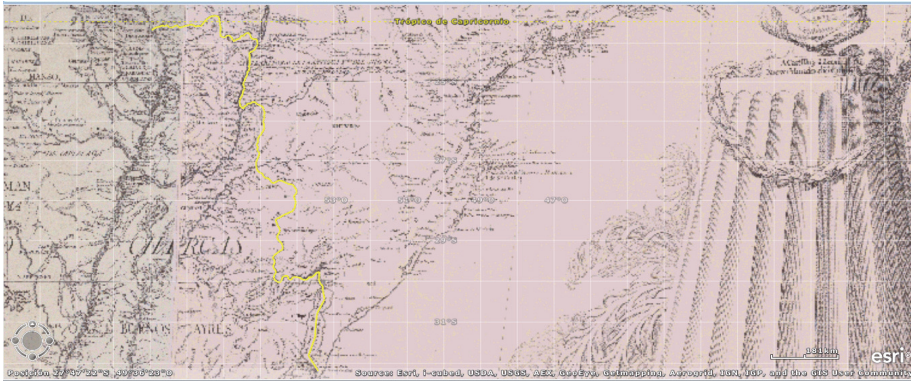


Figura 2. Línea corta borrada por Juan de la Cruz Cano del *Mapa de América Meridional de 1775*, por mandato del marqués de Grimaldi. Dividía las misiones del Brasil y Perú.

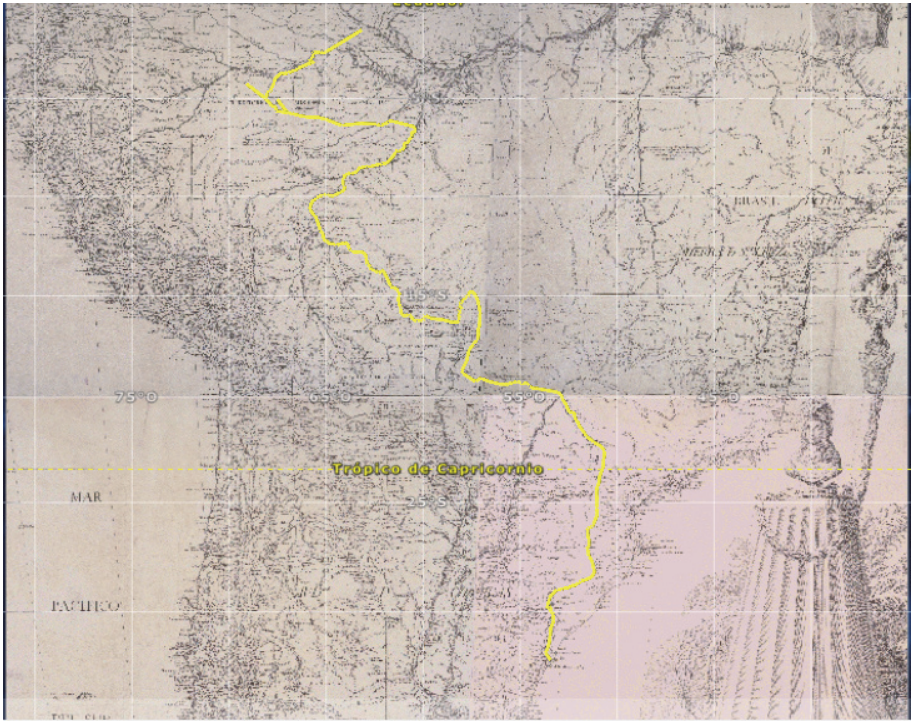


Figura 3. Línea larga borrada por Juan de la Cruz Cano del *Mapa de América Meridional de 1775*, por mandato del marqués de Grimaldi. Dividía las misiones del Brasil y Perú. Por el norte seguía, más o menos, el cauce del Amazonas.



Figura 4. Línea realizada por el autor de este artículo sobre el Mapa de América Meridional de Juan de la Cruz Cano de 1775, siguiendo los artículos del Tratado de 1777. Está teórica frontera, nunca se llegó a materializar, al igual que ninguna de las pactadas entre Portugal y España.

