revista CARTOGRÁFICA

Edición conmemorativa

Número 83
Enero-Diciembre 2007

Instituto Panamericano de Geografía e Historia

INSTITUTO PANAMERICANO DE GEOGRAFÍA E HISTORIA
·OEA·

AUTORIDADES
DEL
INSTITUTO PANAMERICANO DE GEOGRAFÍA E HISTORIA
2005-2009

PRESIDENTE	Dr. Oscar Aguilar Bulgarelli	Costa Rica
VICEPRESIDENTE	Dr. Leonel Vivas Jerez	Venezuela

SECRETARIO GENERAL
M. Sc. Santiago Borrero Mutis
Colombia

COMISIÓN DE CARTOGRAFÍA
Presidenta:
Cart. Alejandra Coll Escanilla
Vicepresidente:
Cnel. Rodrigo Maturana Nadal
(Chile)

COMISIÓN DE GEOGRAFÍA
Presidente:
Ing. Mario Alberto Reyes Ibarra
Vicepresidente:
Ing. Antonio Hernández Navarro
(México)

COMISIÓN DE HISTORIA
Presidenta:
Dra. Maria Cristina Mineiro Scatamacchia
Vicepresidente:
Dr. Carlos Almeida Prado Bacellar
(Brasil)

COMISIÓN DE GEOFÍSICA
Presidente:
Dr. Carlos Mendoza
Vicepresidente:
M. Sc. Bruce W. Presgrave
(EUA)

MIEMBROS NACIONALES DE LA COMISIÓN DE CARTOGRAFÍA

Argentina:	Cnel. Alfredo Augusto Stahlschmidt
Belice:	
Bolivia:	Gral. Raúl Virreira
Brasil:	Isabel de Fátima Teixeira Silva
Chile:	Ing. César Leiva
Colombia:	Ing. Miguel Ángel Cárdenas Contreras
Costa Rica:	M.Sc. Max Alberto Lobo Hernández
Ecuador:	May. Ing. Richar Saavedra
El Salvador:	Ing. Katia Isabel Madrid
Estados Unidos:	Leslie Armstrong
Guatemala:	Ing. Marcos Osmundo Sutuc Carillo
Haití:	
Honduras:	Arq. Marilyn Villatoro
México:	Biol. Francisco Takaki Takaki
Nicaragua:	
Panamá:	Ing. Everardo Meza
Paraguay:	Ing. Lorenzo A. Centurión C.
Perú:	Tte. Cnel. Juan Peñarrieta de Córdova
Rep. Dominicana:	Cnel. Rosanna L. Pons Peguero
Uruguay:	Cnel. José M. Lazo
Venezuela:	Lic. Ángel Rodríguez

COMITÉS DE LA COMISIÓN DE CARTOGRAFÍA

Comité Asesor de la Comisión
Comité de Infraestructura de Datos Geoespaciales
Comité de Fortalecimiento Institucional y Cooperación Técnica
Comité de Hidrografía
Comité de Cartas Aeronáuticas

INSTITUTO PANAMERICANO DE GEOGRAFÍA E HISTORIA

revista CARTOGRÁFICA

80 Aniversario 1928-2008

IPGH

NÚMERO 83 ENERO–DICIEMBRE 2007

REVISTA CARTOGRÁFICA

Publicación semestral fundada en 1952
Indizada en PERIÓDICA

La preparación de la REVISTA CARTOGRÁFICA
está a cargo del editor:
Geógrafo Hermann Manríquez Tirado
Instituto Geográfico Militar
Nueva Santa Isabel No. 1640
Santiago de Chile
Teléfono: (562) 410-9314 y 410-9313
Correo electrónico: hmanriquez@igm.cl / hmanriquezt@yahoo.es

Comité Editorial
Dr. Luiz Paulo Souto Fortes, IBGE (Brasil)
Ing. Antonio Hernández Navarro, INEGI (México)

Canje, venta y distribución de publicaciones, escribir a:
Instituto Panamericano de
Geografía e Historia
Secretaría General
Apartado Postal 18879
11870 México, D.F.
Teléfonos: (5255)5277-5888, 5277-5791 y 5515-1910 Fax: (5255)5271-6172
Correos electrónicos: secretariageneral@ipgh.org y/o info@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)."

Foto Portada: *Modelo 3D elaborado a partir de la hoja topográfica Valparaiso,* escala 1:50,000, *publicada por Instituto Geográfico Militar*. La imagen muestra la ciudad de Valparaiso y su conurbación con la ciudad de Viña del Mar, en el litoral de Chile central. El sector, corresponde a una planicie litoral disectada por numerosas quebradas que la cortan en un sentido este oeste. La cartografía tridimensional permite entender fácilmente las formas del relieve, muy útil en los procesos educativos de los niveles escolares.

Cover Photo: 3D model made on the basis of the topographic map sheet of Valparaiso, 1:50,000, published by the Military Geographic Institute, the image shows the city of Valparaiso and its conurbation together with the town of Viña del Mar, on the coastal plain of central Chile. This sector is a coastal plain cut through by guillies running from East to West. The three-dimensional cartography enables the relief to be easily understood, which is very useful in educational processes at children's schools.

© Año 2008 Instituto Panamericano de Geografía e Historia.

revista CARTOGRÁFICA

NÚMERO 83 MÉXICO ENERO–DICIEMBRE 2007

Sumario

Nota Editorial 5

Editorial Note 7

A PAIGH Program that Connects Geography and Cartography
Richard R. Randall 9

Un Programa del IPGH que une Geografía y Cartografía
Richard R. Randall 13

La docencia universitaria sobre Infraestructuras de Datos Espaciales
Miguel A. Bernabé
Miguel A. Manso
María Ester González 17

Cartografía de Redes y Mapas de Flujos: educación geográfica más eficiente
Osvaldo A. Muñiz Solari 37

Experiencias en la enseñanza de nuevas tecnologías: el Centro de Geomática de la Universidad de Talca
Carlos Mena Frau
Jaime Latorre Alonso
John Gajardo Valenzuela
Yony Ormazábal Rojas
Yohana Morales Hernández 59

On the Computation of Rigorous Orthometric Height
David Avalos-Naranjo
Antonio Hernández-Navarro 79

La Componente Posicional de los datos geográficos: análisis crítico de los métodos de evaluación y reporte en Hispanoamérica
Francisco Javier Ariza López
Alan D. James Atkinson Gordo
Marcelo Antonio Nero
Jorge Pimentel Cintra 91

Aplicaciones del Mapa Global de las Américas
Jean W. Parcher
Edwin Hunt
Anna Lucia Barreto de Freitas
Zachary D. Wilson
Robin H. Gary 145

Applications of the Global Map of the Americas
Jean W. Parcher
Edwin Hunt
Anna Lucia Barreto de Freitas
Zachary D. Wilson
Robin H. Gary 161

Modelo Digital del terreno y Cartografía del Volcán de Colima (México) utilizando imágenes Landsat y un Sistema de Información Geográfica
José Miguel Gaspar Soriano
Ignacio Galindo Estrada 177

Modelado de edificios a grandes y pequeñas escalas
Carlos Acevedo Pardo 193

Nota Editorial

El momento actual de la sociedad posmoderna, en la línea histórica de la humanidad, se relaciona con la tecnología, la informatización y la globalización, conceptos que están incorporados, en mayor o menor medida, prácticamente en todas las actividades humanas, mejorando las capacidades de administración, análisis y masificación de la información, por una parte, y facilitando el quehacer diario de las sociedades y de los individuos, por otra. Bajo una óptica territorial, los tradicionales paradigmas que reflexionaban sobre la interconexión física entre lugares son reemplazados por nuevos enfoques en el que las redes de comunicación estimulan nuevas formas de organización espacial, favoreciendo la valoración del lugar y la identidad local.

Desde esta óptica, es posible reconocer hoy día espacios particulares y sensibles, como aquellas áreas en permanente situación de riesgo frente a eventos naturales extremos; espacios urbanos con una muy compleja y variada dinámica, espacios de protección natural como parques o reservas, con una muy rica diversidad biológica; espacios transfronterizos de interés común en regiones o Estados vecinos; o espacios con una rica herencia cultural, tan característica de muchos lugares del mundo panamericano de hoy.

En el campo de la administración y el ordenamiento, algunos gobiernos han encontrado interesante una gestión integrada de los espacios territoriales en función de cuencas hidrográficas, en contraposición a los tradicionales límites administrativos de gran rigidez política. Las experiencias se multiplican aritméticamente y las visiones antaño sectoriales han diluido sus bordes conceptuales en función de una superposición sistémica, no sólo de competencias por un suelo restringido desde el punto de vista territorial, sino también por la complejidad de las interrelaciones entre los elementos del sistema biofísico, que exigen no sólo un mayor conocimiento, sino también de mecanismos adecuados para su administración.

El Instituto Panamericano de Geografía e Historia (IPGH), como organismo técnico sustentado en Comisiones Científicas que le entregan su esencia y razón de ser, a partir de la Primera Reunión Técnica Conjunta de las Comisiones, reali-

zada en la ciudad de Itu, en Brasil en el mes de junio de 2007, se ha puesto como objetivo lograr una mayor interdisciplinariedad en torno a los temas panamericanos, colocándolo como *leitmotiv* que guiará la agenda científica del IPGH para los próximos años.

El IPGH cumple 80 años de vida. Este aniversario coincide con un momento en que las geociencias cobran una gran relevancia a nivel mundial y su expresión espacial uno de los medios más efectivos para su difusión en la sociedad global. La Comisión de Cartografía del IPGH tiene hoy una importante e interesante oportunidad para convertirse en un medio articulador y potenciador de los actores primordiales del quehacer cartográfico actual en nuestros países.

El mundo académico es el llamado a asumir un rol esencial, colocando en el foro de la discusión los elementos conceptuales de la investigación pura y fundamental. Las agencias cartográficas nacionales, son llamadas a concretar los procesos de estandarización y certificación no sólo de sus procesos sino también de sus productos. El ámbito profesional, es el que deberá colocar en práctica, con todo el rigor de la responsabilidad social, todos esos conocimientos.

En esta edición conmemorativa de estos 80 años, la *Revista Cartográfica* coloca a disposición de la comunidad panamericana interesantes artículos en los que se encuentran muchos de los aspectos y temáticas de la cartografía, abordados de manera rigurosa y científica; con este aporte, y desde esta muy humilde posición, sólo queremos decir “Feliz cumpleaños IPGH”.

Geog. Hermann Manríquez Tirado
Editor en Jefe
Revista Cartográfica

Editorial Note

The current status of our post-modern society, placed on the line of the history of humanity, involves especially technology, the penetration of informatics and globalization. These concepts have been, to a greater or lesser extent, incorporated into practically all human activities, improving capabilities for managing, analysing and distributing information and also facilitating the daily functioning of societies and individuals. From a territorial viewpoint, the traditional systems of thought, tending to observe more the physical inter-connection between places, have been superseded by new approaches in which communication networks encourage fresh forms of spatial organization, favouring the value given to the places themselves and to local identity.

From this viewpoint, it is possible today to pick out unique and sensitive issues, such as those zones at risk, permanently, from extreme natural hazards; urban areas with complex and varied dynamics, protected nature reserves and parks with widely diverse wildlife; cross-boundary areas where there are shared interests across regional or international boundaries; or spaces with a rich cultural heritage, so characteristic of many places in the pan American world of today.

In the field of management and coordination, some governments have found an integrated management of territorial units defined by hydrographic basins interesting, in contrast with the traditional administrative boundaries of great political rigidity. These experiences have built up steadily, and the old viewpoints restricted to individual disciplines have seen their conceptual boundaries blurred and broken down by the interaction between the systems of these sectors, resulting from competition between rival practical applications to study and use the same finite territorial units. The complexity of the inter-relations between the elements of the biophysical system demands not only greater knowledge but also suitable mechanisms for their management.

The Pan-American Institute for Geography and History (PAIGH), as a technical organisation sustained by the scientific commissions that constitute its main function and reason to exist, has set as its main objective achieving a greater interdisciplinary capability around pan-american issues, making this the “leitmotiv” to

guide the scientific Schedule of the PAIGH over the next few years. This objective was set as from the first jointly-held "Technical Meeting" of all the Commissions, held in the town of Itu, Brazil, in June 2007.

The PAIGH is now 80 years old. The anniversary coincides with a time at which the geosciences have become greatly relevant at world level and their spatial expression one of the most effective media for their communication throughout world society. The Cartography Commission of the PAIGH now has the important and interesting opportunity to become the means by which the main entities and protagonists of current cartographic practice in our countries can be strengthened and be inter-connected.

The academic world has been called on to undertake an essential role, placing into the forums of debate the conceptual elements of pure and fundamental research. National cartographic agencies have been called on to put into effect the processes of standardization and certification not only of its processes but also of its products. The professional sphere of action is where all this knowledge should be put into practice, with all the rigour of social responsibility.

This edition of the Cartographic Journal celebrates eighty years of the PAIGH and places at the disposal of the pan-american community interesting articles in which many of the issues and themes of cartography will be found, treated in a disciplined, scientific manner. With this contribution, and from this most respectful position, we only wish to say "Happy birthday PAIGH".

Geog. Hermann Manríquez Tirado
Chief Editor
"Revista Cartográfica" (Cartographic Journal)

A PAIGH Program that Connects Geography and Cartography

Richard R. Randall*

Abstract

The importance of geographic names has been understood for centuries, but the benefits of having accurate names on maps and other reference documents have been understood only relatively recently. The concern is that geographic names need to be accurately spelled. These efforts are called standardization and often require cooperation among nations. Some countries have such programs. The Pan American Institute of Geography and History has been involved with a series of annual training courses for some 20 years in countries of Central and South America so such organizations can develop procedures leading to standardized names. The United Nations also has been active in promoting programs at the international level. The motto of the PAIGH courses is: "Geographic Names-The Key to Global Communications." As the title of the paper indicates, having correct names is an essential aspect of cartography. Therefore, national (and international) agencies involved with geography and cartography should cooperate.

Key words: *Geographic name, standardization, standardized name, glossary, dumb map, field work, office work, geographic information system, global communication, toponimy*.

About 22 years ago, representatives of several PAIGH member nations met in Panama to discuss how important geographic names were to programs involving geography and maps. At the session were people from Canada, Panama, the US, Chile, Mexico, and Venezuela. The US sponsored the meeting with the assistance of the Inter American Geodetic Survey and the Defense Mapping Agency, both of which organizations at that time had been long involved in supporting cartographic operations in Central and South America. In addition, the PAIGH Cartography

* Former Executive Secretary of the US Board on Geographic Names.

Commission provided assistance as did officials of the Panamanian cartography agency.

The participants' experiences with the fields of geography and cartography had generated full awareness that any map designed to portray segments of the earth could not provide intended information, however, unless names to identify features were accurately spelled and positioned on maps and charts (the overall process is generally referred to as "standardization"). The problems resulting from a lack of standardization were manifold. Inaccurate spellings meant that individuals and organizations attempting to develop even minor plans related to land areas could be frustrated by using incorrect references to places and areas. Furthermore, any names that were inaccurately placed on maps or charts failed to provide required identification of areas or features. Another problem was that differing map series produced by two or more agencies in one nation that covered identical areas too often had some inaccurate or misplaced names. Thus, whether for educational purposes or for functions concerning economic planning and tourism, the logical obligation to have accurate maps would too often be frustrated. And it was recognized that inaccurate naming practices were too common in Latin America.

The requirement for accurate geographic names had been recognized by numerous nations for many years. In 1967 the United Nations sponsored its first international conference on the standardization of geographic names. Among the 54 nations represented at the conference were Canada, Chile, Dominican Republic, Ecuador, Guatemala, Mexico, Peru, United States of America, Uruguay, and Venezuela. This conference was followed by others every five years. The proceedings of these and related sessions identified extensive measures considered necessary to assure that countries could provide accurate names of features in their respective territories and that nations would collaborate to assure that common and international features also had standardized names.

In the meantime, the United States had generated a program to assure that cartographic efforts by individual nations of Central and South America followed common standards regarding methods of surveying. Known as the Inter American Geodetic Survey (IAGS), it followed the creation in 1941 of another PAIGH element, the Cartography Commission.

Thus, while there were programs in Latin America that inherently addressed the importance of accurate geographic names, the fundamental, if not specified, goal of such programs seemed to lack adequate measures to create national standardization functions. This was often the case, even though some nations had offices designed to deal with place names for this purpose. There was, however, a PAIGH program to develop a glossary of terms associated with names; having access to a list of terms used as part of names could help assure that names applied to such features as riv-

ers, mountains, lakes, canyons, populated places, and mountains could use the same terms and avoid confusion of identification.

The major purpose of names is to assure that maps, charts, and other reference works provide accurate information about features thus represented. In fact, without such names, what is known as a map is logically a picture. Thus the most detailed satellite imagery of part of the earth's surface is an illustration, not a map. And in regard to cartographic products, a leading international names expert, Dr. Francisco Gall of Guatemala, said: "Without names, a map is a dumb map."

Clearly, the field of geography to a large degree depends on maps. Of course, there are many articles and similar publications related to the discipline of geography that can display at small scales the dynamics involved with how human and natural factors change and can affect each other. Depending on the nature of such items, perhaps little if any information related to names may be required. But the obvious relationship between maps and the accurate geographic identification they should portray certainly must be recognized. Locating and recording correct names are initial phases that need careful consideration.

Following the planning session in Panama, a program to initiate a series of educational courses in Latin American countries was adopted. The first course was given in Panama in 1987. It and following courses (each being two weeks long) depended primarily on experts from the US, with assistance from people from other countries. Countries hosting the course were Bolivia, Brazil, Colombia, Chile, Dominican Republic, Ecuador, El Salvador, Honduras, Mexico, Panama, Paraguay, and Peru. Some countries served two times to sponsor the course. As many as 20 students attend the course and perhaps more than half are from other countries. The twentieth session was held in Brazil in 2007.

The contents of the courses reflect the thoughts and experiences of those who have worked with standardization at the national and international levels. For instructors, it is beyond dispute that a knowledge of the field of geography —and local geographical characteristics— is essential to such standardization efforts. Of course, skills in linguistics, local languages, and cartography are also useful. A major element of the courses is field work where students and lecturers visit areas and talk with residents either about the names of features depicted (but not named) on one or more maps or about the same names being applied to different features. Other parts of the curriculum include learning how to record names data for official files, how a staff and a legal judging body can make decisions about new or different names, how to apply GIS to appropriate elements of the standardization process, and how such decisions can be disseminated to organizations for cartographic or other applications. All those participating countries lacking a standardization agency have not created such an office as a result of the courses; but those with a body so dedicated have certainly developed procedures formulated by the courses. Over-

all, the nations attending the courses have benefited —as have the many organizations that depend on accurate cartographic products.

It is appropriate to note the United Nations also has promoted courses in names standardization. Such activities have been sponsored by individual nations and are attended by representatives of other countries. In general they do not feature localized action in the host countries, and thus may not meet the standards promulgated by the PAIGH courses No UN.

Thus the relationship between elements of geography and procedures to standardize geographic names deserves to be understood. It is appropriate to know that the three past executive secretaries of the US Board on Geographic Names were geographers (Meredith F. Burrill, 1943-1973, Richard R. Randall, 1973-1993, and Roger L. Payne, 1993-2006). The current executive secretary, Lou Yost, also is a geographer. The author of this article originated the cited courses and was heavily involved in the first six. His successor, Roger Payne, coordinated the program after that time until he retired.

While PAIGH has supported the courses since 1987 through the Cartography Commission, it seems most appropriate that the program also be recognized and assisted by the Geography Commission of the organization. The title of this article is a suitable expression: "A PAIGH Program that Connects Geography and Cartography."

Un Programa del IPGH que une Geografía y Cartografía

Richard R. Randall*

Resumen

La importancia de los nombres geográficos ha sido reconocida por siglos, pero es relativamente reciente el entendimiento de los beneficios de tener nombres exactos en mapas y otros documentos de referencia. El interés aquí es que los nombres geográficos estén deletreados con exactitud. A este tipo de esfuerzo se le denomina normalización y frecuentemente requiere cooperación entre las naciones. Algunos países han desarrollado estos tipos de programas. El Instituto Panamericano de Geografía e Historia lleva alrededor 20 años ofreciendo una serie anual de cursos de capacitación en países de Centro y Sur América con el objetivo de que estos puedan desarrollar procedimientos que lleven a la normalización de los nombres. Las Naciones Unidas también han promovido activamente programas similares a nivel internacional. El lema de los cursos IPGH es: "Nombres Geográficos-La clave para la comunicación global". Como indica el título del artículo, tener nombres geográficos correctos es un aspecto esencial de la cartografía. Por esta razón, organizaciones nacionales (e internacionales) involucradas en geografía y cartografía deben cooperar entre ellas.

Palabras clave: *Nombre Geográfico, normalización, nombre normalizado, glosario, mapa mudo, trabajo de campo, trabajo de oficina, sistema de información geográfica, comunicación global, toponimia*.

Hace unos 22 años, representantes de varias naciones miembros del IPGH se reunieron en Panamá para discutir acerca de la importancia de los nombres geográficos para los programas que abarcan geografía y mapas. En la sesión, hubo personas de Canadá, Panamá, Estados Unidos de América, Chile, México y Venezuela. Estados Unidos patrocinó la reunión con la asistencia de Inter American Geodetic Survey

* Ex Secretario Ejecutivo de la Junta Directiva de Nombres Geográficos en Estados Unidos.

(Servicio Geodésico Interamericano) y Defense Mapping Agency (Agencia de Cartografía de la Defensa); entonces, ambas organizaciones estaban involucradas desde hacía mucho tiempo en el apoyo de operaciones cartográficas en América Central y Sudamérica. Además, la Comisión de Cartografía del IPGH proporcionó ayuda, así como la hubo de funcionarios de la agencia panameña de cartografía.

Las experiencias de los participantes en los campos de la geografía y la cartografía generaron plena conciencia acerca de que cualquier mapa realizado para mostrar segmentos de la Tierra pudiera, sin embargo, no proporcionar la información que se propone, a menos que los nombres para identificar las características geográficas estuvieran escritos correctamente y fueran ubicados con exactitud en los mapas y cartas (El proceso total se denomina por lo general "estandarización"). Los problemas resultantes de una falta de estandarización fueron múltiples. Así, la grafía incorrecta significó que se malograran tanto los intentos individuales como los de las organizaciones para desarrollar incluso mapas secundarios de áreas terrestres, al usar referencias incorrectas para lugares y áreas. Es más, cualquiera de los nombres que fuera situado de manera inexacta en los mapas o cartas no lograba proporcionar la identificación requerida de áreas o características geográficas. Otro problema lo constituyó el que series diferentes de mapas, producidos por dos o más agencias de una nación, que cubrían áreas idénticas, también tenían a menudo algunos nombres incorrectos o mal ubicados. De esta manera, si los propósitos eran educativos o para funciones relativas a planeación económica y turismo, con mucha frecuencia se malograba la obligación lógica de tener mapas precisos. Y se reconoció que las prácticas de denominar de manera inexacta eran demasiado comunes en América Latina.