Por el Tratado de 1777 se cederán por parte de España, territorios inmensos en extensión y producción de materias primas algunos de ellos ocupados por Portugal, en muchos casos difíciles de defender y ocupar, con el fin de mantener la Colonia de Sacramento y las zonas de misiones, por el valor estratégico la una, y económico y posiblemente demográfico, las segundas. En febrero de 1767 fueron expulsados los jesuitas de los territorios de la Corona española y las misiones pasaron a ser administradas espiritualmente por franciscanos, dominicos y mercedarios. Durante el siglo XVIII no volverán a tener la prosperidad anterior, si bien, en 1788 estos territorios,

según Diego de Alvear, eran ricos en agricultura, ganadería, hierba mate y manufacturas de algodón, pagando un tributo al rey de un peso de plata al año cada indio varón de entre 18 y 50 años, y diezmos a la iglesia de 100 pesos de plata por reducción al año.³³

La importancia que, para ciertos sectores de la corte, tenían estos territorios ocupados por misiones, se puede observar al analizar el proceso de cambio de administración que se produce en la zona en el siglo XVIII. En estos pueblos afectados por el Tratado de 1750 y por la posterior guerra, su administración fue dividida en dos en 1768 por el gobernador de Buenos Aires, Francisco de Paula Bucarelli: por un lado los diez pueblos de las misiones del Uruguay con sede en San Miguel, y por otro lado los veinte restantes con sede en Candelaria; San Joaquín y San Estanislao se unieron al Gobierno de Asunción. En 1770, el mismo Bucarelli, creó la figura de un Gobernador de Misiones, para centralizar la organización, quien dividió de nuevo las misiones en tres departamentos, dependientes de San Miguel, Santiago y Yapeyú. En agosto de 1776 se creó interinamente el Virreinato del Río de la Plata, con algunos territorios del Virreinato del Perú, estando la sede en Buenos Aires; este Virreinato se afianzó por la cédula dictada en San Lorenzo en octubre de 1777, donde quedaba definitivamente establecido el mismo y los territorios de misiones, situados dentro de éste.

La línea “Termino de Misiones entre Perú y Brasil” que borrará Cruz Cano de las planchas tras la primera edición, coincidirá en muchos de los puntos por donde pasa, con los lugares que se pactaron en el Tratado de 1777. Del mismo modo, en el artículo VI del Tratado se especifica dejar una zona neutral, entre los límites de ambas naciones, que coincidiría con esa zona neutral y despoblada, entre las líneas Nº 1 y 2 del mapa de Juan de la Cruz Cano.³⁴ El artículo XII deja sin definir la línea entre los ríos Japura y Negro, solo se refiere a trazar ésta, respetando los asentamientos de ambas coronas.

Cruz Cano, al realizar esta línea posteriormente borrada, intentó situar en el mapa una realidad existente lo más precisa posible. Por ello y una vez informado con los documentos a los que pudo tener acceso, situó las zonas ocupadas por misioneros españoles, las que estaban evangelizadas por portugueses, y una zona despoblada. Pero incluso contando con la buena fe del geógrafo, el asunto no era tan sencillo, pues surgieron muchas incógnitas, entre ellas que no todos los individuos que realizaban la evangelización, sobre todo los de la Compañía de Jesús, eran españoles y

³³ Consideraba Alvear estos impuestos moderados, pero se habían reducido desde la expulsión de la Compañía de Jesús (Alvear, 1863, pp. 77-83).

³⁴ Angelis, 1836, “Tratado preliminar de límites 1777....”, Artículos IV, V, VI, VIII, IX, X, XI.

portugueses, y servían a los reyes de dichas naciones. Tampoco las diplomacias ibéricas tenían por aquellos años del siglo XVIII, la misma fuerza internacional que cuando llegaron a ocupar los territorios por los que litigaban dos siglos después.

Si comparamos esta línea con las señaladas en los anteriores mapas, aquellas de haberse tomado como fronteras, eran mucho más favorables a España, o al menos al sector español que quería mantener más territorios en América.

Situando en el mismo mapa las dos líneas dibujadas por Cruz Cano, aparece entre ellas un espacio, que podría considerarse parecido, al territorio neutral al que se refieren en los artículos del Tratado de 1777, zona neutral y sin ocupación entre España y Portugal, en el Paraguay.

Conclusiones

Los problemas asociados a la realización, impresión y descontrol en su distribución del *Mapa de América Meridional* de Juan de la Cruz Cano y Olmedilla de 1775, que se llevaron por delante la reputación de su autor, no estuvieron relacionados directamente con algunas de las líneas que se dibujaron en él, pues estas fueron borradas de casi todos los mapas.

Pero en la obra cartográfica se señalaban muchas más cosas, lugares por donde pasaban los portugueses, zonas ocupadas por estos... y sobre todo mucha información. Es decir, los mejores datos que durante muchos años se pudieron tener sobre América Meridional.

La información geográfica contenida en el mapa disparó los desencuentros que había entre las dos tendencias existentes en la corte de Madrid, que se enfrentaban y seguirían enfrentándose por el poder. Esta misma información, fundamental para realizar las reformas previstas en América por la administración borbónica, no pudo ser controlada por la Secretaría de Estado.

Las reformas fracasaron, y la información terminó en manos de los enemigos de España, que la utilizaron con la finalidad contraria a la que había sido creada.

La cartografía, al decir del profesor Cuesta Domingo, es un arma política, y más en aquellos momentos del siglo XVIII, y como toda arma hay que tener capacidad para manejarla, y tener claro para lo que se quiere usar. Los dos grupos de poder españoles en aquellos momentos querían utilizar el mapa con fines distintos, ninguno consiguió sus objetivos. Tampoco los esfuerzos del ministro Floridablanca, que sustituyó a Grimaldi, consiguieron mantener la información fuera del alcance de los enemigos de España, quienes en 1799 copiaron el mapa conseguido ilegalmente por Thomas Jefferson.

Políticamente el mapa fue un problema y un fracaso para la Secretaría de Estado, fracaso que ellos dirigieron al autor de la obra. Pero desde el punto de vista técnico, geográfico y científico, la obra fue la mejor de su época, como lo reconocieron militares, cartógrafos, y los enemigos de España que la utilizaron.

Bibliografía

- Alvear de, Diego (1863). *La relación geográfica e histórica de la provincia de Misiones*, Editor Pedro de Angelis, Imprenta del Estado, Buenos Aires.
- Angelis, Pedro de (1836-1837). *Colección de obras y documentos relativos a la Historia Antigua y Moderna de las Provincias del Río de la Plata*, 6 vols. Buenos Aires, Imprenta del Estado.
- Arteaga, Juan José (1999). *Las consecuencias del Tratado de Madrid en la desarticulación de la frontera demográfica de la Banda Oriental 1750-1761*, Montevideo, Archivo General de la Nación.
- Bachiller Cabría, Juan Vicente (2008). *Cartografía manuscrita de Brasil en las colecciones españolas (1500-1822)*, Salamanca, Universidad de Salamanca, Centro de Estudios Brasileños.
- Blanco Conde, María (2006). “Mapa histórico de las misiones jesuíticas en el Paraguay”. *Cuadernos hispanoamericanos*, Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo, Madrid. 678:75-83.
- Cortés, Armando y Teixeira da Mota, Avelino (1960-1961). *Portugaliae Monumenta Cartographica*, 6 vols., Lisboa, Brotéria.
- Cortés, Jaime (1952-1956). *Alexandre de Gusmão e o Tratado de Madrid*, 2 tomos, Río de Janeiro.
- Cuesta Domingo, Mariano (1974). “Las islas Molucas en la cartografía”: *Atti del X Congresso Internazionale degli Americanisti. Roma, Vol. I*, Génova, Roma.
- Cuesta Domingo, Mariano (1996). “La fijación de la Línea de Tordesillas en el Extremo Oriente”, *El Tratado de Tordesillas: 1482-1518*, Setubal, Salamanca, Tordesillas 1994, Madrid.
- Cuesta Domingo, Mariano (2002). “Cartografía de América del Sur. Juan de la Cruz”, *Actas XI Jornadas Nacionales de Historia Militar. Milicia y sociedad ilustrada en España y América (1750-1800). Tomo II*. Sevilla, Cátedra “General Castaños” Región Militar Sur, pp. 209-237.
- Donoso, Ricardo (1963). “El mapa de la América Meridional de la Cruz Cano y Olmedilla”, *Revista Chilena de Historia y Geografía*, 131:121-175, Santiago de Chile.
- Englekirk, John E. (1956). “Franklin y el mundo Hispano”, *Revista Iberoamericana*, XXII(41-42):319-371.
- Escudero, José Antonio (2014). *El supuesto memorial del conde de Aranda sobre la independencia de América. Ciudad de Méjico*, Instituto de Investigaciones Jurídicas. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Ferrand de Almeida, André (2009). “O Mapa Geográfico de América Meridional de Juan de la Cruz Cano y Olmedilla”, *Annals of Museu Paulista*, 17(2):79-89, Sao Paulo.