Durante muchos años, numerosas naciones reconocieron la necesidad de nombres geográficos precisos. En 1967, las Naciones Unidas patrocinaron su primera conferencia internacional sobre la estandarización de nombres geográficos. Entre las 54 naciones representadas en la conferencia, estuvieron Canadá, Chile, Ecuador, Estados Unidos de América, Guatemala, México, Perú, República Dominicana, Uruguay y Venezuela. Esta conferencia continuó realizándose cada cinco años. Las actas de estas sesiones y de las sesiones relacionadas con las mismas identificaron medidas amplias, consideradas necesarias para asegurar que los países proporcionasen nombres exactos a las características de sus respectivos territorios, y que las naciones colaborarían para asegurar que las características comunes internacionales también tendrían nombres estandarizados.

Mientras tanto, Estados Unidos había creado un programa para asegurar que los esfuerzos cartográficos realizados por cada una de las naciones de Centroamérica y Sudamérica siguieran estándares comunes en cuanto a métodos de estudio. Conocido como el Inter American Geodetic Survey (Servicio Geodésico Interamericano),

éste siguió a la creación, en 1941, de otro órgano del IPGH, la Comisión de Cartografía.

De esta manera, mientras en América Latina había programas que estaban orientados intrínsicamente a la importancia de nombres geográficos exactos, el objetivo fundamental, aun cuando no especificado, de tales programas parecía carecer de las medidas adecuadas para crear acciones nacionales de estandarización. Esto fue lo que ocurrió a menudo, aunque algunas naciones tenían oficinas dedicadas a considerar los nombres de lugares con ese propósito. No obstante, había un programa del IPGH destinado a desarrollar un glosario de términos asociados a nombres; el tener acceso a una lista de términos usados como partes de nombres podía ayudar a asegurar que los nombres aplicados a características tales como ríos, montañas, lagos, cañones y poblaciones utilizaran los mismos términos y se evitara así confusión en la identificación.

El principal propósito de los nombres es asegurar que los mapas, las cartas y otras obras de consulta proporcionen información exacta acerca de las características representadas. En realidad, sin tales nombres, lo que se conoce como un mapa es lógicamente una lámina. Así, las imágenes satelitales más detalladas de parte de la superficie de la Tierra son una ilustración, no un mapa.

Y, con respecto a los productos cartográficos, un líder experto internacional en nombres, el Dr. Francisco Gall, de Guatemala, dijo: “Sin nombres, un mapa es un mapa mudo”.

Es evidente que el campo de la geografía depende en gran medida de los mapas. Sin duda, hay muchos artículos y publicaciones similares relacionados con la geografía como disciplina, que pueden mostrar en pequeña escala la dinámica que comprende cómo los factores humanos y naturales cambian y pueden afectarse mutuamente. Según sea la naturaleza de tales artículos, quizá pueda necesitarse, si la hay, un poco de información relacionada con los nombres; mas, debe reconocerse que tendrían que mostrar indudablemente la relación obvia entre mapas e identificación geográfica exacta. La ubicación y el registro correcto de los nombres son fases iniciales que necesitan una cuidadosa consideración.

Como resultado de la sesión de planeación realizada en Panamá, se adoptó un programa para iniciar una serie de cursos educativos en países latinoamericanos. El primer curso se impartió en Panamá, en 1987. Éste y los siguientes (cada uno de los cuales con una duración de dos semanas) fueron dados principalmente por expertos de los Estados Unidos, con la ayuda de personas de otros países. Los países anfitriones fueron Bolivia, Brasil, Colombia, Chile, Ecuador, El Salvador, Guatemala, Honduras, México, Panamá, Paraguay, Perú y República Dominicana. Algunos países patrocinaron dos veces el curso, al que asisten veinte estudiantes, de los cuales quizá más de la mitad son de otros países. La vigésima edición del curso tuvo lugar en Ecuador, en el año 2008.

El contenido de los cursos refleja los pensamientos y las experiencias de quienes han trabajado la estandarización a nivel nacional e internacional. Para los instructores está más allá de cualquier discusión que es esencial conocer el campo de la geografía —y de las características geográficas locales— para tales esfuerzos de estandarización; por supuesto, también son útiles las habilidades en lingüística, idiomas locales y cartografía. Un elemento importante de los cursos es el trabajo de campo, donde los estudiantes y los profesores visitan áreas y hablan con los residentes, ya sea acerca de los nombres de las características representadas (pero no denominadas) en uno o más mapas, o acerca de los nombres idénticos que son aplicados a diferentes características. Otras partes del programa comprenden el aprendizaje de cómo registrar datos de nombres para archivos oficiales, cómo empleados e integrantes de un cuerpo judicial pueden tomar decisiones acerca de nombres nuevos o diferentes, cómo aplicar el Sistema de Información Geográfica (SIG) a elementos adecuados en el proceso de estandarización, y cómo tales decisiones pueden difundirse a organizaciones para aplicaciones cartográficas o de otro tipo. Todos aquellos países participantes que carecen de una agencia para la estandarización, no han creado una oficina como tal como resultado de los cursos, pero aquéllos con un organismo así dedicado, con seguridad, han desarrollado procedimientos formulados por los cursos. Por lo general, las naciones que asisten a los cursos se han beneficiado así como las muchas organizaciones que dependen de productos cartográficos exactos.

Hay que hacer notar que las Naciones Unidas también han promovido cursos para la estandarización de nombres. Hasta la fecha, las naciones que han respondido a este llamado han sido pocas. Además, los resultados obtenidos a través de estos esfuerzos no han sido particularmente exitosos. Ningún programa de las Naciones Unidas parece satisfacer los estándares promulgados por los cursos del IPGH.

Por esto, merece que se comprenda la relación entre los elementos de la geografía y los procedimientos para estandarizar los nombres geográficos. Es oportuno saber que los tres últimos secretarios ejecutivos de la Junta Directiva de Nombres Geográficos en Estados Unidos fueron geógrafos (Meredith F. Burrill, 1943-1973, Richard R. Randall, 1973-1993, y Roger L. Payne, 1993-2006). El actual secretario ejecutivo, Lou Yost, también es un geógrafo. El autor de este artículo creó los cursos mencionados y estuvo profundamente involucrado en los primeros seis. Su sucesor, Roger Payne, coordinó el programa después de ese periodo, hasta que él se jubiló.

En tanto que el IPGH ha apoyado los cursos desde 1987, a través de la Comisión de Cartografía, parece más apropiado que el programa también sea reconocido y asistido por la Comisión de Geografía de la organización. El título de este artículo es una expresión adecuada: “Un Programa del IPGH que une Geografía y Cartografía”.

Los campos de la geografía y cartografía justifican mas y mas la necesidad de que los nombres geográficos sean exactos y precisos. Nada lo resume mejor que el lema del curso IPGH: “Toponimia: La clave para la comunicación mundial”.

La docencia universitaria sobre Infraestructuras de Datos Espaciales

Miguel A. Bernabé*
Miguel A. Manso*
María Ester González*

Abstract

The setting up of Spatial Data Infrastructures (SDI) is perhaps the most important and ambitious cartographic project of the last decade. The fact that the users of cartography can gain access to it through the Internet, view and even create new cartography on the basis of maps existing on the web in order to integrate it into their tasks, requires that there be certain common standards that guarantee interoperability at the levels of systems, files, formats, etc. Some international organizations are emphasizing the development of specifications and standards that enable this interoperability. In this context, he educational sphere cannot stand aside. It is the obligation of the university to provide to students knowledge of SDI issues so that they can respond to the needs of society. This article aims to cover the need for courses specialising in Geographic Information as a response to the requirements of society, offering information on themes specific to the SDI, now that the European Union has determined that setting up national SDIS is obligatory. Given that there is no university course known that emphasizes teaching work about developments led by the Open Geospatial Consortium (OGC) and the work of ISO/TC211 (Geographic Information/Geomatics) with the goal of offering to society the qualified professionals that this will require, a review is made of the available information in order to show an initial series or line of work to be done.

Keywords: *Spatial Data Infraestructure (SDI), Teaching SDI, Teaching OGC Specifications, Teaching ISO 19000 standards, Teaching Geomatics*.

* Laboratorio de Tecnologías de la Información Geográfica (LatinGEO). ETSI Topografía, Geodesia y Cartografía, Campus Sur de la Universidad Politécnica de Madrid, 28031 Madrid, España.

Resumen

La puesta en marcha de las Infraestructuras de Datos Espaciales (IDE), es quizás el proyecto cartográfico más importante y ambicioso de la última década. El hecho de que los usuarios de cartografía puedan tener acceso a ella a través de Internet, visualizarla e incluso generar nueva cartografía en base a otras existentes en la Web para luego incorporarla a sus trabajos, exige que existan estándares comunes que garanticen la interoperabilidad a nivel de sistemas, archivos, formatos, etc. Algunas organizaciones internacionales están poniendo el énfasis en el desarrollo de especificaciones y estándares que permitan esa interoperabilidad. En este contexto, el ámbito educativo no puede permanecer ajeno. Es obligación de la universidad proporcionar a los alumnos conocimientos en materia de IDE para que puedan dar respuesta a las necesidades de la sociedad. Este trabajo pretende incidir en la necesidad de que las carreras especializadas en Información Geográfica, como respuesta a una demanda de la sociedad, ofrezcan formación en temas relacionados con las IDE ya que la Unión Europea determina la obligatoriedad de poner en marcha las IDE nacionales. Puesto que no se conoce una carrera universitaria que ponga el énfasis en la docencia sobre los desarrollos del Open Geospatial Consortium (OGC) y en los trabajos del ISO/TC211 (Información Geográfica / Geomática) con el fin de ofrecer a la sociedad los profesionales cualificados que ésta va a demandar, se hace un recorrido por la información disponible con objeto de mostrar una línea de trabajo inicial.

Palabras clave: *Infraestructura de Datos Geoespaciales (IDE), Formación en IDE, Formación en especificaciones OGC, Formación en ISO 19000, Formación en Geomática*.

Estandarización de datos y servicios

La amplia difusión de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), la necesidad de interoperar entre ellos y la multiplicidad de sus elementos hardware, software, datos y formatos, han supuesto una dificultad a la hora de compartir datos. Los formatos de intercambio de datos del tipo .dxf, han solventado parcialmente el problema de compartir ficheros a costa de la pérdida de información en el camino de las transformaciones. Esas pérdidas y dificultades hicieron evidente la necesidad de estandarizar la información geográfica. El problema se agravó con la aparición de los SIG capaces de acceder a bases de datos distribuidas a través de las redes de ordenadores y con la necesidad de compartir datos con otros sistemas. Se puso de manifiesto la necesidad de una estandarización que permitiera la interoperabilidad total, al margen de marcas y de otras componentes de los sistemas [DIN00].

Como es bien sabido, los SIG distribuidos son la semilla tecnológica de las Infraestructuras de Datos Espaciales (IDE), integradas por tecnologías, estándares y

políticas que permiten el acceso (con las limitaciones correspondientes en cada caso) a la información geográfica almacenada en servidores remotos, facilitando el uso, análisis y visualización de la geoinformación que posibilita la toma de decisones relacionadas con las características espacio-temporales de un territorio. Para que estas infraestructuras sean operativas se exige que exista entendimiento en las comunicaciones. Esto es, que haya estándares de datos y de servicios.

Los beneficios de implementar estándares abiertos, derivados de consensos y empresarialmente neutrales se evidencian con el ejemplo paradigmático de la popularidad que ha tenido la propia Web: todos los navegadores son capaces de ver las páginas conformes con las especificaciones del Consorcio W3C [W3C]. De la misma forma, la estandarización de la geoinformación hace tiempo que es vista como una necesidad y como una buena inversión [DIN00], [DEL03].

De la estandarización de la información geográfica se hacen cargo las organizaciones internacionales a la que se colegian las organizaciones nacionales. El ISO/TC 211 Geographic Information/Geomatics es "el responsable para la ISO de las series de estándares de información geográfica" [ISOTC]. En España la Asociación Española de Normalización y Certificación [AENOR] asume los estándares internacionales que el Comité Europeo de Normalización [CEN] ha adoptado —entre las que destaca ISO— y desarrolla los propios.

De la estandarización de los servicios y los desarrollos en busca de la interoperabilidad se hace cargo el Open Geospatial Consortium [OGC] que es "una organización internacional sin ánimo de lucro que persigue el desarrollo de estándares para servicios geoespaciales basados en localización". En el momento de terminar este trabajo (enero de 2008) la organización dispone de 351 miembros entre organizaciones, instituciones y empresas de las cuales 11 pertenecen a España y sólo una pertenece a Latinoamérica. De los 351 miembros 92 son instituciones universitarias, lo que evidencia el interés de la universidades en lo que se genera desde OGC.

Se necesita que los profesionales de la Información Geográfica conozcan en profundidad tanto las normas ISO como las especificaciones OGC, por lo tanto éstos conocimientos, de manera expresa o tácita, deben estar incluidos en el curriculum profesional. Tradicionalmente, los conocimientos a nivel universitario sobre la Información Geográfica (IG) han sido impartidos en las Facultades de Geodesia, Facultades de Geografía, Escuelas de Topografía o de Agrimensura y otras instituciones universitarias relacionadas con la captura, tratamiento, análisis y visualización de la IG En mucha menor medida y con menor profundidad se han impartido en otras carreras como Geología, Agricultura, Ingeniería Civil, Arquitectura, etc., para las que la situación de los elementos sobre la superficie de la Tierra está supeditada a lo que los expertos en captura de la IG ofrezcan.

Obligatoriedad de las IDE en Europa

La directiva europea INSPIRE por la que se establece una Infraestructura de Datos Espaciales en la Comunidad Europea, insta a todos los países miembros a poner en marcha las IDES nacionales, que conduce también al establecimiento de IDES de menor cobertura territorial (comunitarias, provinciales, locales) y al establecimiento de IDES sectoriales (medioambientales, catastrales, corporativas, etc.) integrables de manera piramidal en la IDE nacional de España [INSPIRE]. El diseño, implantación y mantenimiento de las herramientas necesarias para poner en marcha las IDES (metadatos, servidores de mapas, geoservicios, etc.) exigirá un personal especializado cuya formación integral no nos consta que sea ofrecida en la oferta universitaria española o latinoamericana, ni en carreras de grado ni de postgrado, aunque existan cursos aislados que no forman un cuerpo de conocimientos ni conforman una carrera específica.

Como consecuencia de la estandarización de formatos y servicios, de la interoperabilidad de sistemas, y de la legislación que apunta a la puesta en marcha de las IDE, aparece la necesidad de incluir dentro del curriculum del profesional experto en información geográfica los contenidos que garanticen la formación que exigen los nuevos servicios. En España (enero de 2008), hay ausencia de curricula en los que los contenidos conformen una formación especializada en IDE.

Es de resaltar además que el Espacio Europeo de Educación Superior concede especial atención al logro de un sistema de calidad universitario que incluye la utilización de las nuevas Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) en las que la IDE está totalmente inmersa. Experiencias similares, gracias a impulsos gubernamentales e institucionales como los del IPGH o del CP-IDEA, se están desarrollando en Latinoamérica y en ese esfuerzo España debe estar presente [GON08].

Con el interés de que se disponga de una información inicial sobre el diseño de un curriculum, se ofrece a una colección de fuentes de información relacionadas con la formación en IDE.

Las fuentes de información

Se presentan a continuación un resumen de los trabajos de las siguientes fuentes:

- La ISO/TC211
- El Informe Strawman y el Body of Knowledge (UCGIS)
- La Directiva INSPIRE (UE)
- El Libro Blanco de la Titulación de Ingeniero en Geomática y Topografía (ANECA)
- El Open Geosatial Consortium (OGC)
- La Asociación de Laboratorios de Información Geográfica en Europa (AGILE)
- Federación Internacional de Geómetras (FIG)
- La Asociación Internacional de Cartografía (ICA)
- Las Organizaciones Educativas

El ISO/TC 211

En http://www.isotc211.org/protdoc/211n1319/ (2002) presenta un documento que trata sobre cualificaciones y certificaciones del personal. El trabajo es un esfuerzo por delinear la formación del personal implicado en la gestión de la Información Geográfica (IG). La metodología para encontrar ese perfil profesional, se realizó mediante el análisis de un cuestionario enviado a distintos países (África del Sur, Alemania, Arabia Saudí, Australia, Austria, Canadá, Corea, China, Estados Unidos, Finlandia, Japón, Portugal, Reino Unido) y a diferentes instituciones relacionadas con la IG (FIG, IOH, ISPRS). Analizado el documento en profundidad y debido a la gran cantidad de casos que se daban de los diferentes sistemas de calificaciones y certificaciones en el conjunto de países e instituciones, el grupo de trabajo concluyó asumiendo su incapacidad para dar respuesta al proyecto "this project team concludes that it is not possible, within the context of the ad hoc set of technical experts, to achieve the original goals of the project".

El mismo informe, tras cuatro conclusiones de carácter profesional, termina afirmando que el modelo de 1995 del Profesor Allan "The Education and Practice of the Geodetics Surveyor in Western Europe" debe ser cambiado por otro cuyo título fuera "The Education and Practice of the Geographic Information / Geomatics professional in the global marketplace". La expresividad del título y la diferencia con el anterior nos marca la dirección que deben tomar los nuevos estudios según la opinión de los expertos.

El Informe Strawman (2003)

El Consorcio Universitario para las Ciencias de la Información Geográfica (UCGIS) afronta un reto similar al de la ISO/TC211. Se aborda el problema mediante la taxonomía de los contenidos cognitivos relacionados con la IG consiguiendo una atomizacion de conceptos que pueden ser reagrupados de múltiples formas para organizar diferentes especialidades. El resultado es lo que se conoció como el Informe Strawman.

En la taxonomía que configura el Informe, aparecen conceptos clásicos asociados tradicionalmente a los estudios de Licenciados en Geografía, o Ingenieros en Topografía, Geodesia y Cartografía y algunos otros que no están presentes de manera sistemática en los curricula de esas carreras.

Otros contenidos, mucho más informáticos han estado más cerca de las facultades de informática que de las de geografía y las ingenierías y algunos conceptos más, como el de la información distribuida o los nuevos estándares de la IG impuestos tanto por la ISO como por el OGC, o el nuevo paradigma de web semántica y su aplicación a la IG, aparecen aparentemente todavía fuera de ese listado.

The Body of Knowledge (2006)

Menos de tres años más tarde, el Informe Strawman desemboca en el Body of Knowledge o Cuerpo de Conocimientos de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica [BOK06] que presenta ciertas diferencias con el Informe Strawman de 2003. Esas diferencias en un corto espacio de tiempo nos indican la velocidad de cambio que propician las nuevas tecnologías a la IG. Se muestran a continuación en una tabla los contenidos de ambos informes para que puedan observarse las taxonomías realizadas, los contenidos y las diferencias.

Informe Strawman (2003)		*Body of Knowledge (2006)*	
CS	**Conceptualización del Espacio**	**CF**	**Fundamentos conceptuales**
CS1	Características del Espacio	CF1	Fundamentos filosóficos
CS2	Pensamiento Espacial	CF2	Dominios de la información geográfica
CS3	Modelos de conceptualización del espacio geográfico	CF3	Fundamentos cognitivos
		CF4	Fundamentos geográficos
		CF5	Fundamentos sociales
FS	**Formalización de las Concepciones Espaciales**	CF6	Modelos teóricos
		CF7	Imperfecciones en la información geográfica
FS1	Efectos de la Escala		
FS2	Modelamiento de Datos		
FS3	Representación de la información inexacta	**CV**	**Cartografía y visualización**
		CV1	Historia y tendencias
		CV2	Consideraciones sobre datos para cartografía y visualización
SM	**Los Modelos de Datos Espaciales y las Estructuras de los Datos**	CV3	Principios de diseño de mapas
SM1	Almacenamiento básico y estructuras de recuperación	CV4	Técnicas de representación gráfica
		CV5	Producción de mapas
SM2	Los Sistemas de Gestión de DBMS y el modelo relacional	CV6	Uso de mapas y evaluación
SM3	Los modelos de datos teselados	**DA**	**Análisis de datos**
SM4	Los modelos de datos vectoriales	DA1	Fundamentos académicos del análisis de datos geoespaciales
SM5	Los modelos de representación multiescalar	DA2	Operaciones y lenguajes de consulta
SM6	Los modelos basados en objetos	DA3	Operaciones geométricas en objetos espaciales
SM7	Representaciones/Modelos temporales		
SM8	Los lenguajes y operaciones de consulta	DA4	Modelado de relaciones y patrones
SM9	Los metadatos	DA5	Análisis de superficies
SM10	El intercambio de Datos y la Interoperabilidad	DA6	Estadística espacial
		DA7	Geoestadística
		DA8	Econometría espacial
DE	**Aspectos en el Diseño de la Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica**	DA9	Extracción de datos
		DA10	Análisis de redes
		DA11	Investigación de operaciones
DE1	El Modelado científico en un contexto espacial	**DN**	**Manipulación de datos**
DE2	Aplicaciones CYTIG: 1 Diseño del sistema conceptual	DN1	Conversión de formato de datos
		DN2	Generalización y agregación

Informe Strawman (2003)		*Body of Knowledge (2006)*	
DE3	Aplicaciones CYTIG: 1 Diseño de la implementación del sistema	DN3	Gestión de transacción de datos geoespaciales
DA	**Adquisición de Datos Espaciales. Fuentes y estándares**	**GC**	**Geomática**
DA1	Teledetección	GC1	Historia y tendencias en geomática
DA2	Captura de datos en campo	GC2	Incertidumbre
DA3	Diseño de la muestra	GC3	Aspectos informáticos y redes neuronales artificiales
DA4	Calidad de los datos	GC4	Conjuntos borrosos
DA5	Topografía	GC5	Modelos “Cellular Automata” (CA)
DA6	Fotogrametría	GC6	Heurística
		GC7	Algoritmos genéticos
DM	**Tratamiento de los Datos Espaciales**	GC8	Modelos basados en agente
DM1	Conversiones de los formatos de Datos	GC9	Análisis de actividades
DM2	Generalización y agregación (compilación)		
DM3	Gestión histórica de los datos espacio-temporales	**GD**	**Datos geoespaciales**
		GD1	Geometría de la tierra
EA	**Análisis exploratorio de los Datos Espaciales**	GD2	Sistemas de división de la tierra
EA1	Funcionalidad analítica de los SIG	GD3	Sistemas de coordenadas
EA2	Estadística específica para los datos espaciales	GD4	Datum
EA3	Visualización Científica	GD5	Proyecciones de mapas
EA4	Minería de Datos	GD6	Calidad de los datos
		GD7	Topografía y GPS
CA	**Análisis Espacial Confirmativo**	GD8	Digitación
CA1	Estadística espacial	GD9	Recogida de datos en el campo
CA2	Geoestadística	GD10	Inspecciones aéreas y fotogrametría
CA3	Econometría espacial	GD11	Teledetección satelital y a bordo de naves
CA4	Análisis de superficies	GD12	Estándares de datos e infraestructuras
CA5	Investigación sobre modelos y operaciones de transporte		
CA6	Simulación y modelado dinámico espacial	**GS**	**C+T IG y Sociedad**
		GS1	Aspectos legales de la geoinformación espacial y de la tecnología
CG	**Geocomputación**	GS2	Aspectos económicos de la geoinformación espacial y de la tecnología
CG1	Incertidumbre	GS3	Uso público de la información geospacial
CG2	Aspectos computacionales del modelado espacial dinámico y la neurocomputación	GS4	Contros de la información geospacial
CG3	Conjuntos Fuzzy	GS5	Diseminación de la información geospacial
CG4	Algoritmos genéticos y Modelos basados en agentes	GS6	Aspectos éticos de la información geospacial
		GS7	SIG Crítico
CV	**Cartografía y Visualización**	**OI**	**Aspectos organizativos e institucionales**
CV1	Conceptualización de la visualización y las presentaciones espaciales	OI1	Historia y tendencias futuras en aspectos organizacionales e institucionales
CV2	Construcción de las visualizaciones y presentaciones espaciales		

Informe Strawman (2003)		*Body of Knowledge (2006)*	
CV3	Evaluación de las visualizaciones y presentaciones espaciales	OI2	Gestión de operaciones e infraestructuras de sistemas IG
		OI3	Estructuras y procedimientos organizativos
OI	**Aspectos Institucionales y Organizativos de la CYTIG**	OI4	Temas candentes de ciencia y tecnología de la IG
OI1	Gestión de operaciones SIG e Infraestructuras	OI5	Aspectos institucionales
OI2	Estructuras y Procedimientos organizativos	OI6	Coordinación de organizaciones
OI3	Temas del personal de la CYTIG		
OI4	Aspectos Institucionales		
PS	**Aspectos Profesionales, sociales y legales de la CYTIG**		
PS1	Cuestiones informativas y legales		
PS2	Cuestiones políticas sobre el acceso a la Información Geoespacial		
PS3	Cuestiones económicas de los Sistemas de Información Geográfica		
PS4	Responsabilidades legales y éticas en la creación y uso de la Información		
PS5	Control de la Información. La información como propiedad		
PS6	Control de la Información. Diseminación de la información		

INSPIRE como fuente de información

El establecimiento y el mantenimiento de las IDES en España exigen la puesta en marcha de acciones acordes con INSPIRE. La nueva página de INSPIRE no ofrece herramientas útiles para la docencia pero podemos sacar algunas conclusiones de sus documentos de trabajo [INSPIRE].