Smith, Thomas R. (1966). "Cruz Cano's map of South America, Madrid, 1775: Its creation, adversities and rehabilitation", *Imago Mundi*, 20(1):49-78, Taylor & Francis Online.

Revista Cartográfica

Definición de la Revista

La *Revista Cartográfica* (RCA) del Instituto Panamericano de Geografía e Historia (IPGH) es una publicación semestral; 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)
 Av. Brasil 15.671 – Parada de Lucas
 Cep 21.241-051, Rio de Janeiro, RJ, Brasil
 Correo electrónico: valeria.araujo@ibge.gov.br

No se devolverá el material enviado.

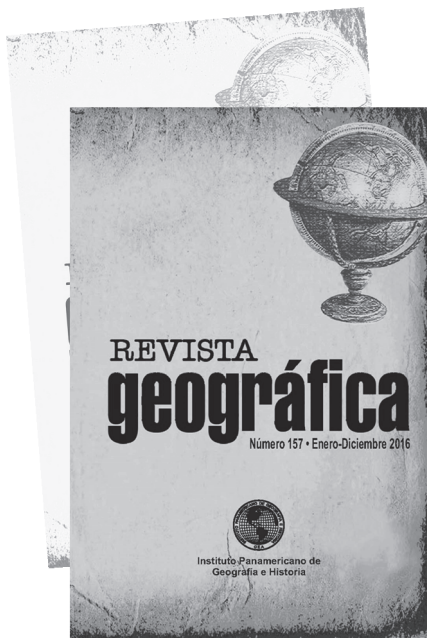
Función editorial del Instituto Panamericano de Geografía e Historia

El IPGH publica seis revistas, impresas y distribuidas desde México. Estas son: *Revista Cartográfica*, *Revista Geográfica*, *Revista de Historia de América*, *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 Ciudad de México, México
 Tels.: (+52-55) 5277-5888 / (+52-55) 5277-5791 / (+52-55) 5515-1910
 Correo electrónico: publicaciones@ipgh.org



Revista Geográfica, número 157 enero-diciembre 2016

Contenido: **Orientación geográfica. La Geo perspectiva integral** *Cristóbal R. Cobo Arizaga* ☐ **Landslide inventory mapping for calculating potential lahar volume for Canton Buenos Aires on Ilamatepec (Santa Ana) Volcano, Santa Ana, El Salvador** *Jorge V. Bajo Sanchez, Bettina Martinez-Hackert, Gabriel Legorreta Paulin y Francisco S. Montalvo Piche* ☐ **Variabilidad de las bajas y altas frecuencias de los principales factores que inciden en las precipitaciones nivreas en los andes áridos** *Arnobio Germán Poblete y Mariela Carina Hryciw* ☐ **Evaluación de los recursos hídricos de Cuba** *José Luis Batista Silva* ☐ **La Infraestructura de Datos Espaciales (IDE) de México. Modelo Conceptual** *Carlos A. Guerrero Elemen* ☐ **El Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica** *Carlos A. Guerrero Elemen* ☐ **Análisis comparativo de las metodologías de los sistemas de clasificación de la cobertura de la Tierra LCCS y CORINE, para mapeo de coberturas terrestres** *Elena Posada y H. Cristina Salvatierra*