El Programa de Trabajo de INSPIRE publicado en Abril de 2005 identifica "una estrategia para la definición y preparación de las Reglas de Implementación necesarias para una coherente aplicación de la Directiva" [JRC05]. Como parte de esa estrategia, se explicita la elección de expertos, agrupados en Equipos de Preparación que ayuden en el diseño de esas Reglas de Implementación. En esa iniciativa se citan los cinco campos en los que se eligieron los expertos para definir esas reglas:

- Metadatos
- Especificaciones de datos
- Servicios de red
- Monitorización e informes y
- Datos espaciales compartidos

Estos cinco campos coinciden con los elementos que componen las IDES como se cita en el documento INSPIRE Work Programme Preparatory Phase 2005-2006, p. 10 [JRC05]. También se cita la especialización que deben disponer esos expertos. La información anterior conduce a intuir campos que, bajo el punto de vista de INSPIRE, van a ayudar a que las SDIC (Comunidades de interés en datos espaciales) y las LMO (Organizaciones con mandato legal) puedan poner en marcha las IDES en sus niveles local, regional o nacional correspondientes.

Campo	*Experiencia en*
Metadatos de datos y servicios	El conocimiento de Metadatos para los temas INSPIRE En la participación en el desarrollo de estándares nacionales e internacionales y aspectos semánticos de la IG: tesauros y aspectos multilingües En la codificación (XML)
Especificaciones de Datos	En modelo conceptual de bases de datos espaciales y en lenguajes de esquema conceptual (UML) En la temática de las capas de información de INSPIRE Participación en el desarrollo de estándares para las especificaciones de datos a nivel local, nacional o internacional, incluyendo aspectos multilingües Implementación de estándares relevantes para el desarrollo de especificaciones de datos y mecanismos de intercambio de datos (XML/GML) En la modelización de ontologías y en la representación multiresolution de bases de datos espaciales
Redes de Servicios	En la implementación de IDE En arquitecturas de sistemas En verificación y validación de arquitecturas En conocimiento de estándares geoespaciales existentes y emergentes En la implementación de procesos distribuidos y experiencia en la operación En conocimientos de especificaciones y herramientas En implementación de especificaciones
Datos y servicios compartidos	Propiedad intelectual, restricciones de uso, copyright Desarrollos de políticas de datos a nivel regional, nacional e internacional Modelos de negocios para diseminación de datos Circunstancias legales relacionadas con la privacidad, la defensa nacional, etc.
Monitorización e informes	En generación de indicadores En el desarrollo de políticas de datos regionales nacionales e internacionales

En el documento anterior [JRC05] se afirma expresamente la necesidad de que los Estados Miembros adopten las medidas necesarias para incorporar los cinco campos citados ("Member States will have to implement different measures to have these components into place", 4.1 p. 10) y una de las medidas propuestas (7.7.1) es la de fomentar la capacitación que se espera concretar mediante el apoyo a las iniciativas de educación y formación en aspectos relacionados con INSPIRE (7.7.2).

Del análisis de esos campos y de los requisitos exigidos en el proceso de selección de expertos —de los que se presenta a continuación un resumen extenso— se pueden obtener unas guías sobre los aspectos más significativos que pueden extrapolarse a la formación de especialistas en Información Geográfica, Geomática, Geoinformación, Geoingeniería o cual sea el título que finalmente se adopte.

El Libro Blanco de la Titulación de Ingeniero en Geomática y Topografía

Durante el año 2004 a instancia y bajo la coordinación de la Agencia Nacional de la Evaluación de la Calidad y la Acreditación (ANECA), se reunieron las Escuelas de Topografía, Geodesia y Cartografía del Estado español para la redacción del Libro Blanco del Título de Grado que finalmente se llamó *Ingeniero en Geomática y Topografía* [LB05]. El objetivo del Libro Blanco (y de otros Libros Blancos de otras carreras) es el de realizar estudios y supuestos prácticos útiles en el diseño de un Título que se adapte al Espacio Europeo de Educación Superior (EEES). Sus propuestas no son vinculantes y tienen el valor de ser un instrumento para la reflexión que se presentarán ante el Consejo de Coordinación Universitaria y el Ministerio de Eduación y Ciencia para su información y consideración [LB05 p. 4]. Los términos de aplicación que se describen al hablar de las *"competencias profesionales"* se especifican como tecnologías específicas de la nueva carrera, unos descriptores que, siguiendo la tradición de las Escuelas de Topografía, se caracterizan por las tecnologías que corresponden a los procesos de captación de geodatos: Cartográficos, Fotogramétricos / Teledetección, Geodésicos, Geofísicos, Topográficos, Sistemas de posicionamiento y navegación y uno de integración de esos datos: SIG, (p. 129). Para ver la importancia que este libro da a las Infraestructuras de Datos Espaciales (y por lo tanto el interés de la comunidad educativa española relacionada con su redacción) mostramos la siguiente tabla (p. 187):

Bloques Específicos	*Porcentajes %*		*Bloque III: Materias específicas 60% (100 créditos)*
	Relativo	*Absoluto*	*Descriptores*
Topografía	18	10.8	Levantamientos topográficos: instrumentación y métodos. Replanteos. Topografía aplicada a la ingeniería (civil, industrial, agrícola, forestal…)
Ajuste de Observaciones	5	3	Métodos de mínimos cuadrados: modelos funcional y estocástico. Técnica paramétrica y de ecuaciones de condición. Propagación de precisiones. Método general. Aplicaciones topogeodésicas, fotogramétricas cartográficas y geofísicas
Fotogrametría y Teledetección	18	10.8	Fotointerpretación. Bases analíticas de la fotogrametría y fundamentos de la teledetección. Proyectos, sistemas y productos. Procesamiento y análisis de imágenes
Cartografía	18	10.8	Proyectos y productos cartográficos. Producción cartográfica. Cartografía Básica y Temática. Normalización y calidad en cartografía
Sistemas de Información Geográfica (SIG)	7	4.2	Modelización. Procesos metodológicos y análisis. Proyectos, desarrollos y aplicaciones. Infraestructuras de datos espaciales. Geoservicios
Geodesia y Astronomía	12	7.2	Sistemas de referencia y tiempo. Órbitas. Geodesia geométrica. Geodesia física. Geodesia espacial. Cartografía matemática
Sistemas de Posicionamiento Geográfico y Navegación	7	4.2	Sistemas de posicionamiento por satélites. Redes GPS GNSS. Sistemas inerciales. Servicios basados en localización. Proyectos, desarrollos y aplicaciones
Geofísica	5	3	Geomagnetismo. Sismología e ingeniería sísmica. Prospección geofísica. Gravimetría
Catastro y Ordenación Territorial	10	6	Gestión catastral: aspectos físicos, jurídicos y fiscales. Valoración. Planificación territorial

La FIG como fuente de información

La organización que tiene que ver con las carreras de Topografía o Agrimensura ofrece muy poca información acerca del futuro de las enseñanzas profesionales en

relación con las IDE. En sus páginas encontramos el acceso al Centro para el Gobierno Electrónico de la Universidad danesa de Aalorg que, dirigido por el Dr. Erik Stubkjær, inicia en 2007 un Programa de doctorado denominado: "Paradigms for Development of Spatial Data Infrastructures (SDI)" [STU07]

El Open Geospatial Consortium (OGC) como fuente de información

Esta es la organización de facto que lidera el establecimiento de estándares a nivel global y sus recomendaciones son asumidas por organizaciones internacionales de estandarización. El objetivo del OGC es "liderar el desarrollo, promoción y armonización de estándares abiertos y arquitecturas que permitan la integración de datos geoespaciales y servicios en aplicaciones de usuario y preparar la formación de oportunidades de mercado relacionadas". Lidera la geoinformación y marca los caminos a seguir. Si las Universidades deben preparar profesionales e investigar en los temas de actualidad, parece recomendable que exista una vinculación estrecha entre OGC y los consorcios y responsables universitarios. A este efecto, además del gran volumen de información que constituyen las especificaciones en si mismas, las páginas del OGC dispone de otros documentos interesantes para la docencia como son los Manuales de Buenas Prácticas [MBP] y el material de formación (*Training Material*), al que sus afiliados tienen acceso sólo para uso interno. Los tópicos existentes son:

Título	*Autor*	*Versión*	*Tamaño*	*Tipo*
1 2 Intro and Overview	GST	1	918.5 KB	ppt
3 Features	GST	1	1.71 MB	ppt
3b Coverages	GST	1	1.55 MB	ppt
4 Location Referencing	GST	1	1.59 MB	ppt
5 Maps and Visualization	GST	1	3.05 MB	ppt
6 Metadata and Catalogs	GST	1	4.35 MB	ppt
7 Info Communities	GST	1	1.36 MB	ppt
8 Geoprocessing Services	GST	1	4.76 MB	ppt
9 SysImplem	GST	1	337.5 KB	ppt

El Universty Working Group [UWG]

De OGC es un Grupo de Trabajo universitario, cuyos objetivos son los relacionados con la formación y organización de un grupo académico que aconseje a la comunidad universitaria sobre tecnlogías, estándares y políticas relacionadas con los programas del OGC (potenciar nuevos curricula, desarrollar materiales, intercambiar recursos educativos y docentes, publicar, etc.).

El UWG se reunió tres veces a lo largo del 2004, dos veces en el 2006 y una en el 2007. El material existente en sus páginas para implementarlo en Cursos Universi-

tarios es escaso pero, hay conclusiones expuestas en esas reuniones que merecen ser considerados [SIM06]:

- Hay interés en implementar los contenidos del OGC en los currícula universitarios
- Hay dificultades para saber "qué enseñar a quién" debido a la diversidad de intereses del alumnado, a lo cambiante de las especificaciones OGC y a la inconveniencia de igualar (o hacer depender) el concepto IDE a la organización OGC
- Según una encuesta entre profesionales de la IG, los conocimientos esenciales en un curriculum de grado de IG deberían ser aproximadamente de un 53% de IDES y un 43% de interoperabilidad

En la reunión del UWG de abril de 2007 en Canadá se planteó por parte de la presidencia de OGC la definición de un Programa de Certificación de OGC para ser implementado en el curriculum universitario.

El OGC Interoperability Institute (OGCII)

Cercano a la directiva del OGC, el OGCII es una organización sin ánimo de lucro que tiene como fines fundamentales:

- Mejorar la interoperabilidad de los datos científicos
- Ayudar a dirigir la investigación y el desarrollo de las IDEs de organizaciones regionales, nacionales y mundiales
- Fomentar la transferencia de conocimientos y la educación con el fin de mejorar la interoperabilidad. También tienen como objetivo expreso el ayudar en la elaboración de planes de estudios y los materiales de apoyo a la educación para la creación y mejora de la interoperatividad

El OGCII propone la creación de unos estudios tendentes a alcanzar la interoperabilidad y expandirla, mediante los cuatro pilares de la Ciencia de la Interoperabilidad:

- Geodesia, para disponer de un sistema de referencia espacio temporal bien definido
- Semántica y Ontologías, para facilitar el trabajo de los motores de búsqueda y la Web Semántica
- Informática, que permita el modelamiento y el análisis en tiempo real
- Psicología humana cognitiva e interacción, en un entorno digital
- Para lo anterior se necesitan cambios en la tecnología, en la cultura científica y en algunas barreras institucionales

La Asociación de Laboratorios de Información Geográfica en Europa (AGILE) como fuente de información

La misión de AGILE es "Promocionar la docencia universitaria, la investigación sobre SIG a nivel europeo y asegurar la continuación de las actividades de red que han aparecido como resultado de las Conferencias de EGIP y del Programa Científico de la Fundación Europea de la Ciencia" (AGILE).

AGILE dispone de un Grupo de Trabajo específico enfocado a la educación (EWG). Los objetivos del Grupo de Trabajo sobre educación son:

- Consolidar enseñanza de la Geoinformación (GI) como parte del objetivo de AGILE
- Añadir temas relacionados con la IG a la agenda de investigación de AGILE y trabajar en esos temas
- Estimular actividades de redes sobre conocimiento de IG y participar en proyectos relacionados con la educación
- Organizar sesiones sobre educación en la reunión anual de AGILE
- Tomar interés en los aspectos educativos relacionados con la IG a nivel Europeo y cooperar en las propuestas de investigación financiadas por la EU
- Promover investigaciones participativas en temas de IG y educación
- Diseminar la información sobre educación entre los miembros, vía medios como Internet
- Establecer acuerdos con otras organizaciones tales como el Grupo de Educación de UCGIS
- Participar en la organización de los seminarios de EUGISES
- Apoyar los servicios de formación y educación

En las últimas reuniones se han presentado algunos trabajos sobre curricula en GeoInformación tanto en las modalidades de enseñanza presencial como eLearning [PAIN06]

Fuentes de información en Proyectos Educativos

El Proyecto "Geographic Information in the Implementation of Net-based Distance Education for Environmental Decision making" [GI-INDEED] se inicia en 2005 dentro del programa "Leonardo da Vinci". Este Proyecto muestra como objetivo la creación de cursos sobre geo-información que disminuyeran las carencias de los gobiernos a la hora de implementar las directivas europeas relacionadas con el medioambiente.

El Proyecto *eduGI*, dentro de la Convocatoria EC eLearning Programme, pretende el intercambio de Cursos de e-Learning sobre la base de gratuidad. En la web del proyecto [eduGI] puede accederse a cursos on-line sobre:

- Visualización de la IG (proporcionado por el ITC de Holanda)
- Bases de Datos Geográficos (curso avanzado proporcionado por La Universidad Harokopio de Atenas)
- Minería de Datos GeoEspaciales (Universidad Nueva de Lisboa)
- Gestión de Proyectos (Instituto de Geoinformática de la Universidad de Münster)
- Estándares de la IG (Universidad BW de Munich)
- Excursiones Virtuales en Ciencias de la Tierra (Universidad de Upsala)
- Calidad de los Datos (Universidad Técnica de Viena)
- Adquisición e integración de Datos (Universidad del Oeste de Hungría)
- El Proyecto *eduGI.LA* (2003-2004) está enfocado a Latinoamérica. Su objetivo general está descrito como "generar una cooperación sostenible entre Europa y Latinoamérica en Ciencias de la GeoInformación para un uso más eficiente de los recursos, asegurando la calidad en la educación y fomentando las cualificaciones de los graduados universitarios". Entre los objetivos específicos se encuentra el de armonizar los curricula universitarios e intercambiar módulos de docencia. Como resultado, se propone un currículum con vocación de homogeneizar la docencia [eduGILA].

GILA (Geographic Information in Latin America) es un Proyecto de red de investigación que pretende promover la cooperación entre universidades y laboratorios mediante la creación y puesta a disposición de los demás de material e-Learning y fomentando la investigación en Latinoamérica. En su página web [GILA] pueden encontrarse cursos sobre:

- Bases de Datos Espaciales (Universidad de Chile)
- Análisis de Datos Espaciales (INPE de Brasil)
- Curso de Introducción al SIG (Universidad Jaume I de Castellón, España)
- Introducción a la Cartografía Digital (Instituto de Geoinformática, Universidad de Münster)
- y otros

El "Proyecto Humboldt" (HUM07) que pretende la armonización de datos y metadatos en Europa, ofrece una serie de escenarios (Seguridad en las fronteras, Planeamiento Urbano, Bosques, Riesgos, Gestión del agua, etc.) interesantes como herramienta para "enseñanza basada en casos".

El Proyecto "European Masters in GI Science" [EMGI07] tiene como objetivo disponer de un currículum unificado y estandarizar las cualificaciones profesionales de postgrado en el campo de la Información Geográfica a nivel paneuropeo.

Existen otras páginas con información útil como la página denominada *Geoinformatics-Service* [GG] de la Universidad de Rostock en Alemania, que ha mantenido (al menos hasta agosto de 2005) una base de datos con los sitios donde puede accederse a Geo-Estudios. Se deja aquí esa dirección por considerar que puede realizarse a partir de ella búsquedas posteriores.

El sitio de Geoinformation.net [GI.NET] dispone, aunque se encuentran en alemán, de una serie de cursos sencillos y bien documentados sobre:

- Geo Información, Geo Datos, Ciencia de la GeoComputación
- Geo Objetos y su modelización
- Usos del SIG
- GeoDataBases y GeoInformación
- Sistemas de Referencia Espaciales y modelos básicos
- Teledetección
- GeoAlgoritmos y Estructura de Datos
- Sistemas de Bases de Datos
- Visualización de modelos de cartografía digital
- Visualización de cuestiones de SIG
- Estructuras y Procesos en modelos virtuales
- Estándares e Interoperabilidad
- Bases de Datos abiertas y distribuidas
- Servicios móviles de SIG para una sociedad móvil

Docencia en IDE en España e Hispanoamérica

En España el denominado Consorcio TeIDE (Tecnologías de las Infraestructuras de Datos Espaciales) formado por la Universidad de Zaragoza (UNIZAR), la Universidad Jaume I de Castellón (UJI) y la Universidad Politécnica de Madrid (UPM) dispone de cursos aislados en programas de grado y postgrado.

- En cursos de grado la UPM imparte la asignatura optativa IDE en 2º Curso de la carrera de Ingeniero en Topografía, Geodesia y Cartografía poniéndose énfasis en dotar al alumnado de conocimientos y habilidades sobre metadatos de la información geográfica.
- En Cursos de postgrado, en su Programa de Doctorado de "Ingeniería Geográfica", la UPM dispone hace más de tres años, de un Curso sobre "Infraestructuras de Datos Espaciales (IDE)" y otro sobre "Aplicaciones avanzadas para las IDE". Además tiene dos ofertas de trabajos de investigación sobre Tecnolo-

gías Web. En el primero de los cursos se enfatiza sobre una visión general de las IDEs y en el segundo se concreta el conocimiento en las especificaciones que el OGC propone como estándares.

- Las Universidades Jaume I (España), Münster (Alemania), y Lisboa (Portugal) proporcionarán nuevos master en Programas de Tecnologías Geoespaciales, aprobados en los programas de excelencia de Erasmus Mundus de la Unión Europea (2006) [ERA06]. A estos Programas pueden solicitar su admisión estudiantes de países no europeos.
- Desde el año 2006, impartidos en la UPM, con financiación de la Agencia Española de Cooperación Internacional (AECI) y del IGN de España, se ha celebrado anualmente un curso de posgrado de 150 horas de duración sobre IDE. El Curso está dirigido a personal perteneciente a instituciones de Latinoamérica relacionadas con la geoinformación y tiene como objetivo fundamental dotar a los asistentes de los conocimientos y las herramientas OpenSource necesarias para implementar una IDE [AECI].
- En noviembre del año 2007 el IGN y la UPM impartieron un Curso de 40 horas sobre IDE bajo la modalidad de enseñanza e-learning. El interés del curso lo indican las más de 3000 solicitudes para las 100 plazas ofertadas. Se espera continuar en el futuro [IGN08].
- Financiado por el Ministerio de Fomento, la UPM imparte desde 2005 varios Cursos destinados a responsables de la información geográfica de instituciones españolas:

  - Curso teórico-práctico sobre las especificaciones del Open Geospatial Consortium (OGC) como pilares fundamentales de las Infraestructuras de Datos Espaciales (IDE)
  - Creación de metadatos con la herramienta CatMDEdit del IGN

- El Instituto Geográfico Agustín Codazzi de Colombia ofrece, en su Programa Académico 2008, [IGAC08] una amplia oferta relacionada con las IDE:

  - Junto con la Universidad Distrital, imparte una “Especialización en SIG” con un módulo con contenidos sobre IDE.
  - También, junto a la Universidad Nacional de Colombia, ofrece una “Maestría en Geomática” con una línea de investigación específica en IDE
  - Ofrece tres cursos cortos, uno de dos créditos sobre “Infraestructuras de Datos Espaciales”, otro de un crédito sobre “Implementación de Servicios de Información Geográfica en línea siguiendo especificaciones OGC” y otro de un crédito sobre “Gestión de Metadatos Geográficos”

– En Colombia, está activo el Semillero de Investigación en IDE [SEM] de la Universidad Distrital de Bogotá. No aparecen reseñas de cursos implementados, aunque existen referencias suyas de la importancia del rol de la academia en las IDE [ROCH07]
– En la Universidad de Azuay (Cuenca, Ecuador) se ha dictado este último año (septiembre 2007) un curso de SIG cuyas últimas 30 horas fueron dedicadas a conceptos generales sobre IDE y Servidores de Mapas.