Revista Geográfica, número 158, enero-diciembre 2017

Contenido: **Análisis de riesgo de la zona costera del departamento de Canelones, Uruguay: la información geográfica como herramienta para la gestión del territorio** *Guillermo D'Angelo*, ☐ **Inventario de deslizamientos y modelado de la susceptibilidad mediante regresión logística múltiple en la cuenca del río La Carbonera, flanco SE del Volcán Pico de Orizaba, México** *Gabriel Legorreta Paulin y Fernando Aceves Quesada* ☐ **Peligrosidad y vulnerabilidad en los Esteros del Iberá, Argentina: análisis geográfico desde la Teoría Social del Riesgo** *Maria Cristina Zilio y Analia Zamponi* ☐ **Riesgo volcánico: estado del arte y desafíos de trabajo** *Gemma Gómez-Castillo, Manuel E. Mendoza, José Luis Macías y Erna López Granados* ☐ **Análisis climatológico dinámico de la transición entre el período Nival Seco 2010-2014 a uno normal 2015-2016 en los Andes Áridos** *Rogelio Ramos-Aguilar, Patricia Máximo-Romero, Andrés Sánchez-Hernández, María de la Cruz Vázquez-García, Laura Jimena Torres Soto, Diana Laura Torres Sánchez y Dora Marcela Benítez-Ramírez* ☐ **Caracterización y modelamiento espacial de patrones en humedales alto andinos Perú, mediante algoritmos periodo 1985-2016** *Jhonathan Aponte Saravia, Jesús Efrén Ospina y Elena Posada* ☐ **De ciudad tradicional a smart city** *Andrea Antonia Córdoba Pinzón*



INSTITUTO PANAMERICANO DE GEOGRAFÍA E HISTORIA

Ex-Arzobispado núm. 29, Col. Observatorio
11860, Ciudad de México

Tels.: (52-55)5277-5888, 5277-5791 y 5515-1910
publicaciones@ipgh.org <http://www.ipgh.org>

Edición del
Instituto Panamericano de Geografía e Historia
realizada en su Centro de Reproducción
Ex Arzobispado núm. 29, Col. Observatorio,
11860, Ciudad de México, México
Teléfono 5277-5791 | 5277-5888
publicaciones@ipgh.org
2018

**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	(Washington, EUA)
Historia	(Ciudad de México, 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.



El Mapa Integrado Andino del Norte Ángel Martín, Juan José Contreras Edson Salinas, Percy Valverde, Rafael Balbi, Vinicius E. Medeiros, Alesandra Vianey, Amadeo Fajardo, Paulina Guerrón, Eliana Tene, Elizabeth Sámuels, Ariel Agrazal, Reynaldo Flores, Wilman Avilés, Jean Parcher, Roberto Lugo, Luis Miguel Blanco y Antonio F. Rodríguez • When paths cross: maintaining utility of trajectory data in geomasking Dara E. Seidl Measuring conflation success Marta Padilla-Ruiz y Carlos López-Vázquez • Métodos de evaluación de la calidad posicional en Hispanoamérica: análisis de la situación F. Javier Ariza-López, Emerson Xavier, Elena Chicaiza y Xavier Buenaño • Predicción de alturas geoidales geométricas por redes neuronales artificiales José Carrión, Alfonso Tierra y Daniel del Cogliano • Proyección Cónica Equivalente de Albers: propiedades y aplicación para México Mariana Vallejo Velázquez y Jesús Abraham Navarro Moreno • Uso de software libre QGIS (Quantum GIS) para ensino de Geoprocessamento em nível superior Marcia Harumi Ito, Homero Fonseca Filho y Luís Américo Conti • Deforestation in the Kayabi Indigenous Territory: Simulating and Predicting Land Use and Land Cover Change in the Brazilian Amazon Hugo de Alba Martínez • Detección digital de Sistemas Convectivos de Mesoescala a partir de imágenes meteorológicas multiespectrales Salomón Ramírez y Ivan Lizarazo • El Mapa de América Meridional de Juan de la Cruz Cano de 1775, y los problemas territoriales de España en Brasil José Andrés Jiménez Garcés

ISSN 0080-2085