No se dispone de más información acerca de la implementación de los contenidos del OGC en los programas universitarios sobre IG en América Latina, aunque estamos convencidos de su existencia.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado en el marco de un Convenio de Colaboración entre el IGN de España y la UPM, que ha permitido crear el Laboratorio de Tecnologías de la Información Geográfica (LatinGEO).

Referencias

[AECI] Programa del Curso IDE [AECI] <http://redgeomatica.rediris.es/AECI/Programa_IDE.pdf>

[AENOR] Asociación Española de Normalización y Certificación <http://www.aenor.es/>

[AGILE] < http://www.agile-online.org/>

[BOK06] 2006. Consorcio Universitario para las Ciencias de la Información Geográfica (UCGIS), GI S&T Body of Knowledge. <http://www.ucgis.org/priorities/education/modelcurriculaproject.asp>

[CEN] Comité Europeo de Normalización <http://www.cen.eu/cenorm/homepage.htm>

[DEL03] Delphi Group (2003), “El valor de los estándares” <http://www.delphigroup.com/whitepapers/pdf/20030728-standards.pdf>

[DIN00] DIN, German Institute for Standardization. (2000), *Economic Benefits of Standardization*, Summary of Results, Final Report and Practical Examples. Berlin: Beuth. ISBN: 3-410-14860-4 <http://publica.fhg.de/documents/N-3585.html>

[eduGI] <http://www.edugi.net/eduGI>

[eduGI.LA] < http://edugi.uni-muenster.de/eduGI.LA/results_downloads/d15.pdf>

[EMGI07] <http://www.euromastergi.org/>

[ERA06] < http://geotech.uni-muenster.de>

[EWG] Education Working Group <http://plone.itc.nl/agile-edu/>

[GG] <http://www.geoinformatik.uni-rostock.de/ausbildung_en.asp>

[GI-INDEED] <http://www.gisig.it/gi-indeed/ >

[GILA] <http://www.dpi.inpe.br/GILA/about.php>

[GI.NET] http://www.geoinformation.net/

[GON08]. González, Ma. E. *et al*. (2008), *Las TIC como instrumento de colaboración entre la UPM y Universidades Latinoamericanas*, aceptado en el Congreso Nacional de Topografía y Cartografía, TopCart 2008.

[HUM07] http://www.esdi-humboldt.eu/home/gmes_inspire.html

[IGAC08] Programa académico del IGAC, Accesible a través de la web: <http://www.igac.gov.co:8080/igac_web/contenidos/home.jsp>

[IGN08] Plataforma Moodle del IGN de España. < http://go-learning.net/IGN/>

[INSPIRE] Directiva 2007/2/CE del Parlamento Europeo y del Consejo. <http://geoportal.jrc.it/geoportal/index.htm>

[ISOTC] <http://www.isotc211.org/ >

[JRC05] INSPIRE Work Programme 2005-2006 (2005) <http://inspire.jrc.it/reports/rhd040705WP4A_v4.5.3_final-2.pdf >

[LB05] ANECA (2005), Libro Blanco de la Titulación de Ingerniero en Geomática y Topografía. http://www.aneca.es/activin/docs/libroblanco_jun05_topografia.pdf

[OGC] <http://www.opengeospatial.org>

[OGCII] <http://www.ogcii.org/>

[PAIN06] Painho, M., Jovani, I., Curvelo, Paula (2006), E-learning Curricula Search in Geographical Information Systems and Science, 9th AGILE International Conference on Geographic Information Science, 20-22, April, 2006, Visegrád, Hungary <http://www.agile2006.hu/papers/a309.pdf >

[MBP] <http://www.opengeospatial.org/standards/bp>

[ROCH07] Rocha Salamanca, L.A. (2007), "El rol de la Academia en las Infraestructuras de Datos Espaciales a nivel local", 6th FIG Regional Conference, 12-15, November 2007, San José, Costa Rica. <http://www.fig.net/pub/costarica/papers/ts03/ts03_01_rocha_2406.pdf>

[SEM] http://ingenieria.udistrital.edu.co/moodle/mod/resource/view.php?id=5259 [STU07]

[SIM06] Simonis, I., Brox, C. (2006) Teaching SDI an OGC, Proceedings of the 9th Global Spatial Data Infrastructure Conference, Santiago de Chile. <http://ifgi.uni-muenster.de/~broxc/>

[STU07] http://www.plan.aau.dk/~est/Undervisning/PhDcourse2007/ParadigmsSDIdevelopment2007.html

[UWG] http://portal.opengeospatial.org/?m=projects&a=view&project_id=124 (solo miembros)

[W3C] http://www.w3c.es/

Cartografía de Redes y Mapas de Flujos: educación geográfica más eficiente

Osvaldo A. Muñiz Solari*

Abstract

Positivist cartography objectively assumed a reality representation, looking for techniques and designs to reach perfection in the mapping process. It is argued in this paper that the new theoretical approach of the so called emergent cartography generates contingent conditions, relational processes and context-dependent maps. Within that transitory conception, network cartography and flow maps better explain the geographic change in the Americas, influenced by the dynamic of the global economy. Some examples demonstrate the new cartographic vision which is considered more efficient in the informal geographic education of the community.

Key words: *networks, flows, emergent cartography, geography education.*

Resumen

La cartografía positivista asumía objetivamente una representación de la realidad, buscando técnicas y diseños para alcanzar la perfección en el mapeo. Se argumenta en este artículo que los nuevos planteamientos teóricos de la llamada cartografía emergente, genera condiciones de contingencia, procesos relacionales y mapas contexto-dependientes. Dentro de tal concepción transitoria, la cartografía de redes y los mapas de flujos explican mejor el cambio geográfico en las Américas, influenciado por la dinámica de la economía global. Algunos ejemplos demuestran la nueva visión cartográfica que es considerada como más eficiente en la educación geográfica informal de la comunidad.

Palabras claves: *redes, flujos, cartografía emergente, educación geográfica.*

Hacia una cartografía de soluciones relacionales

El aprendizaje para la comprensión y el conocimiento de los fenómenos geográficos se han fundamentado por varias décadas en una sólida cartografía positivista. Empí-

* Ph. D. Associate Professor, Department of Geography, Texas State University, 601 University Drive, San Marcos, Texas 78666, correo electrónico: o.muniz@txstate.edu

rica y racional, la posición positivista influencia por largo tiempo la expresión cartográfica para representar los fenómenos geográficos físicos, sociales y económicos. Como tal, esta filosofía conlleva la búsqueda experimental para descubrir causa y efecto en una forma fuertemente instrumentalista (Hallisey 2005). Dentro de tal contexto científico, en que la expresión Newtoniana y Cartesiana del espacio representa los fenómenos físicos, humanos y económicos a través de una cartografía precisa y desprovista de toda forma previa subjetiva, se desarrolla gran parte de la cartografía que hemos conocido en los diversos centros universitarios Panamericanos. En esta representación geográfica tradicional muy característica de gran parte del siglo XX, los trabajos de Arthur Robinson y de otros cartógrafos son muy representativos, en los cuales se busca la efectividad para dar una información relevante (Robinson *et al*. 1995). Sin embargo, la educación geográfica basada en la aproximación cognitiva ha planteado nuevas formas de interpretar los fenómenos espaciales. Se trata de una interpretación en la lógica de operaciones mentales y la subjetividad de la construcción cartográfica en la representación de la realidad (MacEachren 1995). Pero, se debe reconocer que el énfasis tendió a enfocarse desde lo cognitivo a la investigación en el diseño de mapas mucho antes, proceso que abarco gran parte del siglo pasado (Montello 2002).

El énfasis en lo cognitivo en cartografía fue débilmente desarrollado por muchos años (Dobson 1979, Gilmartin 1981, Eastman 1985), pero la experimentación con mapas solo vino a producirse con la ayuda y el desarrollo de las computadoras. Con las recientes innovaciones tecnológicas se produjeron nuevas formas de comunicación cartográficas, incluyendo los procesos de visualización (MacEachren *et al*. 1992, Peterson 1994, Antle y Klinkenberg 1999).

La mayoría de los experimentos en visualización cartográfica relacionados con ambientes SIG aun se desarrollan en espacios simples Cartesianos, provocando de tal forma limitaciones excesivas (Hallisey 2005). Otras aproximaciones en visualización cartográfica se fundamentan en la representación espacial que tiene componentes no Cartesianos. Dentro de estos casos destacan aquellos que entregan información de redes (Ruggles y Armstrong 1997).

El propósito de este artículo es explorar cómo una nueva aplicación de la cartografía y el trabajo de mapeo puede ayudar a entender el espacio geográfico. Dentro de tal contexto, las cartografía de redes y los mapas de flujos en espacios no Cartesianos podrían dar un gran apoyo en la percepción espacial, especialmente cuando existe una educación geográfica informal de la comunidad.

El reconocimiento de lo subjetivo en la construcción cartográfica a partir de representaciones no Cartesianas es parte del trabajo realizado por cartógrafos críticos, quienes basados en la teoría de crítica social han cuestionado los principios básicos de la cartografía. En su proceso de construcción, más que la entrega de una información como fin último, lo que predomina es el proceso de creación. Esta

creación implica decisiones que son siempre subjetivas, tales como la forma de representación, lo que se incluye en ella y la forma en que se desea comunicar algo (Monmonier 1996).

La selección de fenómenos geográficos y como ellos se representan han preocupado a numerosos investigadores de la cartografía y de las representaciones espaciales en mapas de diversas escalas (Harley 1989, Wood 1992, MacEachren 1995, Monmonier 1996, Dodge y Kitchin 2000, Crampton 2003, Pickles 2004). La selección basada en decisiones puramente subjetivas y dadas por juicios individuales conlleva también la impronta cultural de quien los realiza, ya sea ésta una persona o una institución. En tal proceso el producto es un privilegio de selección formalizado en conocimiento a divulgar que implica un poder de manejo de tal conocimiento. Presentados así como constructos sociales, la cartografía realizada y los mapas producidos llevan en si una carga escondida de poder en el traspaso de un conocimiento específico y dirigido.

Este es el momento de explicar la importancia de la crisis de la representación de los fenómenos geográficos en la cartografía, puesto que gran parte de la posición relacionada con las selecciones muy subjetivas tuvo su base en el planteamiento de Harley. Su posición teórica generó un cambio de percepción del problema al presentarse las creaciones cartográficas como constructos sociales y en que, como tales, presentan ausencia de objetividad. Sin embargo, a pesar de esta aproximación, el plantearía que la objetividad última del paisaje geográfico podría lograrse si se pudiera revelar la ideología intrínseca a la representación propuesta (Harley 1989). De tal forma, Wood plantea que Harley nunca aceptó que el mapa era finalmente una construcción social de la realidad y que los mapas inscribían poder y respaldaban las estructuras políticas dominantes (Wood 1992). De hecho, toda la acción y evolución de la cartografía crítica que tiende a enlazarse con los SIG, igualmente con expresión crítica, tienen su fundamentación en la presencia de una reducida aceptación de la objetividad cartográfica. Por lo tanto, la acción crítica ha llevado por una parte a la indagación teorética que busca examinar la relevancia social del mapeo, su ética y sus relaciones de poder. Por otra parte, esta visión crítica plantea la amplia disponibilidad pública a fuentes del manejo cartográfico antes controladas por expertos y elites exclusivas (Crampton y Krygier 2006).

Hay presente en el proceso de la discusión ampliamente abierta sobre lo que es cartográfico y lo que implica el proceso de mapeo, dos visiones opuestas y de importancia fundamental. Una, expresada por la existencia de un mundo geográfico (llámese físico, humano y económico o la conjunción de todos en uno solo) que puede ser objetivamente mapeado. Por lo tanto, una visión ontológica o con conocimiento ontológico en que los fenómenos geográficos están presentes y pueden ser vistos, conocidos y medidos. En una frase breve: cómo los fenómenos geográficos son. Una segunda visión, expresada por la existencia de un mundo geográfico que

nunca llega a representarse en forma completa a través de un trabajo cartográfico y el proceso de mapeo, ya que va íntimamente relacionado con la práctica del hacer un mapa. Por lo tanto, una visión ontogenética en su naturaleza en que los fenómenos geográficos son procesos estructurales siempre en transformación. En otra frase breve: cómo los procesos geográficos llegan a ser.

Establecidas las dos distinciones fundamentales anteriores debemos enfrentar a la cartografía crítica en cuanto que el conocimiento ontológico está más representado en su razonamiento y quehacer, a pesar de su crítica a la reducida objetividad de la realidad. Aun en condición de subjetividad la cartografía crítica no logra deshacerse del error de interpretación en que los fenómenos geográficos pueden ser finalmente conocidos como son y de tal forma medidos, sin mediar análisis alguno sobre la posibilidad de procesos de transformación permanentes. Este es el pensamiento a veces difícilmente detectable en los razonamientos de importantes cartógrafos críticos (Crampton 2001, Pickles 2004).

Los procesos de transformación permanentes y que caracterizan la visión ontogenética imprimen en los trabajos cartográficos y el mapeo un proceso inherente de reconstrucción muy continua. La exigencia permanente de la reformulación en la representación de los fenómenos geográficos está dada fundamentalmente por la dinámica de las relaciones existentes. De tal forma, la cartografía es una presentación calculada de esas relaciones y el mapeo un ejercicio de continuidad sin posibilidad de expresar visiones estáticas del mundo. En definitiva, es un ejercicio continuo de prácticas espaciales para representar, medir y calcular. Todo este ejercicio continuo implica percibir y detectar las relaciones contexto-dependientes. Fenómenos geográficos caracterizados por espacios definidos y procesos que expresan el cambio de tales espacios, siendo los procesos tanto generadores de tales espacios como efectos de los cambios que sufren los mismos espacios.

Siendo los mapas emergentes en naturaleza a través de diversos tipos de prácticas (ontogenéticos en su esencia) ellos no deben interpretarse como espejos estáticos de la naturaleza en su objetividad esencial o como representaciones socialmente construidas, sino como resultantes de cambios que aparecen continuamente. Kitchin y Dodge explican que el proceso cartográfico y el mapeo emergen sobre la base de los conceptos de transducción y tecnicidad, claramente explicados por las relaciones tecnológicas presentadas por Mackenzie (2002). Visto como un proceso, la transducción lleva al que mapea y al que lee un mapa a enfrentarse continuamente con un conjunto de problemas relacionales. El que mapea puede confrontar problemas en la forma de identificar un fenómeno con respecto a otro en un espacio determinado para expresar cierta relación dinámica en el tiempo. El que lee un mapa puede confrontar problemas de orientación entre el mapa y el espacio mapeado. En ambos ejemplos el proceso de transducción es continuo y conlleva la acción de rehacer en oposición a los errores en el hacer, usar o leer. Además, la tecnicidad

implica el manejo de ciertas herramientas y procedimientos cartográficos usados por individuos para resolver problemas relacionales mediante la operación de transducción. Tecnicidad en conjunto con transducción son parte crítica para resolver problemas de relaciones. En tal caso, se habla de cartografía emergente (Kitchin y Dodge 2007).

Como resultado del proceso relacional en el manejo cartográfico, mapeo y lectura de un mapa lo importante no es lo que un mapa demuestra (representación espacial), ni tampoco lo que un mapa hace (disposición de información) sino como el mapa emerge a través de prácticas en relaciones. En este complejo pero vital proceso el mapa es creado y recreado en forma continua y el individuo o grupo de personas que practica un trabajo cartográfico y un mapeo asimila las relaciones espaciales existentes, pudiendo proyectar con mayor o menor precisión los cambios en las mismas relaciones espaciales.

El proceso relacional en la educación geográfica

Entendiendo que el conocimiento geográfico puede ser adquirido por un doble proceso denominado formal e informal, la habilidad de un individuo o grupo para mantener y desarrollar un conocimiento geográfico puede ser una buena definición de educación geográfica. Uno de los medios para adquirir educación geográfica es el manejo de un mapa relacionado con el espacio que una persona o grupo habita o que está interesado en conocer.

El mapeo funciona en un individuo o grupo que lee un mapa porque el conjunto de prácticas han sido aprendidas en experiencias formales e informales. Cuando tales prácticas no se dan antes de enfrentarse a la relaciones a comprender, entendiendo que ellas no son en sí solamente complejas sino cambiantes a través del tiempo, el proceso de transducción se trunca parcial o totalmente. Este es uno de los primeros efectos de una mala educación geográfica en un individuo o una comunidad que requiere ser guiada en ciertos procesos de comprensión de una variedad de fenómenos geográficos.

Explicados los mapas como emergentes a través de diversos tipos de prácticas (ontogenéticos en su esencia) es fácil entender tal visión cuando se representa el caso de una persona A que busca encontrar un lugar B en una ciudad. Imaginemos que A es Pedro. El se hace de un mapa urbano para intentar encontrar el lugar B y en su trabajo de entender la representación de la realidad (el mapa que sostiene en sus manos), se enfrenta al problema de “traducir” el mapa y posiblemente de encontrar inconsistencias con lo que ve (calles trazadas en forma diferente, símbolos cartográficos no relacionables con lo que ve, nombres nuevos no existentes en el mapa, etc.). En su intento, Pedro practica en forma consciente o inconsciente el proceso “emerger” su mapa para localizar el punto de interés. En este proceso Pedro intenta relaciones caracterizadas por la típica acción de mirar

el mapa y el paisaje repetidamente. En tal esfuerzo por relacionar su primer intento siempre estará caracterizado por identificar puntos de origen y destino. Posteriormente, el posible trazado de rutas mentales o dibujadas, generara en Pedro la intención de retener relaciones de puntos finales o intermedios de contacto. Tales puntos tienen la función de hitos o puntos de control para retener trayectos o rutas. Imaginemos, como muchas veces en la realidad ocurre en estos casos, que Pedro se ha confundido en sus relaciones, tratando de "emerger" su mapa personal. Entonces, Pedro se acerca a una persona C (llamada Carmen) que pasa, le muestra el mapa y le consulta sobre el lugar B. Carmen decide, después de intentar leer el mapa, dar sus propias direcciones mediante un bosquejo de mapa propio que realiza en un pedazo de papel. Independiente del procedimiento decidido por Pedro. La acción de Carmen demuestra que posee una práctica relacional sobre el espacio que se le consulta y que Pedro no posee. En el caso de Carmen, tal práctica puede ser más o menos desarrollada y depende de varios factores tales como conocimiento y experiencias repetidas sobre numerosos lugares, nombres, distancias, formas más eficientes de llegar a ciertos puntos, rutas por distancia y tiempo, etc.

Vamos a distraernos por un momento del problema que enfrenta Pedro para explicar un paso que pronto debería dar. Se trata de entender que, como se había citado antes, es necesario ahora ampliar nuestro análisis del proceso de transducción. Este proceso contrasta tanto con inducción como con deducción como estilos de pensamiento en la forma como que se relaciona a su dominio. De acuerdo a Mackenzie, todo el tema de pensar transductivamente consiste en estar abierto a la presencia de anomalías. Por el contrario, deducción e inducción detectan la presencia implícita de orden en un dominio. Así, en vez de enfocarse en operaciones caracterizadas por ser predecibles, transducción es un proceso de pensamiento que se enfoca en producir eventos posibles. En contraste a la inducción y deducción, el pensamiento transductivo forma parte de la relacionalidad en cuestión. La apertura a una situación de que algo nuevo se produzca fluye de su relacionalidad (Mackenzie 2003).

Si volvemos al problema de Pedro buscando un punto B en una ciudad que desconoce y aplicamos lo anteriormente citado, debemos entonces concordar que Pedro pensará en forma transductiva debido a que está consciente de la posibilidad de hechos impredecibles. El mapa que tiene Pedro no es en sí vital e importante porque le da una representación espacial de la ciudad que no conoce, ni tampoco por la disposición de información acerca de la ciudad, sino por la función del mapa que puede ayudarlo a producir una eficiente práctica en relaciones y permitir que pueda "emerger" su propio mapa relacional. En la búsqueda de una estrategia para reducir la probabilidad de hechos impredecibles (ej.: perderse en un cruce de calles, no reconocer una plaza en el mapa, etc.) la práctica mental de

una cartografía de red, mediante la selección de conexiones básicas entre puntos de contacto, puede llevar a un proceso transductivo eficiente. Así, el proceso relacional es uno de vital importancia en la educación geográfica de un espacio por descubrir y manejar.

Cartografía de redes y mapas de flujos

En este artículo ya he indicado que mi objetivo último es poder proporcionar un procedimiento cartográfico y un mapeo a la persona y a miembros de la comunidad con una reducida educación geográfica formal y que solamente están expuestos, quizás en forma muy poco constante, al conocimiento geográfico informal. Una primera cuestión necesaria de analizar en la educación geográfica de una persona con un nivel mínimo de aprendizaje geográfico es cómo poder potenciar su habilidad de percepción espacial.

Entraré primero a analizar el problema de la escala en la cartografía y su típica confusión en la terminología de escalas grandes y pequeñas. Matemáticamente, la fracción representativa de por ejemplo 1:25,000 se reconoce como escala grande en comparación a una de 1:1,000,000. La primera puede ser representativa de un asentamiento rural y la segunda de un mapa mundial. Sin embargo, cualquier persona sin experiencia cartográfica se confunde con tal representación numérica y establece una relación directa entre tamaño del área y la escala. Escala grande es equivalente a grandes superficies geográficas y áreas geográficas reducidas se tienden a confundir con la aplicación de escalas pequeñas.

En el proceso de la indagación geográfica McMaster y Sheppard indican que aun los geógrafos humanos piensan acerca de problemas comunitarios de pequeña escala y problemas internacionales de gran escala, confundiendo tal vez a un interlocutor no adiestrado en el manejo cartográfico. Ellos agregan que las escalas usadas por geógrafos humanos van entre el cuerpo humano y el globo terrestre, pasando progresivamente entre estas dos escalas opuestas, por la unidad familiar, vecindario, ciudad, área metropolitana, provincia/estado/región, estado, nación y continente (McMaster y Sheppard 2004). En dichos rangos tan amplios de escala se agrega otro problema difícil de asimilar por un no avezado en análisis cartográfico y lectura de mapas, como es la cantidad de información a representar. El proceso de filtraje que se reconoce como generalización cartográfica conlleva así también la dificultad de solucionar en forma correcta la simplificación de la información geográfica. Como resultado de este breve análisis, es posible aceptar que enfrentamos un problema operacional en el tratamiento de los espacios geográficos cuando se representan en una determinada forma factible de estudiar por una persona; sea esta en papel o digitalmente mostrada.

Insisto aquí que mi razonamiento sobre la materia y el planteamiento general se focaliza en aquellos que no teniendo un entrenamiento formal cartográfico y geográfico, están obligados a percibir y entender relaciones espaciales en un determinado contexto geográfico. Si analizamos cómo son estas relaciones espaciales que hoy toda persona puede enfrentar en un análisis simple o complejo, según sea el problema a resolver, dos aspectos propios del desarrollo tecnológico han ido marcando progresivamente un nuevo proceso de pensamiento global desde hace más de dos décadas. Las percepciones de disminución de la distancia entre espacios y localidades más distantes y de la reducción de los tiempos de contacto entre dos o más puntos. Ambas percepciones se van haciendo más evidentes por el desarrollo y mayor acceso a medios de transporte más rápidos (especialmente aéreos) y a comunicaciones audiovisuales más eficientes (televisión digital, telefonía celular, Internet, etc.). En consecuencia, las relaciones a descubrir y dominar a través del proceso de transducción pueden ser operables mediante dos alternativas propias del proceso de una nueva cartografía emergente. La primera se fundamenta en el manejo cada vez mas practicado de espacios virtuales, carentes de escala. La segunda se basa en la presencia de estructuras geográficas de contacto o redes de interacción, también libres de escala.

Las representaciones con escalas no verdaderas han llevado a generar un problema interesante que está íntimamente relacionado con los ambientes virtuales. Dentro de estos ambientes no hay escalas y el argumento de la comunidad científica de los sistemas de información geográfica se basa en que la forma tradicional del concepto de escala no tiene sentido para los datos electrónicos (McMaster y Sheppard 2004). Sin embargo, entender un mapa virtual no significa que la distancia deja de tener importancia y, por ende, la escala en un mapa. Aunque Internet ha reducido el costo marginal del transporte de información casi a cero, las actividades humanas siguen localizándose en algún punto y los bienes y personas deben transportarse entre ellos con un costo que aumenta en los puntos de la llamada “última milla” (Goodchild 2004). Pero para nuestro problema, que implica que una persona o una comunidad comprenda las relaciones de un mapa correspondiente a un espacio geográfico cibernético o no cibernético, la distancia y la escala son irrelevantes, puesto que interesa entender los puntos de contacto y la dinámica de flujos entre los puntos.

La concepción geográfica tradicional de todo espacio está fundamentada en puntos de apoyo que implican nodos de origen y destino en un número de interrelaciones, sean ellas de tipo físico, humano o económico. Presentando una estructura simple o compleja de interacciones de puntos o nodos de contacto, ellos forman en cualquier caso redes que facilitan la organización espacial de los movimientos

(Ruggles y Armstrong 1997). Partiendo de esta premisa podemos decir que el manejo de estructuras simples, por parte de las personas con mínimo conocimiento geográfico, les permitiría visualizar con mayor facilidad la disposición y relación de fenómenos geográficos.

Sin lugar a dudas, entender una estructura compleja de interacciones de puntos o nodos de contacto requiere de un conocimiento geográfico en que tanto teorías como modelos de transporte y comunicaciones son necesarios de aplicar para comprender la complejidad de los movimientos expresados en diversas formas de flujos por modos distintos o combinados de transporte. Sin embargo, no es parte del objetivo de este trabajo entrar en materias específicas sobre geografía de transportes y comunicaciones. Por el contrario, se intenta solamente proveer elementos básicos en materia de redes y flujos que permita a cualquier persona manejarse inicialmente en la comprensión básica de un espacio geográfico. La falta de esta habilidad es, de hecho, un problema muy generalizado y una de las primeras barreras de analfabetismo geográfico y por ende, evidencia de una falta de educación geográfica fundamental.

Mi proposición en este artículo es que cualquier cartografía de redes y mapas de flujos en que no se usa escala y se simplifica espacialmente, es mejor entendida por una persona sin educación cartográfica y geográfica. Por lo tanto, dicha persona podría comprender algunas relaciones geográficas con mayor rapidez, para así entrar a analizar con mayor profundidad y precisión algunos detalles de mayor interés en el futuro. De esta forma se pretende lograr dos objetivos: (1) acercar al lector con mayor gusto y menor aprehensión a una información pública dispuesta en forma de mapa, reduciendo todo tipo de stress asociado al aprendizaje, que la mayoría de las veces bloquea mentalmente a la persona, y (2) lograr que tal lector tenga una mayor predisposición psicológica por el aprendizaje geográfico informal al enfrentar otros tipos de cartografía y mapas en el futuro. Por lo tanto, se trata aquí de proveer una guía práctica asociada a la cartografía de red expuesta y a los mapas de flujos que pudieren ser detallados.

Para establecer los elementos básicos que permita entender relaciones espaciales igualmente básicas debemos ayudarnos brevemente de la teoría de grafos. Como es de común conocimiento, esta importante rama de las matemáticas nos permite relacionar puntos o nodos, llamados también vértices, mediante ejes o arcos que son líneas trazadas uniendo dos o más puntos. Interesa aquí, para los fines de este trabajo, destacar alguna definiciones de conectividad en un grafo. Sea $G= (V,E)$ un grafo. Se acepta que entre los vértices v_0 y v_k se produce un flujo de longitud k si se dan una sucesión de vértices y aristas establecidas en la forma $(v_0, v_1), (v_1, v_2), (v_2, v_3) ...(v_{k-1},v_k)$. Si $v_0=v_k$ se acepta que el flujo es cerrado (Figura 1 A).

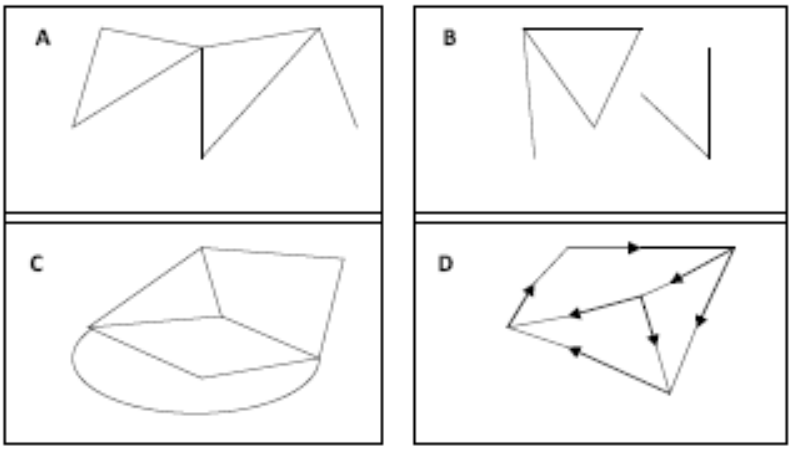


Figura 1. Conectividad en grafos. Cuatro definiciones.

Un grafo *G= (V,E)* se llama conexo si hay un camino existente entre cualquier par de vértices distintos de *G*. Se llama componente conexo de *G* a un subgrafo conexo maximal de *G* (Figura 1 B). Un dígrafo *D= (V, E)* es muy conexo si en cada par de vértices existe un trayecto dirigido que va entre ambos vértices (Figura 1 C). Si al asignar un sentido de dirección a cada arista de *G*, llamada: 'orientación de *G*', se produce entonces un dígrafo muy conexo y orientable (Figura 1 D).

Parte importante de este artículo es la comprensión de nuevas formas de percibir el espacio geográfico. Teniendo presente que la población de la Región se ha abierto a la globalización en diversas formas, los ciudadanos de los diversos países se enfrentan cada vez más a la necesidad de comprender múltiples tipos de espacios. El uso de cada vez mas masivo de Internet, el desarrollo de carreteras y nuevos medios de transporte, la aceptación de nuevas alternativas de movimientos intraurbanos, la expansión vertiginosa del uso de celulares con nuevas funciones que permiten interactuar con otros medios audiovisuales, una mayor compresión sobre espacios regionales de fronteras, la recepción cada vez más amplia y positiva sobre espacios de recreación y cultura como son los parques nacionales, son todos ejemplos de un creciente reconocimiento de que los espacios geográficos locales, regionales, territoriales y continentales, están teniendo un rol importante en la vida del hombre y la mujer común. Más aun, se debe reconocer que tales espacios geográficos han cobrado una dinámica de cambios nunca antes vista. Ante todo ello, el ciudadano con poca educación geográfica esta hoy y estará más obligado en el futuro a entender y manejar información cartográfica en que las redes y los flujos de algún tipo de fenómeno, sea este físico, humano y/o económico, expliquen procesos cada vez más complejos.

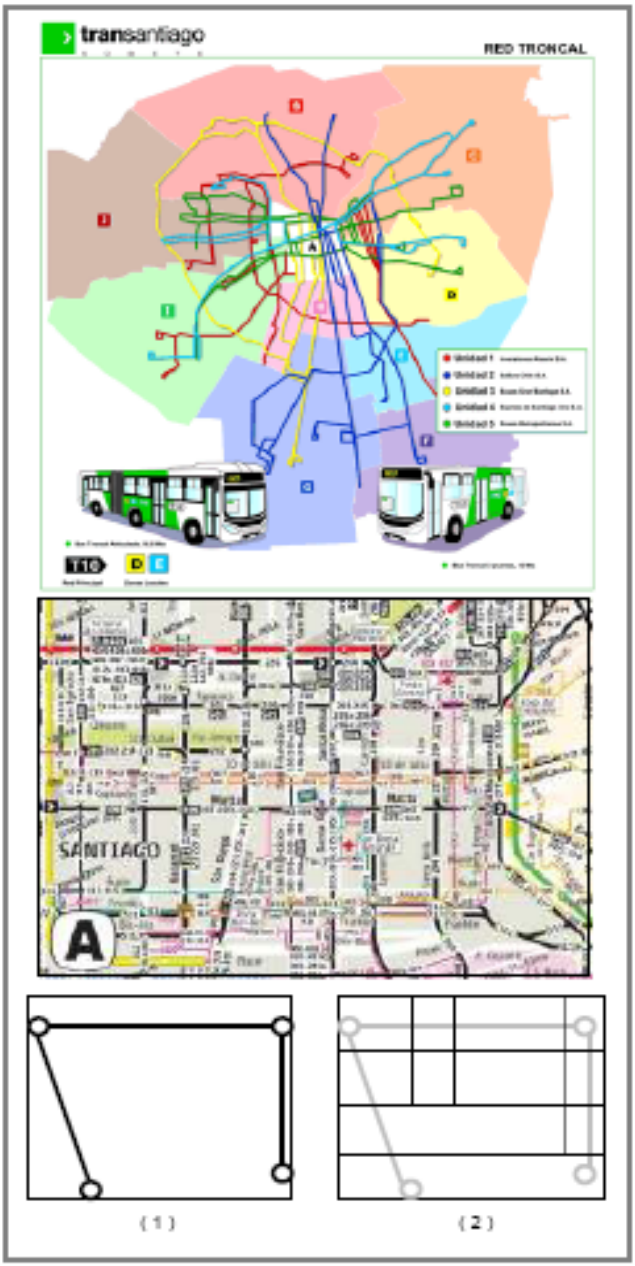


Figura 2. Conformación de grafo local de red intraurbana de transporte (1) Primera transducción, (2) Segunda transducción. Mapas TranSantiago (con permiso 2008).

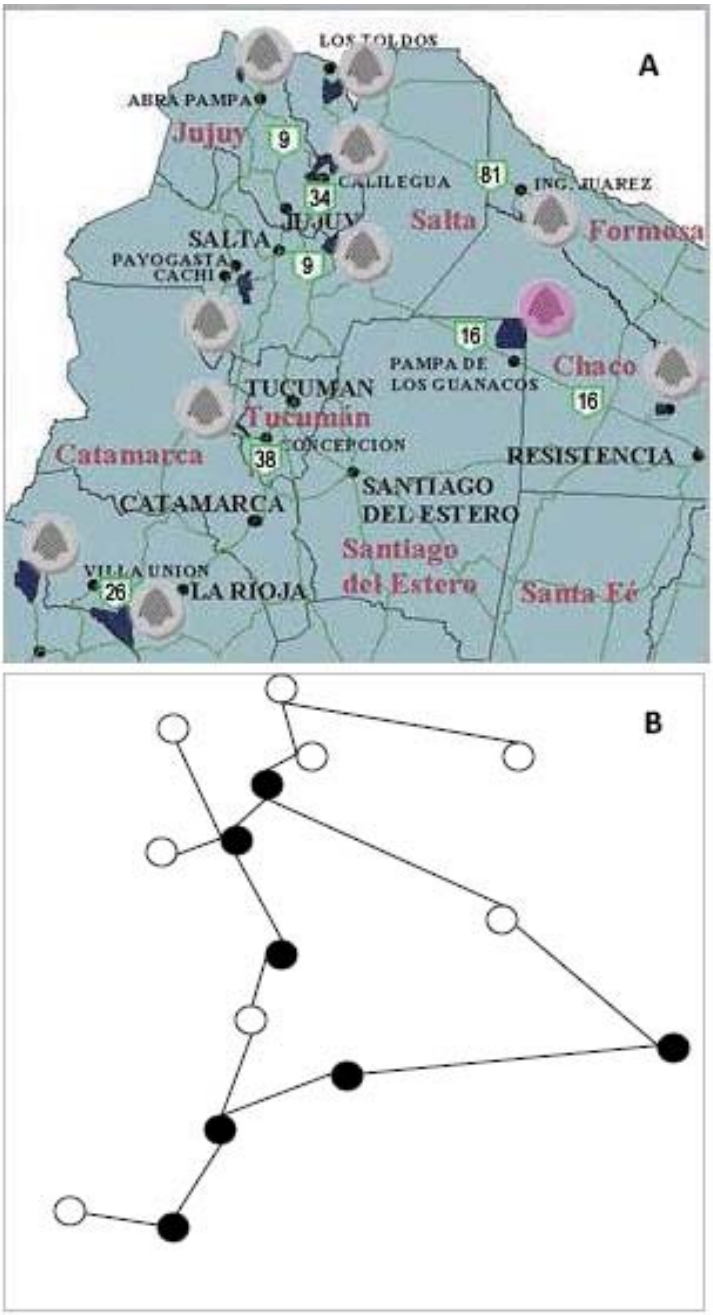


Figura 3. Mapa de Parque Copo, Argentina (A). Grafo representativo mínimo (B).

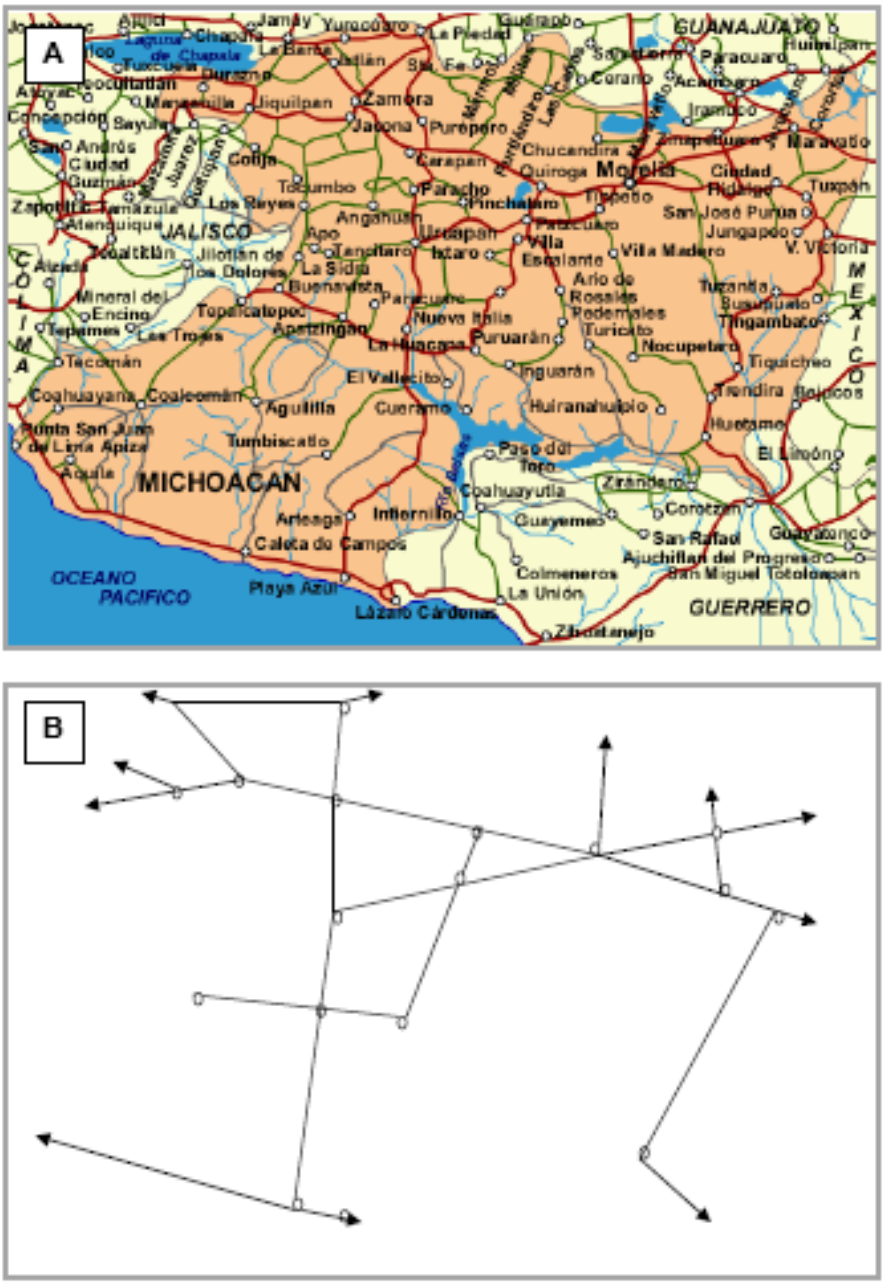

A
B
GUANAJUATO
JALISCO
MICHOACAN
GUERRERO
OCEANO PACIFICO
Zamora
Morelia
Uruapan
Apatzingán
Lázaro Cárdenas
Playa Azul
Tumbiscatío
Aguililla
Tepalcatepec
Tepames
Tecomán
Coahuayana
Coalcomán
Punta San Juan de Lima Apiza
Aquila
Arteaga
Caleta de Campos
Infiernillo
Coahuayutla
Guayameo
Colmeneros
La Unión
Zihuatanejo
Zirandaro
Coroazón
San Rafael
Ajuchitlán del Progreso
San Miguel Totolapan
Huetamo
El Limón
Tiquicheo
Tlalchapa
Tlipujahua
Tlalpujahua
Tlalnepantla
Tlatlaya
Tlazazalca
Tlazazalca
Tlazazalca

Figura 5. Eje Andino (IIRSA) y cartografía emergente en proceso transductivo inicial (B).

Utilizaré varios ejemplos cartográficos y la forma como ellos pueden ser traducidos a una simple operación inicial. De hecho, cada uno de ellos puede presentarse con escalas diferentes, pero para efectos estratégicos dicha condición no será incluida. De tal forma, una persona con poca educación geográfica podría progresar rápidamente en la comprensión de un fenómeno espacial, mediante un proceso informal de aprendizaje.

El nivel urbano

La globalización ha influido fuertemente en el desarrollo y crecimiento de las ciudades en las diversas regiones de Centro y Suramérica. Los porcentajes de población urbana han aumentado ostensiblemente y se puede verificar por la creciente densidad de población en las ciudades mayores (Population Reference Bureau 2007). Chile tiene uno de los porcentajes de población urbana más altos del continente, alcanzando el 88 por ciento con respecto a su población total, la metrópoli de Santiago, como ejemplo típico de las mayores ciudades panamericanas ha sobrepasado los seis millones de habitantes, con una densidad superior a los 8,500 hab/km² (INE 2005). Como en muchos casos urbanos en la región, la metrópoli está demandando nuevos y mayores servicios. Uno de estos servicios es el transporte intraurbano.

Como un ejemplo muy típico de los cambios brevemente citados, la población metropolitana de Santiago de Chile ha sido expuesta en los dos últimos años a la urgencia de entender y usar un nuevo sistema muy complejo de transporte urbano denominado TranSantiago. Esta exposición se ha realizado por una fuerte acción comunicacional que ha tenido diversas formas. Panfletos, volantes y mapas digitales en las páginas especiales del sitio en Internet dispuesto por el Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones, han sido las formas más comunes (TranSantiago 2008). Si analizamos un ejemplo de los mapas digitales, podemos observar inmediatamente la complejidad de las redes. Uno de los errores cometidos en su aplicación ha sido presuponer que cualquier persona, independiente de su edad, sexo y educación, es capaz de entender una cartografía de redes y mapas de flujos de buses y metro-trenes en que se incluyen identificación de líneas, tiempos de movimientos y transferencias de medios de transporte, entre otras informaciones (Figura 2 A).

En el caso representado en la Figura 2, estamos hablando primero de una red troncal, la cual no ofrece mayor información detallada a quien le puede servir para moverse en la ciudad. También, una información detallada para una sección de la ciudad (A) que representa la comuna de Santiago. En este caso, la probabilidad de confusión es mayor, aun en la posibilidad de usar el proceso interactivo digital por el cual es posible un acercamiento visual y detallado de cada sector (TranSantiago 2008). Frente a lo anterior amerita, según lo expuesto en este artículo, seleccionar los ejes y nodos esenciales de entrada y salida del sector. La construcción y repre-

sentación del grafo local habilita al lector para entrar en el primer proceso de transducción, buscando la primera aproximación relacional y que está representada en el recuadro 1 (Figura 2). Posteriormente y una vez identificados los ejes importantes, la persona está en condiciones de practicar la segunda transducción, por la selección de ejes específicos o detallados y que están representados en el recuadro 2 (Figura 2). En cierto modo, practicará un proceso inconsciente de conversión de escala sin poseerla y sin necesidad de entenderla. En este aprendizaje transductivo que se realiza en forma rápida, la persona debería ser ayudada mediante gráficos parciales de tipo local que representen grafos representativos de redes de ejes mayores o troncales. Dicha red simple se debe incorporar en recuadro especial en la cartografía tanto de red troncal y sobre todo en el mapa de flujos detallado.

El nivel regional

Uno de los espacios muy representativos de una población cada vez más comprensiva con las materias ambientales e interesada en compartir nuevas regiones en sus propios territorios o en aquellos de otros países, son los parques nacionales en toda la Región Panamericana. Dos aspectos han profundizado el interés por estos espacios. Primero, el creciente proceso democrático en la mayoría de los países, abriendo las puertas de cada territorio al nuevo ciudadano del mundo; típico proceso actual de la globalización. Segundo, el creciente desarrollo en infraestructura y especialización de los servicios en el turismo nacional e internacional de la mayoría de los países.

A diferencia del caso intraurbano en donde la localidad y la multiplicidad de contactos obligan a un proceso de transducción en etapas progresiva, el caso regional tiende a ser simple en la búsqueda de relaciones predecibles. Por lo tanto, el proceso de transducción para obtener el mapa personal que “emerge” por la red de nodos más importantes o urbanos, se simplifica de sobremanera.

Para un ejemplo representativo he elegido al Parque Nacional Copo, ubicado en el extremo nordeste de la provincia de Santiago del Estero, Argentina. Con 114,250 ha, el Parque Copo cubre una gran extensión del Chaco Seco Santiagueño. Por haber sido formalmente creado el año 2000, no posee una infraestructura para recibir turistas y por eso es un muy buen ejemplo en el proceso de obtener una cartografía emergente por parte del visitante (Figura 3A).

Para su simplificación cartográfica, la red básica del Parque Copo comprende 15 nodos, de los cuales siete son de mayor gravitación. El proceso relacional permite identificar una red de estructura simple y lineal, con la mayoría de los centros urbanos mayores en la parte interior del grafo (Figura 3B).

Seleccionar los nodos y ejes principales ayuda a todo turista a percibir la red estructurada y a conocer las entradas y salidas con rapidez, proyectando con facilidad los flujos mayores y posibles congestiones o puntos de mayor densidad. En tal

proceso relacional dejan de tener importancia otros fenómenos geográficos, a no ser que se desee destacar algunos de tipo físico y natural, lo que llevaría a una transducción que permita emerger un mapa relacional distinto.

El nivel territorial

Es común encontrar mapas de carreteras a nivel territorial. Este tipo de mapas es uno de fácil acceso y que llega a la mayor parte de la población por diversos medios y motivos. La apertura de muchos países de la Región al proceso de globalización ha traído por consecuencia el aumento en kilometraje y calidad de la redes de transporte terrestre. Nuevas infraestructuras de transporte terrestre se han combinado con otros medios, generando así la posibilidad de transporte multimodal en numerosas áreas geográficas. En algunos casos de gran densidad de población, las redes complejas de caminos y carreteras tienden a confundir al lector de mapas. Este problema lo enfrenta cualquier persona que teniendo diversos grados de aprendizaje en lectura de mapas o no teniendo ninguna enseñanza formal, se enfrenta a cierto grado de incertidumbre y posiblemente de stress, ante la necesidad de leer una red de vías, caminos y carreteras, sobre todo cuando ocurre la acción de moverse en alguna de ellas.

Para presentar un ejemplo territorial de red de caminos y carreteras y que se repite en muchas áreas geográficas del Continente, he elegido a una región administrativa de México. Por obvias razones de espacio, el análisis se ha delimitado al estado de Michoacán. Con 58,644 km^2, su población ya ha sobrepasado los 3,000,000 de habitantes, teniendo así una densidad de población superior a 50 hab/km^2. Por ser esta una región muy importante del país y contigua al Estado de México, entre otros también importantes, Michoacán experimenta una profusión de caminos y carreteras de difícil lectura a diversas escalas (Figura 4A).

En comparación con la mayor complejidad encontrada en una red urbana con densidades superiores de población y flujos, un espacio geográfico dentro de un territorio como es el caso del Estado de Michoacán, tiende a presentarse como un nivel intermedio en el proceso inicial de análisis relacional. En otras palabras, suponiendo que una red de caminos y carreteras es consultada por un usuario para encontrar una o varias soluciones de movimientos desde un punto de origen “i” a un punto de destino “j”, las situaciones impredecibles por desconocimiento del medio son menores y menos apremiantes que aquellas que se producen en un movimiento urbano. Sin embargo, lo imprevisible está presente y quien practica una búsqueda de información en una cartografía de redes de esta índole debe realizar igualmente pasos consecutivos en su personal proceso de transducción. Por lo tanto, la necesidad de producir su propia cartografía emergente es igualmente una condición fundamental. En un proceso muy similar a razonamiento urbano, pero con mayor

disponibilidad de espacio, la persona debería establecer al menos dos etapas de inicio en la transducción: (1) selección de ejes dominantes o primarios en el grafo, y (2) selección de ejes secundarios hacia la determinación del espacio denominado 'último kilómetro' o 'primer kilómetro' (Figura 4B).

La selección de ejes primarios permite decantar serie de ejes que confunden al lector en su primera aproximación a la cartografía de redes de esta índole. Su separación en un grafo simple tiende a iniciar el proceso relacional concentrando al lector en aquellos ejes y vértices más cercanos al recorrido que hace o que hará en el futuro. Posteriormente, la selección de ejes secundarios es hecha mediante el proceso de emerger una cartografía selectiva y enfocada en espacios de mayor interés, según consiga localizar los vértices o nodos más cercanos s los destinos intermedios y final. El proceso relacional continúa al acercarse al 'último kilómetro'. Por lo general, este es más complejo ya que comporta mayor número de decisiones en la selección de la ruta y posiblemente, un mayor tiempo de estudio. Aunque este es un concepto referido a problemas de telecomunicaciones, ha sido también aplicado a problemas de conectividad en transporte de carga y pasajeros (Rodríguez, Comtois, y Slack 2006). Para nuestro estudio, su utilidad está dada por la necesidad de hacer emerger el espacio más crítico del movimiento terrestre y que, en este caso, está circunscrito a la zona urbana dentro del vértice o nodo final del recorrido en la red.

El nivel continental

En el proceso de globalización en que los diversos países de toda el área panamericana están tomando parte de una u otra forma, hay ejemplos interesantes de integración y mejoramiento continental. Para fines de este estudio, uno de los ejemplos más representativos que puede exponerse es la Iniciativa para la Integración de la Infraestructura Regional Sudamericana. IIRSA procura la integración física de los países de Suramérica y el logro de un patrón de desarrollo territorial equitativo y sustentable (IIRSA 2008). Los Grupos Técnicos Ejecutivos (GTE) en la planificación del año 2007 presentan una cartera de proyectos de varios Ejes cubriendo toda Suramérica. Estos proyectos representan una complementación de infraestructuras relacionadas con el transporte y energía (IIRSA 2007).

Considerando que tales obras de carácter continental no solo deben ser parte del conocimiento público, sino también comprendidas por la población de cada país para asimilar el proceso de integración, la presentación de este ejemplo es muy conveniente y aceptable. De tal forma, este ejemplo geográfico permite ejercitar el proceso de cartografía emergente a un nivel continental. Se ha elegido en este caso uno de los proyectos en marcha correspondiente al Eje Andino. Dicho proyecto cubre gran parte del Área Andina y, como tal, el mapa de esta parte de la Región

Suramericana es complejo por el gran número de poblados integrados a la red de transporte terrestre, ferroviaria y de energía en estudio (Figura 5A).

Es lógico que una primera aproximación para quien no posee un conocimiento geográfico formal de tan amplia área sea posible a través de un proceso secuencial de aprendizaje cartográfico. Para poder entender la compleja relación de componentes geográficos se debe educar, especialmente a la población de los países integrados, mediante el proceso de cartografía emergente. Las preguntas claves a realizar podrían ser: ¿cómo comprender los diversos niveles de tamaño e importancia de todos los asentamientos involucrados en el Eje Andino? ¿cómo ubicar las áreas más sensitivas y críticas a la permanencia de una red dinámica a través del tiempo? Ambas preguntas pueden ser contestadas a través del ejercicio del aprendizaje transductivo. La relación de partes geográficas debe descubrirse, en este caso, para buscar las respuestas a los niveles de tamaño e importancia de los asentamientos integrados. También, la búsqueda del mapa relacional por un proceso agregativo y secuencial debería conducir a la respuesta sobre cuáles áreas son mas críticas y sensitivas a la permanencia de la red dinámica del Eje Andino. La estructura de un grafo conexo en sus ejes básicos permite expresar la primera relación y emerger un mapa elemental que facilite la lectura y se comprenda los contactos esenciales entre poblados y ciudades de diversos tamaños (Figura 5B).

Como parte de una segunda fase relacional la persona sin educación formal cartográfica y geográfica podría preguntarse sobre tales tamaños para adquirir posteriormente el concepto de jerarquía. Sucesivamente, se van agregando relaciones más complejas, tales como: ciudades primarias, puertos de movimientos multimodales, puntos de traspaso de productos, flujos de diversos tonelajes, flujos energéticos, áreas de influencia, hinterlands, puntos críticos de traspaso, etc.

La diferencia entre el problema relacional para un espacio urbano y uno de tipo continental no es la escala. Ya hemos dicho que tal condición no está en juego en este análisis de primario de acercamiento a cartografías de redes y mapas de flujos. Por el contrario, tal diferencia se encuentra en que la urgencia por reducir situaciones impredecibles es mayor en espacios de mayor densidad. En este caso, de mayor densidad urbana. Por ser áreas extensas, en el caso de superficies continentales, el problema relacional tiene una forma diferente de acercamiento y proceso secuencial. Las situaciones impredecibles serán tardías, en cuanto que el mapa emergente inicial se focaliza en espacios más amplios, dados por aquellos cubiertos por ejes entre los diversos vértices del grafo. Una vez que se entre a buscar relaciones focalizadas en cada área sensitiva correspondiente a cada ciudad, a cada puerto, a cada centro de producción energética, por citar algunos ejemplos, los procesos relacionales serán especialmente críticos y el aprendizaje transductivo conducirá a enfrentar situaciones impredecibles, las que pueden ser manejadas con mayor conocimiento geográfico.

Conclusiones

En este estudio se ha intentado explicar la importancia de los procedimientos básicos para entender un espacio geográfico y las relaciones que son fundamentales de reconocer y destacar a través de una cartografía de redes y un mapa de flujos.

El propósito de este artículo fue explorar cómo una nueva aplicación de la cartografía y el trabajo de mapeo podrían asistir en la comprensión inicial de un espacio geográfico. Para dicho propósito se ha demostrado que cualquier cartografía de redes y mapas de flujos en que no se usa escala y se simplifica espacialmente, es mejor entendida por una persona sin educación cartográfica y geográfica. Así, el lector de una cartografía compleja puede comprender algunas relaciones geográficas con mayor rapidez dar un segundo paso hacia la asimilación de fenómenos geográficos más complejos.

De esta forma se pretende lograr dos objetivos fueron expuestos y posiblemente alcanzados: (1) acercar al lector con mayor disposición y menor aprehensión a una información pública dispuesta en forma de mapa, reduciendo todo tipo de stress asociado al aprendizaje y que la mayoría de las veces bloquea mentalmente a la persona, y (2) lograr que tal lector tenga una mayor predisposición psicológica por el aprendizaje geográfico informal al enfrentar otros tipos de cartografía y mapas en el futuro.

La guía simple propuesta y explicada a través de varios ejemplos es posible de repetir en numerosos casos geográficos similares. Por supuesto, estaría por verse si el proceso de educación geográfica informal puede ser exitoso al aplicarse los procedimientos citados. Para ello, es necesario que la comunidad profesional dedicada al trabajo cartográfico comprenda que el uso de este instrumento, la mayoría de las veces complejo para el público en general y el ciudadano en particular, debe estar provisto de una clave o llave de apertura. Hemos hablado de tal llave maestra y su utilización debe ser guiada a través del mismo instrumento visual que la comunidad utiliza.

Bibliografía

Antle, A, y Klinkenverg, B. (1999), “Shifting Paradigms: from Cartographic Communication to Scientific Visualization”, *Geomatica*, vol. 53, pp. 149-155.

Crampton, J. (2001), “Maps as Social Constructions: Power, Communication and Visualization”, *Progress in Human Geography*, vol. 25, pp. 235-252.

——— (2003), *The Political Mapping of Cyberspace*, Edinburgh, Edinburgh University Press.

Crampton, J. y Krygier J. (2006), “An Introduction to Critical Cartography, Critical Cartography Special Issue”, ACME: An International E-Journal for Critical Geographies, vol 4, no. 1, consultado en última visita el 17 de enero de 2008 en sitio web: http://www.acme-journal.org/Volume4-1.htm

Delaney, D. y Leitner H. (1997), "The Political Construction of Scale", *Political Geography*, vol. 16, pp. 93-97.

Dobson, (1979), "The Influence of Map Information on Fixation Localization", *American Cartographer*, vol. 6, no. 1, pp. 51-65.

Dodge, M. y Kitchin, R. (2000), "Exposing the 'Second Text' in Maps of the Network Society", *Journal of Computer Mediated Communication*, vol. 5, no. 4, consultado en última visita el 15 de enero de 2008 en sitio web: http://jcmc.indiana.edu/vol5/issue4/dodge_kitchin.htm

Eastman, J. (1985), "Graphic Organization and Memory Structures for Map Learning", *Cartographica*, vol. 22, pp. 1-20.

Gilmartin, P. (1981), *The Interface of cognitive and Psychological Research in Cartography*, vol. 18, pp. 19-20.

Goodchild, M. (2004), "Scales of Cybergeography, en E. Sheppard y R. McMaster (editores)", *Scale & Geographic Inquiry*, Oxford, Maxwell Publishing, pp. 145-169.

Hallisey, E. (2005), "Cartographic Visualization: An Assessment and Epistemological Review", *Professional Geographer*, vol. 57, no. 3, pp. 350-364.

Harley, J. (1989), "Deconstructing the Map", *Cartographica*, vol. 26, pp. 1-20.

IIRSA (2007), "Planificación Territorial Indicativa, Grupos Técnicos Ejecutivos-GTE 2007. Resultados y Carteras de Proyectos", consultado en última visita el 23 de Febrero de 2008 en sitio web: http://www.iirsa.org/

——— (2008), "Iniciativa para la Integración de la Infraestructura Regional Suramericana", consultado en última visita el 25 de Febrero de 2008 en sitio web: http://www.iirsa.org/

INE (2005), "Chile: Ciudades, Pueblos, Aldeas y Caseríos", Instituto Nacional de Estadística, documento PDF.

INEGI (2005), *II Conteo de Población y Vivienda*, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, México.

Kitchin, R. y Dodge, M. (2007), "Rethinking Maps", *Progress in Human Geography*, vol. 31, no. 3, pp. 331-344.

Leitner, H., Pavlik, C. y Sheppard, E. (editores) (2002), "Networks, Governance and the Politics of Scale: Inter-urban Networks and the European Union", en A. Herod y M. Wright (editores), *Geographies of Power: Placing Scale*, Oxford, Blackwell, pp. 274-303.

Leitner, H. (2004), "The Politics of Scale and Network of Spatial Connectivity: Transnational Interurban Networks and the Rescaling of Political Governance in Europe", en E. Sheppard y R. McMaster (editores) *Scale & Geographic Inquiry*, Oxford, Maxwell Publishing, pp. 236-255.

MacEachren, A. (1995), *How Maps Work: Representation, visualization and Design*, New York, Guilford Press.

Mackenzie, A. (2003), *Transduction: Invention, Innovation, and Collective Life*, Institute for Cultural Research, Lancaster University, UK, consultado en última visita el 19 de enero de 2008 en sitio web: http://www.lancs.ac.uk/staff/mackenza/papers/transduction.pdf

McMaster, R. y E. Sheppard (2004), *Introduction: Scale and Geographic Inquiry*, en E. Sheppard y R. McMaster (editors) *Scale & Geographic Inquiry*, Oxford, Maxwell Publishing, pp. 1-22.

Monmonier, M. (1996), *How to Lie with Maps*, Chicago, University of Chicago Press.

Montello, D. (2002), "Cognitive Map-Design Research in the Twentieth Century: Theoretical and Empirical Approaches", *Cartography and Geographic Information Science*, vol. 29, no. 3, pp. 283-304.

Parques Nacionales de Argentina (2008), *Parque Copo, Argentina*, Consultado en última visita el 14 de febrero de 2008 en sitio web: http://www.parquesnacionales.gov.ar

Peterson, M. (1994), "Cognitive Issues in Cartographic Visualization", en A. MacEachren y D. Fraser Taylor (editors), *Visualization in Modern Cartography*, New York, Elsevier, pp. 27-43.

Pickles, J. (2004), *A History of Spaces: Cartographic Reason, Mapping and the Geo-coded World*, London, Routledge.

Population Reference Bureau (2007), *World Population Data Sheet*, Washington, D.C., documento electrónico disponible en http://www.prb.org

Robinson, A.H., Morrison, J.L., Muehrcke, P.C., Kimmerling, A.J. y Guptil, S.C. (1995), *Elements of Cartography*, New York, Wiley, 6ta. edicion.

Rodríguez, J.P., C. Comtois, y B. Slack (2006), *The Geography of Transport Systems*, New York, Routledge.

Ruggles, A. y Armstrong, M. (1997), "Toward a Conceptual Framework for the Cartographic Visualization of Network Information", *Cartographica*, vol. 34, no. 1, pp. 35-47.

Sheppard, E. y McMaster, R. (2004), *Scale & Geographic Inquiry*, Oxford, Maxwell Publishing.

Staeheli, L. (1994), "Empowering Political Struggle: Spaces and Scales of Resistance", *Political Geography*, vol. 13, pp. 387-391.

TranSantiago (2008), "Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones", Chile, consultado en última visita el 2 de Febrero de 2008 en sitio web: http://www.transantiagoinforma.cl/

Wood, D. (1992), *The Power of Maps*, New York, Guilford Press.

Experiencias en la enseñanza de nuevas tecnologías: el Centro de Geomática de la Universidad de Talca

Carlos Mena Frau*
Jaime Latorre Alonso*
John Gajardo Valenzuela*
Yony Ormazábal Rojas*
Yohana Morales Hernández*

Abstract

The Geomatic Center of The University of Talca was built in 2006 with contributions of the program "Mejoramiento de la Calidad y Equidad de la Educación Superior" (MECESUP) from The Ministry of Education of Chile, throught the project "TAL 0303: Enseñanza de la Geomática en la Universidad de Talca". Its primary objective was to improve the professional competitions of the pre-degree students of Architecture, Agronomy, Computer Civil Engineer and Forest Engineer in the new thematic.

The Center's a mission is the development of the Geomatic as a Technological Area of Earth Sciences, offering opportunities of access to equipment, information, and specialized academic personnel and facilitating student mobility for its training in methods, techniques and technologies of acquisition, generation, analysis, models and representation of geo-referenced information.

Key words: *MECESUP, Geomatic, Earth Sciences, Transversal competences, Multidisciplinary integration.*

Resumen

El Centro de Geomática de la Universidad de Talca fue construido en el año 2006 con aportes del programa "Mejoramiento de la calidad y equidad de la educación superior" (MECESUP) del Ministerio de Educación de Chile, el cual financió el

* Centro de Geomática de la Universidad de Talca, Avenida Lircay s/n, Talca, Chile, correos electrónicos: cmena@utalca.cl, jlatorre@utalca.cl, jgajardo@utalca.cl, yormazabal@utalca.cl, ymorales@utalca.cl

proyecto “TAL 0303: Enseñanza de la Geomática en la Universidad de Talca”. Su objetivo principal apunta a mejorar las competencias profesionales de los estudiantes de pre-grado de Arquitectura, Agronomía, Ingeniería Civil en Computación e Ingeniería Forestal en el ámbito de esta nueva temática.

El Centro tiene como misión el cultivo de la Geomática como área tecnológica de las Ciencias de la Tierra, brinda oportunidades de acceso a equipamientos, información y personal académico especializado, facilita la movilidad estudiantil para su entrenamiento, tanto común como específico, en métodos, técnicas y tecnologías de adquisición, generación, análisis, modelamientos y representación integrada de información geo-referenciada.

Palabras clave: *MECESUP, Geomática, Ciencias de la Tierra, Competencias transversales, Integración multidisciplinaria*.

Introducción

Durante los últimos años, el mundo ha sido testigo de un sorprendente y explosivo desarrollo de la tecnología informática en los más diversos ámbitos, involucrando la automatización de procesos, aumento de la productividad y mejoras en la gestión de los recursos. En este contexto, el avance tecnológico ha proporcionado el sustento instrumental sobre el que se materializan los avances logrados en investigación, permitiendo el desarrollo de nuevos productos y servicios.

Disciplinas relacionadas al modelado e interpretación de la superficie de la Tierra, no han quedado fuera del gran avance tecnológico experimentado en el mundo durante las últimas décadas. La integración de la informática y la geografía, ha resultado altamente fructífera en aplicaciones como inventarios y manejos de recursos naturales, agricultura de precisión, análisis de fenómenos medioambientales, geomarketing, gestiones y planificaciones urbanas entre otros (Mena 2005).

En este escenario, surge el concepto de Geomática o Geoinformática entendida como una disciplina emergente, resultado de la unión de las Ciencias de la Tierra y la Informática, que se expresa en la integración sistémica de técnicas y metodologías de adquisición, almacenamiento, análisis, presentación, uso y distribución de información espacial. En este contexto, es usual encontrar aplicaciones relacionadas con el uso de los Sistemas de Información Geográficos (SIG), la Teledetección Área o Espacial y el Sistema de Posicionamiento Global (GPS), tecnologías que actualmente se usan en forma amplia y transversal en diversas carreras ligadas a las Ciencias de la Tierra (Kavanagh 2002).

Aunque en Chile el concepto global de Geomática es relativamente reciente, a la fecha existen fructíferas experiencias y desarrollos en las diversas disciplinas que la conforman. De hecho, en la década del noventa, la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de Talca, inaugura el Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica (SIG), entidad que por ese entonces atendía los requerimientos relacio-

nados al estudio y utilización de los datos geográficos, dictando en la carrera de Ingeniería Forestal, las asignaturas de Cartografía, Fotogrametría y Sistemas de Información Geográfica (Mena 2004).

Por su parte, durante los años 2002-2003 el Ministerio de Educación de Chile, a través de su programa mejoramiento de la calidad y equidad de la educación superior (MECESUP 2007), detectó algunos problemas en la calidad de la educación chilena, expresados en una falta de flexibilidad curricular, carencias en la integración de tecnologías de la información y una insuficiente formación científica y tecnológica de los estudiantes de pre-grado; lo cual no responde adecuadamente a las necesidades actuales del desarrollo del país. En este escenario y enfocándose en las deficiencias detectadas, la Universidad de Talca postula al fondo MECESUP el proyecto "Enseñanza de la Geomática en la Universidad de Talca (TAL 0303)" (UTALCA 2007). En dicho proyecto se contempló la participación de cuatro carreras de la Universidad: Agronomía, Arquitectura, Ingeniería Civil en Computación e Ingeniería Forestal, todas las cuales manifestaron su interés por incluir competencias ligadas a la Geomática en sus mallas curriculares. El proyecto consideró un horizonte de ejecución de tres años (2004-2007), y un periodo de seguimiento de cuatro años (2008-2011), con la finalidad de beneficiar a las carreras y alumnos participantes mediante el alcance de los siguientes objetivos.

Objetivos Generales

1. Mejorar las competencias profesionales de los estudiantes de pre-grado de las carreras involucradas (Agronomía, Arquitectura, Ingeniería Civil en Computación e Ingeniería Forestal), garantizando desempeños multidisciplinarios de trabajos según códigos de comunicación comunes, mutua potenciación y sinergia en la búsqueda de soluciones a problemas asociados al manejo de variables espaciales.
2. Brindar a los alumnos, oportunidades de acceso a facilidades, personal especializado y a fuentes de información, que les permita orientar sus intereses vocacionales y desarrollos técnicos futuros en el marco de su entrenamiento profesional.

Objetivos Específicos

Relacionados al Objetivo General número 1

- Conocer y aplicar tecnologías para recolectar, almacenar, recuperar, transformar, desplegar y usar información espacial digital y analógica mediante el uso de equipos, programas y datos asociados a las Ciencias de la Tierra.
- Facilitar la movilidad horizontal de los estudiantes de las carreras involucradas, mediante el acceso a cursos comunes de formación profesional en Geomática.

Relacionados al Objetivo General número 2

- Incorporar la Geomática como herramienta para abordar las soluciones previstas en la agricultura de precisión, arquitectura, ordenación del territorio, planificación y modelamiento del uso múltiple de la tierra y el manejo eficiente de variables ambientales diversas.
- Reforzar los contenidos temáticos de cursos de especialidad, con información generada por los propios estudiantes a través de memorias de título, talleres finales o similares y por aquella que los propios docentes desarrollen.
- Disponer de un cuerpo docente especializado, actualizado y comunicado en redes de conocimiento vinculados a la Geomática, apoyados por las facilidades físicas brindadas por la infraestructura instalada en un edificio construido y diseñado para tales fines.

Método

La metodología detallada a continuación corresponde a las fases contempladas durante el desarrollo del proyecto. Responde básicamente a la estructuración y flujo de ejecución de tres fases principales y sus actividades asociadas.

Fase levantamiento de competencias y diseño de instrumentos docentes

- *Levantamientos de competencias asociadas a la Geomática*: el desarrollo de esta actividad implicó la realización de múltiples reuniones y talleres, en donde participaron diversos actores ligados al ámbito docente y laboral. Para recoger las competencias profesionales que los alumnos requerían, se ejecutaron una serie de encuestas en donde personas representantes del segmento académico y laboral, podían incluir sus deseos acerca de las competencias y capacidades que ellos esperaban encontrar en los alumnos egresados de la Universidad de Talca (Figura 1). Posteriormente, recopilando la información proporcionada por los diversos segmentos y con todos los actores participantes, se llegó a un consenso sobre las competencias que debían ser incluidas y desarrolladas en las asignaturas que se impartirían en el proyecto.
- *Diseño de cursos básicos en la disciplina*: el desarrollo de esta actividad implicó procesos de diseño y planificación docente para cursos básicos en Geomática, los que serán ofrecidos en forma regular y común a las escuelas participantes. Se planteó el diseño tres cursos básicos comunes, cada uno de los cuales debía seguir la estructura mostrada a continuación:

  – Número de semanas de duración y carga horaria
  – Número de horas teóricas, laboratorio y terreno
  – Programa de contenido según temáticas (teoría y práctica)

– Bibliografía básica y complementaria
– Necesidades de materiales y equipos en el marco de lo adquirido por el proyecto.

Figura 1. Levantamiento de competencias profesionales.

- *Diseño de cursos de especialidad*: de carácter similar a las actividades empleadas para el diseño de los cursos básicos, el diseño de los cursos de especialidad implicó una mayor participación de los docentes de cada una de las escuelas colaboradoras, debido a que estos cursos estaban particularmente orientados a la entrega de competencias claves a los alumnos, es decir, competencias que debían estar perfiladas de acuerdo a las necesidades particulares de las carreras participantes. Por este motivo, cada escuela participante debía determinar la cantidad de estos cursos que serían incorporados a su malla curricular. De igual forma, cada uno de los cursos diseñados debía cumplir con la estructura mostrada abajo:

  – Número de semanas de duración y carga horaria
  – Horas teóricas, laboratorio y terreno especializados
  – Programa de contenido según temáticas (teoría y práctica)

- Bibliografía básica y complementaria
- Necesidades de materiales y equipos específicos en el marco de lo adquirido por el proyecto.

- *Estudio de mallas curriculares para la incorporación de cursos diseñados*: la actividad comprendió el estudio y análisis de cada malla curricular de las carreras participantes. Incluyó la selección de tópicos, conceptos, aplicaciones, ejercicios y salidas prácticas a terrenos que tuvieran relación con la Geomática y que cada escuela considerada adecuados y necesarios para su perfil de competencias. Por ejemplo Agronomía incluyó tópicos de Geomática en vitivinicultura, suelos, riego; por su parte, Ingeniería Forestal incluyó tópicos en asignaturas como Mensura, Silvicultura y Genética Forestal.

Fase talleres optativos y programas de perfeccionamiento

- *Talleres de corta duración*: buscando una forma de beneficiar a la mayor cantidad de alumnos, inclusive aquellos que se encontraban en el último año de carrera, el proyecto decidió incluir entre sus actividades la creación y desarrollo de talleres de corta duración para entrenamiento en programas y equipos especializados (Figura 2). Los temas de los talleres involucraron entrenamientos en Sistemas de Información Geográfica, Sensores Remotos y Geoposicionadores, así como soluciones integradoras. Se esperaba al menos contar con un taller por cada disciplina ofrecidos para todas las escuelas, como parte de un entrenamiento opcional para los alumnos cursantes de los últimos semestres de cada carrera. La finalidad de estos talleres apuntó fundamentalmente a proporcionar un apoyo en la preparación de trabajos finales de titulación de los alumnos.
- *Programa de perfeccionamiento docente de larga duración*: como consecuencia del diagnóstico inicial desarrollado por el Ministerio de Educación y la Universidad de Talca, se determinó que además de existir problemas en las competencias de los alumnos, se presentaba la problemática de no contar con docentes capacitados para transferir estas competencias, especialmente aquellas ligadas al ámbito de la Geomática. Por esta razón, el proyecto llevó a cabo un programa de perfeccionamiento docente de larga duración en el extranjero, el cual fuera conducente a la obtención de diversos grados académicos, entre estos: cuatro maestrías (España, Francia y Holanda), un doctorado (Inglaterra) y dos post-doctorados (Australia y España). De esta forma, se esperaba contar con un contingente de docentes, expertos en Geomática y disciplinas asociadas, que constituyeran la columna vertebral para

los servicios docentes inmediatos requeridos por cada escuela participante, así como para enfrentar los desarrollos futuros a mediano y largo plazo solicitados.

Figura 2. Talleres de corta duración para alumnos de último año.

- *Programa de entrenamiento docente de corta duración*: paralelo a la iniciativa anterior, esta actividad estuvo dirigida a docentes de las escuelas participantes y consistió en la asistencia a talleres, seminarios, congresos y entrenamientos, ofrecidos principalmente por centros, universidades o instituciones especializadas en el extranjero, con los cuales el proyecto acordó un programa de actividades específico a desarrollar por cada docente. El programa de entrenamiento consideró la instrucción de 16 docentes durante el transcurso del proyecto, estableciendo un periodo de dos a tres semanas por cada visita.

Fase obras y programas de adquisiciones

- *Construcción edificio Centro de Geomática*: considerando las múltiples actividades que se desarrollaron anteriormente y teniendo en cuenta que para una correcta ejecución era necesario contar con la infraestructura adecuada, el proyecto

incluyó la construcción de un edificio de dos plantas, con un total de 600 m^2 edificados y distribuidos en oficinas de académicos y cuatro laboratorios separados por disciplinas (Figura 3). El edificio cumple con el rol de centro neurálgico de las operaciones del proyecto, concentrando el equipamiento técnico, los laboratorios donde se dictan los cursos, eventos y actividades además de albergar a su director, los docentes involucrados y las visitas de especialistas del extranjero.

Figura 3. Edificio del Centro de Geomática.

- *Programa de adquisiciones del equipamiento*: la actividad comprendió las gestiones necesarias para llevar a cabo la adquisición de los múltiples equipos y programas necesarios para la transferencia de las competencias definidas en las actividades anteriores a los alumnos de las distintas carreras. De esta forma, se logró equipar completamente los cuatro laboratorios del Centro con programas y equipos de medición especializados que respaldan y sustentan las disciplinas instruidas en el Centro: Sistemas de Información Geográfica, Teledetección Espacial, Fotogrametría Digital y Geomática Aplicada.

Fase programas de visitas, eventos y desarrollo de memorias

- *Programa de visitas de especialistas al proyecto*: esta actividad se diseñó con el objeto de reforzar la capacidad docente en Geomática de las escuelas participantes. Consideró las visitas y asistencias de un grupo de expertos extranjeros en Geomática y Ciencias de la Tierra, los cuales tuvieron una estadía por periodos de 15 días cada uno. Durante este tiempo, los expertos se integraron al cuerpo docente de la escuela respectiva, asistiendo en el desarrollo de múltiples actividades, entre las cuales estaban: apoyo a las clases de pregrado, seminarios y charlas de temas de su dominio, apoyo en la dirección de memorias, generación de proyectos en conjunto con el cuerpo docente de la escuela que lo acogía, entre otras. Las visitas de los expertos fueron muy importantes desde el punto de vista de la divulgación de los conocimientos, ya que con ellas se generaron numerosas actividades que incluían charlas a los estudiantes y a la comunidad en general, asimismo, los expertos extranjeros contribuyeron aportando sus conocimientos al diseño de los cursos que se dictaron en el Centro de Geomática.
- *Desarrollo de eventos y seminarios*: para diversificar aun más la forma en cómo las competencias y conocimientos eran entregados a los alumnos y con el espíritu de incluir a toda la comunidad universitaria, el proyecto consideró la realización de una serie de eventos nacionales apoyados por especialistas extranjeros (Figura 4). Los eventos fueron de libre acceso y ofrecidos a los alumnos, profesores, profesionales, comunidad universitaria y al medio local-nacional, con el fin de exponer y discutir, el tratamiento de temáticas especializadas e intercambio de experiencias. El proyecto postuló que cada escuela participante debía gestionar y organizar la ejecución de al menos un evento relacionado a temas de su interés y actualidad, los cuales pudieran ser abordados desde la perspectiva de la Geomática.
- *Banco de memorias de título*: como una forma de incentivar a los estudiantes a desarrollar esta nueva temática, el centro consideró el financiamiento de memorias de título para los alumnos egresados de las escuelas participantes y que se encontraban interesados en la Geomática. Las memorias fueron seleccionadas según un concurso regulado por el proyecto, en coordinación con las escuelas participantes. De esta forma, se generó un banco de memorias, cuyo objetivo es servir de punto de partida para futuras investigaciones sobre la temática en la Universidad de Talca, proporcionando además aportes de información y ejemplos locales propios para el desarrollo de las asignaturas de pre-grado en la malla curricular de cada carrera, así como fuente de generación de datos para consultas y aplicaciones tecnológicas futuras.

Figura 4. Eventos y seminarios desarrollados.

Generación y empleo de indicadores de resultados

- *Generación de indicadores de resultados*: como una forma de agilizar la evaluación y seguimiento del proyecto, se emplearon indicadores de resultados. Los indicadores así como sus estándares, debieron ser generados en conjunto con el equipo del proyecto y las distintas carreras participantes. En este marco, los indicadores de resultados constituyeron instrumentos de control cuyo control objetivo fue mantener claramente definidas la dirección y coherencia de los resultados del proyecto.
- *Indicadores de resultados empleados*: a continuación se detallan los indicadores de resultados (IR), establecidos para el proyecto:

  – *Número de alumnos entrenados en cursos básicos (IR1)*: este indicador tuvo como función medir la cantidad de alumnos que participaron en asignaturas de cursos básicos durante el desarrollo del proyecto (Figura 5). De un universo estimado de 160 alumnos, el primer año de ejecución del proyecto, este indicador partía con una esperanza de 100 alumnos entrenados en cursos básicos; durante el segundo año, se esperaba contar con 110 alumnos entrenados; finalmente, durante el tercer año, el indicador esperado co-

rrespondió a 115 alumnos entrenados en los cursos básicos para todas las escuelas.

– *Número de alumnos entrenados en cursos de especialidad (IR2)*: fue diseñado para medir la cantidad de alumnos de las diversas escuelas participantes que completaron su entrenamiento en cursos de especialidad. Durante el primer año, el indicador se iniciaba con 75 alumnos entrenados; el segundo año, esta medida aumentaba a 83 alumnos; finalmente, en el tercer año, se esperaba contar con 87 alumnos entrenados en cursos de especialidad.

Figura 5. Alumnos en cursos de Geomática Básica.

– *Número de cursos, capítulos y talleres diseñados (IR3)*: este instrumento tuvo como misión registrar la cantidad de cursos y talleres diseñados para todas las escuelas participantes en el proyecto. En este contexto, durante el primer año de ejecución, se esperó contar con tres elementos de enseñanza diseñados, el número aumenta a siete instrumentos diseñados durante el segundo año de ejecución y finaliza el tercer año del proyecto, con once cursos o talleres de Geomática diseñados.

– *Número de cursos, capítulos y talleres incorporados a la malla curricular (IR4)*: el indicador tuvo como finalidad cuantificar las actividades que una vez diseñadas, fueron efectivamente incorporadas a la malla curricular de las escuelas participantes (Figura 6). Durante el primer año de ejecución, el proyecto propuso incorporar tres elementos diseñados a las mallas curriculares; durante el segundo año este número aumentaría a cinco; y finalmente, durante el tercer año del proyecto, el número de cursos o talleres incluidos en las mallas curriculares sería de 11.
– *Número de docentes en perfeccionamiento de larga duración (IR5)*: con el uso de este indicador se pretendió medir la evolución y cumplimiento del programa de perfeccionamiento docente de larga duración. Durante el primer año de ejecución del proyecto, se esperaba contar con una maestría; durante el segundo año, el perfeccionamiento debería aumentar a dos maestrías y dos post-doctorados; y finalmente en el tercer año, se esperaba completar la planta con dos maestrías y un doctorado.

Figura 6. Talleres y actividades incorporadas a mallas curriculares.

– *Banco de memorias (IR6)*: el indicador tuvo como objetivo controlar el desarrollo de memorias de título apoyadas y financiadas por el proyecto. De esta forma, durante el primer año de ejecución se esperaba contar con cuatro memorias logradas; el número aumentaba a ocho memorias en el

segundo año; y finalmente, durante el tercer año, se esperaba finalizar con 12 memorias de titulación de pregrado, generadas por los alumnos de las distintas carreras participantes.

– *Horas de uso de equipamiento e infraestructura (IR7)*: este instrumento fue incluido para medir el uso efectivo por parte de los alumnos, de los equipamientos e infraestructura del Centro de Geomática. Durante el primer año el indicador perseguía un uso de 18 horas semanales; durante el segundo el uso aumentaría a 24 horas semanales; y durante el tercer año de ejecución, el proyecto esperaba lograr 26 horas semanales de uso del equipamiento e infraestructura.
– *Encuesta a alumnos egresados (IR8)*: se diseñó y aplicó este indicador para conocer el grado de aceptación de los alumnos, respecto de las gestiones docentes realizadas en las asignaturas dictadas. Durante el primer año, el indicador esperaba lograr una aprobación de los usuarios de un 25%; el segundo año se esperaba un 50% de aprobación por parte de los alumnos; finalmente durante el tercer año de ejecución, el proyecto esperaba contar con un 89% de la aceptación respecto de un adecuado entrenamiento recibido.

Resultados

En esta sección se hace una descripción y análisis de los resultados obtenidos en el proyecto. Para lo anterior, se emplearán los indicadores de resultados desarrollados especialmente para tal fin.

Para IR1. Número de alumnos entrenados en cursos básicos

En la Tabla 1 es posible apreciar la evolución de los logros referidos al entrenamiento en Geomática Básica de todas las escuelas participantes.

Tabla 1
Evolución del indicador de resultado (IR1)

Medida del indicador	*Año 1 Meta/Logrado*	*Año 2 Meta/Logrado*	*Año 3 Meta/Logrado*
Número de estudiantes entrenados en Geomática Básica	100/85	110/95	115/146

Durante el primer y segundo año de ejecución es posible observar que no se cumplió con los estándares que se habían establecido en el proyecto, lo cual se debió principalmente al retraso en la construcción del Centro de Geomática

que alberga todos los laboratorios y equipamientos. En vista de lo anterior, durante los primeros dos años, los cursos básicos se debieron dictar transitoriamente en el Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica de la Facultad de Ciencias Forestales. En el tercer año de ejecución, se aprecia un repunte en el logro del indicador, ya que en ese año, el edificio del Centro de Geomática ya se encontraba construido. De esta forma, todos los cursos programados, se pudieron dictar en dicho periodo. Uno de los resultados más importantes y significativos asociados a esta actividad, tiene que ver con el lenguaje común que se creó en los alumnos participantes de estos cursos básicos, lo cual una vez finalizada la instrucción, hizo posible que los alumnos de las distintas carreras participantes, pudieran comunicarse para intercambiar conceptos e ideas comunes sobre la generación, uso, análisis y distribución de información espacial.

Para IR2. Número de alumnos entrenados en cursos de especialidad

En la Tabla 2 es posible apreciar la evolución de los logros para el entrenamiento en cursos de especialidad de todas las escuelas participantes.

Tabla 2
Evolución del indicador de resultado (IR2)

Medida del indicador	*Año 1* *Meta/Logrado*	*Año 2* *Meta/Logrado*	*Año 3* *Meta/Logrado*
Número de estudiantes entrenados en cursos de especialidad	75/38	83/25	87/148

Durante el primer y segundo año de ejecución se aprecia una tendencia similar a la evidenciada en el indicador de resultado anterior, y cuya explicación radica fundamentalmente por la ausencia de infraestructura y equipamientos adecuados para el dictado de cursos de especialidad. No obstante, además de este factor se debe agregar la carencia de profesores especializados durante los primeros dos años de ejecución del proyecto. Durante el tercer año esta situación se ve revertida con una mejoría en el logro de estándares, pues en este periodo regresan dos profesores en perfeccionamiento, con sus grados de magíster, quienes se hacen cargo de los cursos de especialización. Como resultado externo al indicador, se apreció un alto interés de los alumnos que cursaron estas asignaturas de especialidad por incorporar estos nuevos conocimientos en sus temas y proyectos de titulación definitivos, aspecto que resultó sinérgico y altamente beneficioso tanto para alumnos como para los encargados del proyecto.

Para IR3. Número de cursos, capítulos y talleres diseñados

La Tabla 3 muestra el desarrollo temporal de los eventos en lo concerniente al diseño de cursos, capítulos y talleres temáticos. Se aprecia que los estándares establecidos para el indicador, se cumplieron satisfactoriamente durante el transcurso del proyecto. Este logro tiene que ver principalmente con el alto interés demostrado por los académicos y alumnos de las carreras participantes, que deseaban incluir tópicos de Geomática en sus asignaturas y formación profesional. Asimismo, el logro de estos estándares tiene relación con el programa de visitas de expertos que el proyecto desarrolló, ya que los especialistas que estuvieron de visita, participaron activamente en el diseño de instrumentos docentes, compartiendo sus experiencias y plasmando sus conocimientos y experticia en los programas de los cursos, prácticas y talleres que se generaron.

Tabla 3
Evolución del indicador de resultado (IR3)

Medida del indicador	*Año 1 Meta/Logrado*	*Año 2 Meta/Logrado*	*Año 3 Meta/Logrado*
Número de cursos, capítulos y talleres diseñados	3/3	7/8	11/11

Para IR4. Número de cursos, talleres y capítulos incorporados a la malla curricular

Los resultados obtenidos en el cumplimiento de las metas para el indicador de resultado IR4 pueden observarse en la Tabla 4. De ella se desprende que hubo un cumplimiento total de las metas establecidas para esta actividad. Sin embargo, a diferencia del indicador anterior, estos resultados dependían no sólo del diseño de los cursos o talleres, sino que también de una efectiva inclusión de estos instrumentos en las mallas curriculares impartidas a los alumnos. Por este motivo, conseguir estos registros fue un poco más complicado que el indicador anterior, ya que al principio, se tuvo que incentivar a los docentes de las escuelas participantes a considerar la importancia de incluir tópicos relacionados con la Geomática en sus enseñanzas. Para lograr esto, un papel fundamental fue llevado a cabo por los expertos que efectuaron visitas al proyecto, junto con el programa de entrenamiento docente de corta duración que se desarrolló durante el proyecto. En este sentido, múltiples académicos de las distintas escuelas participantes visitaron centros de especialidad en el exterior y pudieron experimentar cómo esta nueva temática era ampliamente difundida y enseñada con carácter transversal en las carreras relacionadas con las Ciencias de la Tierra.

Tabla 4
Evolución del indicador de resultado (IR4)

Medida del indicador	*Año 1 Meta/Logrado*	*Año 2 Meta/Logrado*	*Año 3 Meta/Logrado*
Número de cursos, capítulos y talleres, incorporados a la malla curricular	3/3	5/8	11/11

Para IR5. Número de docentes en perfeccionamiento de larga duración

En la Tabla 5 pueden apreciarse los resultados obtenidos para el programa docente de larga duración. Es importante destacar que si bien el primer año de ejecución no se logró un resultado satisfactorio del indicador, esto se debió a problemas de tipo administrativo que se presentaron en la Universidad para enviar a un docente a perfeccionamiento; así como también, a la disponibilidad de parte de los docentes de asistir a un programa de larga duración en el exterior, con todos los cambios en la vida personal y profesional que lo anterior significa. Sin embargo, a medida que avanzaron los años de ejecución, la maquinaria administrativa y los docentes fueron tomando conciencia de la extensión de los procesos de selección y aceptación en programas de perfeccionamientos internacionales, con lo cual se adoptaron las medidas necesarias para agilizarlos, y de esta forma, llegar al fin del proyecto con los estándares deseados cumplidos.

Tabla 5
Evolución del indicador de resultado (IR5)

Medida del indicador	*Grado Académico*	*Año 1 Meta/Logrado*	*Año 2 Meta/Logrado*	*Año 3 Meta/Logrado*
Número de docentes en perfeccionamiento de larga duración	Doctorado	0/0	0/0	1/1
	Maestría	1/0	2/2	4/4
	Post-Doctorado	0/0	2/2	2/2

Para IR6. Banco de memorias

Puede ser tomado como un resultado de las actividades anteriores (diseño y dictado de cursos, visitas de expertos, programas de perfeccionamiento de corta y larga duración), registrado y medido a través del seguimiento y desarrollo de memorias de titulación de pregrado efectuadas durante la ejecución del proyecto. En la Tabla 6, es posible apreciar la evolución del indicador de resultados, en donde los primeros años de ejecución los valores logrados se muestran por debajo de las metas propuestas, debido fundamentalmente a la

falta de infraestructura, programas y equipamientos adecuados para los estudiantes, así como la ausencia de profesores especializados en la temática. No obstante, a partir del segundo año se evidencia un repunte en los resultados obtenidos, para finalmente llegar al tercer año con un cumplimiento total de los estándares. El éxito alcanzado en el desarrollo de las memorias de titulación se explica por el interés de los estudiantes en incorporar nuevas competencias a sus habilidades profesionales, sumado a un programa que financiaba la totalidad de los gastos incurridos en la ejecución del proyecto de titulación, situación que logró una alta convocatoria entre los estudiantes de las carreras participantes.

Tabla 6
Evolución del indicador de resultado (IR6)

Medida del indicador	*Año 1 Meta/Logrado*	*Año 2 Meta/Logrado*	*Año 3 Meta/Logrado*
Número de memorias de desarrolladas	4/2	8/6	12/12

Para IR7. Horas de uso de equipamiento e infraestructura

La Tabla 7 muestra la evolución para el cumplimiento del indicador de resultados. Como se puede apreciar, durante los dos primeros años de funcionamiento del proyecto, no se alcanzaron las metas propuestas. La explicación de lo anterior radica fundamentalmente en la ausencia del edificio del Centro de Geomática, por lo que el uso de equipamientos e infraestructura se vio supeditado al hecho de compartir el Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica de la carrera de Ingeniería Forestal con el resto de las carreras participantes en el proyecto. Sin embargo, la Tabla 7 muestra un repunte y alcance satisfactorio de las metas propuestas para el tercer año, lo cual tiene directa relación con la disponibilidad y uso pleno en este tiempo de las nuevas instalaciones.

Tabla 7
Evolución del indicador de resultado (IR7)

Medida del indicador	*Año 1 Meta/Logrado*	*Año 2 Meta/Logrado*	*Año 3 Meta/Logrado*
Número de horas por semana de uso equipamiento e infraestructura	18/10	24/12	26/60

Para IR8. Encuesta a alumnos egresados

Fue uno de los indicadores más importantes al interior del proyecto, pues de él se derivaban directamente las opiniones acerca de la calidad docente y sobre la entrega de las competencias a los estudiantes involucrados. En la Tabla 8 se aprecia el logro de metas para el indicador a través de los años de ejecución del proyecto. Se puede apreciar a modo general que los estándares para el indicador fueron cumplidos a cabalidad, a excepción del segundo año en donde se incorporaron una gran cantidad de alumnos y no se contaba con la capacidad instalada para darles un servicio satisfactorio a todos. Sin embargo, una vez que se contó con todo el equipamiento y la infraestructura, el indicador de resultado mostró un elevado cumplimiento. Lo anterior se ve reafirmado por algunas opiniones rescatadas de las encuestas realizadas a los alumnos, las cuales se ilustran a continuación:

- Mejorar equipamiento de laboratorio y más espacio disponible
- Aumentar la cantidad de horas trabajo en laboratorio y terrenos
- Entrega de material adicional para los cursos
- Diseño de más cursos optativos
- Flexibilidad en los horarios de clases
- Cursos más orientados a problemáticas de carreras específicas

Tabla 8
Evolución del indicador de resultado (IR8)

Medida del indicador	*Año 1 Meta/Logrado*	*Año 2 Meta/Logrado*	*Año 3 Meta/Logrado*
Porcentaje de aceptación de los alumnos	25/89	50/60	80/96

Conclusiones

La ejecución del proyecto MECESUP TAL 0303 ha resultado muy beneficiosa para las carreras participantes, ya que ha permitido reforzar las competencias tanto básicas como de especialidad de los estudiantes en un temática de actualidad, que es ampliamente usada en los países desarrollados por las carreras ligadas a las Ciencias de la Tierra.

La posibilidad de dictar cursos básicos de Geomática ha permitido que alumnos de diferentes carreras, adquieran un código de comunicación común en lo relativo al manejo y gestión de la información. Lo anterior ha posibilitado el intercambio de ideas, conceptos y conocimientos, así como también la formación de equipos de trabajos multidisciplinarios que han aportado sus habilidades particulares a la resolución de problemas complejos de carácter espacial.

El equipo del proyecto ha adquirido a través de los años de ejecución del mismo, conocimientos y experiencias a considerar a futuro, sobre algunos aspectos importantes que agilizan el desarrollo de actividades críticas al interior del proyecto, a saber: requerir con anticipación (mínimo un año) antecedentes de postulación a programas de perfeccionamiento para los docentes seleccionados, reducir el tiempo de visita de los expertos al proyecto inicialmente considerado de 15 días, pues la mayoría de los expertos extranjeros tienen problemas para ausentarse ese periodo de sus obligaciones; al respecto, el equipo propone como máximo un periodo de visitas de siete días para apoyo a futuros proyectos.

Los indicadores de resultados se transformaron en instrumentos altamente beneficiosos para el desarrollo del proyecto, ya que permitieron mantener en todo momento, la dirección, coherencia y control en la ejecución de actividades. Por lo mismo, se debe poner especial atención en la formulación de los indicadores, así como también en los valores meta y compromiso que se establezcan.

La respuesta por parte de los alumnos beneficiados por el proyecto fue muy alentadora, pues además de cursar y evaluar en forma satisfactoria los instrumentos docentes diseñados, en las encuestas siempre resaltaron la gestión docente y la calidad de las competencias entregadas. Finalmente, las observaciones más reiteradas en las encuestas aplicadas fueron: aumentar el número de cursos dictados, aumentar las horas de trabajo en laboratorio y terreno, profundización en los conocimientos y aumentar el número de cursos optativos para alumnos que cursaban el último año. De lo anterior se puede inferir el alto grado de interés que manifestaron los alumnos que participaron en los cursos que dictaron, hecho que alienta a seguir aumentando y mejorando la calidad de los instrumentos docentes.

El Centro de Geomática de la Universidad de Talca, que nació al alero del proyecto MECESUP, se ha convertido en un referente a nivel nacional, para las problemáticas relativas a la captura, manejo, análisis y uso de la información espacial, así como también en el desarrollo de aplicaciones de las nuevas tecnologías para la gestión de los recursos naturales. Por otra parte, su desarrollo ha sido un ejemplo exitoso del mejoramiento de la calidad y equidad de la educación superior, a través de la incorporación de nuevas tecnologías y competencias, bajo un enfoque transversal e integrador que ha permitido a los alumnos de las carreras participantes, adquirir las competencias necesarias para enfrentar de forma exitosa su futura vida profesional.

Bibliografía

MECESUP (2007), www.mecesup.cl/mecesup1/index.html, sitio web del programa MECESUP 1 del Ministerio de Educación de Chile.

Kavanagh, B. (2002), *Geomatics*, New York, Prentice Hill, 608 pp.

Mena, C. (2004), "Application and teaching in environmental management utilizing Geomatic", *GIS Educator*, 4 pp.

——— (2005), *Geomática para la ordenación del territorio*, Talca, Editorial Universidad de Talca, 314 pp.

UTALCA (2007), www.utalca.cl/mecesup/htm/proymecesup.htm, sitio Web del programa MECESUP en la Universidad de Talca.

On the Computation of Rigorous Orthometric Height

David Avalos-Naranjo*
Antonio Hernández-Navarro**

Resumen

Las alturas ortométricas en nuestros días pueden calcularse de manera rigurosa evitando el empleo de la aproximación tradicional que propuso Helmert hacia fines del siglo XIX. En éste artículo se cita una definición rigurosa de altura ortométrica que fue presentada en 2005. Considerando la necesidad de contar con este tipo de información en la región se muestra en este artículo la formulación para calcular de manera rigurosa la altura ortométrica, así como un ejemplo práctico de los resultados que se obtienen, empleando información de un banco de nivel de primer orden ubicado en México. Los productos de valor agregado del modelo geoidal mexicano GGM05 cobran particular importancia en éste ejercicio: el efecto atmosférico directo sobre gravedad, el efecto de la anomalía de densidad del terreno y las anomalías gravimétricas de Helmert sobre el terreno y sobre el cogeoide son utilizadas para desarrollar la aproximación a una altura ortométrica rigurosa.

Palabras clave: *Altura ortométrica rigurosa, Geoide, Sistemas de alturas, Gravedad promedio, Línea de plomada*.

Abstract

Now a days orthometric heights can be computed in rigorous way avoiding the use of the traditional approach proposed by Helmert, late XIX century. In this paper, the definition of rigorous orthometric height of 2005 is quoted. Considering the necessity to count with this type of information in the region, its formulation on the computation of rigorous orthometric height is shown in this article, as well as a practical

* Department of Geodetic and Geomatics Engineering, University of New Brunswick, Fredericton, N.B., E3B 5A3, P.O. Box 4400, Canada, e-mail: david.avalos@unb.ca

** Director General Adjunto de Geomática, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Av. Héroe de Nacozari núm. 2301 sur, Fracc. Jardines del Parque, 20270, Aguascalientes, Ags., México, e-mail: antonio.hernandez@inegi.gob.mx

example of the results that are obtained, using information of a first order level bench mark located in Mexico. Particularly for this exercise, the by-products of the Mexican GGM05 geoid computations gain relevance: direct atmospheric effect on gravity, the effect of lateral density variations and the Helmert gravity anomalies on the terrain and on the cogeoid are used to develop an approximation to the rigorous orthometric height.

Keywords: *Rogorous orthometric huights, Geoide, Height systems, Mean gravity, plumbline*.

Introduction

The more and more complete knowledge of the form and Earth internal structure allows that more details are gotten up to the calculation of geodesic parameters as is the case of the orthometric heights. Data bases with land forms information, topographical density, gravimetric quantities, geoid form and shape, contribute useful to compute the physical parameters on which the orthometric height depends. Several authors have presented different definitions of orthometric heights, depending on how the mean gravity along the plumb line is obtained. Helmert [1890] is the name most often associated with orthometric heights. Other authors are Niethammer [1932], Mader [1954] and, more recently, Allister and Featherstone [2001], Hwang and Hsiao [2003], and Tenzer *et al*. [2003a]. These different kinds of orthometric heights serve as an illustration on how difficult a rigorous evaluation of orthometric height has been thought to be. In Helmert's [1890] definition of the orthometric height, the mean gravity is evaluated so that the observed gravity at the earth surface is reduced to the (approximate) mid-point of the plumb line by using Poincaré-Prey's gravity gradient. This definition has been considered as "sufficiently exact" to endorse geodetic references of first order (for a definition of first order see *Estándares de Exactitud Posicional*, INEGI 2004). A group of famous geodesists of several parts of the world, leadership by the Department of Geodetic and Geomatics Engineering (GGE) of the University of New Brunswick has gotten to describe the rigorous definition of orthometric heights. When reviewing the way in that the value of average gravity throughout a line of plummet calculates, has it correct way and completes to calculate this value implies the inclusion gravimetric terms of second order, ignored in the Helmert's approach [Santos *et al*. 2005].

One important aspect is that orthometric heights are holonomic and for this are suitable to perform adjustment of a whole network. Here lays the importance to compute orthometric height with the best possible accuracy.

Whenever centimeter accuracy for a vertical network is required, the orthometric height must be computed in a rigorous way. Recent results from the GGE have shown that the traditional approach to orthometric height using Helmert's method is not enough obtain such accuracy level [Kingdon *et al*. 2005]. Now a day it is possi-

ble to compute a rigorous approximation suitable for geodetic reference networks and this was a good reason for National Institute of Statistics, Geography and Informatics (in spanish INEGI) to learn about it.

The rigorous orthometric heights can be computed on the Mexican territory taking advantage of the experience and data gained at INEGI from the precise geoid computations. In this document, a practical methodology to perform the computation is proposed. But in order to determine the accuracy of such methodology, further investigation on the error propagation must be worked out.

Helmert's Approach to Orthometric Height

The orthometric height is defined as the geometrical distance along the plumb line between the geoid surface and the Earth's surface. If we were able to measure that distance directly with a ruler, the main problem would be how to adjust the ruler to the actual shape of the plumb line. This line is not just curved but also twisted, meaning that cannot be drawn on a plane [Vaníček 2006]. As a concept the orthometric height (H^O) has an exact expression (see equation 1) related to physical quantities: the geopotential number *C*, and the mean value of the gravitational accelerations taken along the plumb line $\overline{g}$.

$$H^O(\Omega) = \frac{C\left[r_t(\Omega)\right]}{\overline{g}(\Omega)}, \tag{1}$$

where:

Ω is geodetic horizontal position (φ, λ) of the point of interest, and

r_t is the radial distance from the geocentre to the corresponding point on the topography.

Despite the orthometric height being determined from physical quantities, it remains a geometrical concept, i.e. with no physical meaning [Vaniček 2006].

Practical computations take advantage of accurate measurements for geopotential numbers provided by differential gravimeters, and traditionally the mean gravity has been approximated using a simplified linear model. Proposed by Helmert (1890) the method to obtain $\overline{g}$ uses the reduction of Poincaré-Pray, down to half the way of the orthometric height. The result is called Helmert's approximation to mean gravity, described in equation 2 [Hofmann-Moritz 2005].

$$\overline{g}^H(\Omega) = g[r_t(\Omega)] - \left(\frac{\partial\gamma}{\partial h} + 4\pi G\rho_0\right)\frac{H^O(\Omega)}{2}. \tag{2}$$

In this equation the observed gravity on the surface is the only parameter used to predict gravity acceleration in depth; the Poincaré-Pray reduction in parenthesis is composed of the vertical gradient of the synthetic field ($\frac{\partial \gamma}{\partial h}$) plus the effect of topographical masses regarding a constant mean density ρ_0 . Both elements are expressed in linear form, i.e. simplified to the first order. Their values are widely known as established in (3) and (4) to obtain equation (5) [Hofmann-Moritz 2005].

$$\frac{\partial \gamma}{\partial h} = -0.3086 \tfrac{mGal}{m} \tag{3}$$

$$2\pi G \rho_0 = +0.1119 \tfrac{mGal}{m} \tag{4}$$

$$\overline{g}^H(\Omega) = g(r_t, \Omega) + 0.0424 \tfrac{mGal}{m} H^O(\Omega) \tag{5}$$

From these definitions the mean gravity is needed to compute orthometric height and vice versa. Nevertheless, since H^O is used to multiply a small factor in (5), then any error in the initial estimation of H^O has minimal effect on the computation of $\overline{g}^H$. But now a day computations can be better than this, taking advantage of the recent developments to perform a much more accurate estimation of the orthometric heights.

Rigorous Orthometric Height

A rigorous approach to the orthometric height would account for second order terms of the mean gravity [Santos *et al*. 2005]. This second order terms are smaller than the first order terms in magnitude, but its value still can reach the decimetre level at mountainous areas [Kingdon *et al*. 2005]. The rigorous orthometric height can be computed in two fashions:

a) One way is to compute every element of the definition for mean gravity given recently by UNB, shown in equation 6 [Tenzer *et al*. 2005].

$$\overline{g}(\Omega) = \overline{\gamma}(\Omega) + \overline{\delta g}^{NT}(\Omega) + \overline{g}^t(\Omega) + \overline{g}^a(\Omega) \tag{6}$$

where:

$\overline{\gamma}$ is the mean reference gravity along the plumb line,

$\overline{\delta g}^{NT}$ is the mean gravity disturbance produced by masses inside the geoid (i.e., in the No-Topography space),

$\overline{g}^{t}$ is the mean gravity generated by topography (no geoid and no atmosphere), and

$\overline{g}^{a}$ is the mean gravity generated by the atmosphere.

For practical purposes $\overline{g}^{t}$ is decomposed as well into different contributions to mean gravity as the spherical Bouguer shell ($\overline{g}^{BS}$), the spherical Terrain Roughness ($\overline{g}^{TR}$) and the anomalous density ($\overline{g}^{\delta\rho}$). Equation 7 shows the relationship:

$$\overline{g}^{t}(\Omega) = \overline{g}^{BS}(\Omega) + \overline{g}^{TR}(\Omega) + \overline{g}^{\delta\rho}(\Omega) \tag{7}$$

Another way is to compute the orthometric correction to the Helmert's approximation (ε_{H^O}) to transform the approximate value to the rigorous height. This correction is defined by Tenzer *et al*. (2005) as follows:

$$\varepsilon_{H^O} = \frac{-H^O(\Omega)}{\overline{g}(\Omega)} \varepsilon_{\overline{g}}(\Omega), \tag{8}$$

where:

$\varepsilon_{\overline{g}}(\Omega)$ is the correction to Helmert's mean gravity.

In a general sense, this correction is composed of 5 elements standing for every separate contribution to the actual gravity field [Santos *et al*. 2005]:

$$\begin{aligned}\varepsilon_{\overline{g}}(\Omega) = &\left[\overline{\gamma}(\Omega) - \gamma(r_t,\Omega) + \frac{1}{2}\frac{\partial\gamma}{\partial h} H^O(\Omega)\right] \\ &+ \left[\overline{g}^{BS} - g^{BS} + 2\pi G\rho_0 H^O(\Omega)\right] \\ &+ \left[\overline{\delta g}^{NT}(\Omega) - \delta g^{NT}(r_t,\Omega)\right]\end{aligned}$$

$$+\left[\bar{g}^{TR}(\Omega)-g^{TR}(r_t,\Omega)\right]$$
$$+\left[\bar{g}^{\delta\rho}(\Omega)-g^{\delta\rho}(r_t,\Omega)\right] \tag{9}$$

Where the square brackets in the right hand side of equation 9 correspond to the so called "second order correction for normal gravity", "second order correction for the Bouguer Shell", "correction for geoid-generated gravity disturbance", "correction for terrain/roughness-generated gravity" and "correction for lateral variation of topographical mass density" respectively.

Practical Example in the Mexican Scenario

Helmert's approximation to orthometric heights is used in the Mexican height system. The improvement to the rigorous approach could be implemented through any of the techniques described in section 2, depending on the available data.

The approximate orthometric height, as now used in Mexico, at location φ =17.583054 degrees north, λ =261.039434 degrees east is equal to 1658.194 meters. How different is this approximate height from the rigorous orthometric height?

To obtain its rigorous orthometric height, the results from the geoid computations are needed. Fortunately those are available for any part on the Mexican territory, opening the chance to perform the practical computation.

Solution

The approximate orthometric heights in Mexico were computed by Helmert's method as part of the NAVD88 general adjustment network [Zilkoski 1992], which makes use of the Poincare-Pray gravity gradient. Orthometric heights defined by equation 1, are conceptually easy to understand, but in practice are difficult to determine.

Only two quantities are needed to establish the value of H: geopotential numbers and mean gravity along the plumb line to the geoid. The first of these quantities is now days a solved problem since the gravimeters are capable to offer high accuracy in gravity differences. But the estimation of mean gravity along a plumb line remains not observable. However the decomposition shown in equation 6 can be computed by approximations of every element choosing the best strategy from the available data.

Available Data

Some of the terms presents in equation 6 are not easy to obtain since they require the execution of programs specifically made for that computation. In the case of this

example, the INEGI results from the gravimetrical geoid computation (GGM05) are used to approximate every term of equation 6. The package from UNB for compilation of the precise geoid "SHGEO" includes programs to compute gravity anomalies and effects present in the standard Stokes-Helmert squeme [Janak 2001]. The version of the package used in INEGI doesn't compute values for the No-Topography space. Hence, the effort to obtain rigorous orthometric heights in this work is dealing with this kind of limitations to get the best possible approximation. Tables 1 and 2 list all the data related to the point quoted in the problem to solve.

Table 1
Data collected from the NAVD88 network

Benchmark code	BN10709
Latitude	17.583054 °
Longitude	261.039434 °
Orthometric Height	1658.194 m
Gravity (modeled)	978.192 Gal
Geopotential number	1622.149 kGal m

In Table 1 the gravity values are supposed to be observed. However the original NAVD88 data base received from the National Geodetic Survey says "modeled", because where a benchmark exist and gravity value is not available its magnitude was interpolated from a grid. For Table 2 the mean values correspond to the average of values computed for points equally spaced within a cell of 2.5' x 2.5'. The edges of such cell were taken from a regular grid coincident with integer meridians and parallels.

Table 2
Data computed with SHGEO package for BN10709

Point values	Free Air Gravity Anomaly	199.922 mGal
	Simple Bouguer Gravity Anomaly	14.304 mGal
	Terrain Roughness Correction (spherical)	4.590 mGal
	Complete Bouguer Gravity Anomaly	18.895 mGal
Mean values	Direct Atmospheric Effect	0.719 mGal
	Anomalous Density Effect on Gravity	0.015 mGal
	Helmert Gravity Anomaly on Topography	77.350 mGal
	Helmert Gravity Anomaly on Cogeoid	71.864 mGal

Computation of the Rigorous Orthometric Height

The orthometric height requires two basic quantities to be computed. One of the basic quantities needed to compute the orthometric height, the geopotential number, is taken directly from the results of the general adjustment NAVD88. The other must be estimated component by component for the point BN10709 as follows.

- First, $\overline{g}^a$ can be approximated by the direct atmospheric effect on the topography.

$$\overline{g}^a(\Omega) \approx g^a[r_t(\Omega)] = -DAE[r_t(\Omega)] \tag{10}$$

$$\Rightarrow \overline{g}^a(BN10709) \approx -0.72mGal \tag{11}$$

Saying that mean attraction of atmospheric masses on points along the plumb line most is almost equals the attraction at the point on the topography.

- Second, the mean effect of topographic mass is defined as combined effect on gravity from Bouguer Shell ($\overline{g}^{BS}$), Terrain Roughness ($\overline{g}^{TR}$) and Density anomaly ($\overline{g}^{\delta\rho}$). Using values on the topography for the mentioned Benchmark:

$$g^{BS}(BN10709) = -0.1119\tfrac{1}{s^2}(1658.194m) = -185.55mGal\,, \tag{12}$$

$$g^{TR}(BN10709) = 4.59mGal\,, \tag{13}$$

$$g^{\delta\rho}(BN10709) = 0.02mGal, \tag{14}$$

and then

$$g_t^t(\mathrm{BN10709}) = \text{-}180.95mGal. \tag{15}$$

The bulk of the terrain contribution is due to the Bouguer Shell. Since the gravity effect inside of any spherical shell is zero, henceforth the gravity of topographical masses on the geoid (g_g^t) must be close to zero. In which case the $\overline{g}^t$ can be approximated by one half of g_t^t. Then

$$\overline{g}^{t}(\mathrm{BN10709}) = -90.47 mGal\ . \tag{16}$$

- Third, the mean normal gravity along the plumb line. Defining $\overline{\gamma}$ by analogy with $\overline{g}$ [Hoffmann 2005, equation 4-26], the mean gravity along the normal plumb line would read:

$$\overline{\gamma}(\varphi, h) = \frac{1}{H}\int_{N}^{N+H} \gamma(\varphi, h) dh\,. \tag{17}$$

Following the International Gravity Formula [IAG, 1980] and the vertical gradient proposed by Bowie-Avers (1914), the synthetic gravity field out of the reference ellipsoid (truncated for 2/100 mGal accuracy) can be expressed by:

$$\gamma(\varphi, h) = 978032.7(1 + 0.00528\sin^2\varphi) - 0.3086h - 0.0002h\cos(2\varphi) \tag{18}$$

By solving (17) and substituting expression (18), next is obtained:

$$\overline{\gamma}(\varphi, h) = \left|\frac{1}{H} 978032.7(1 + 0.00528\sin^2\varphi)h\right|_{h=N}^{h=N+H} - \left|\frac{1}{H}\left(0.3086 + 0.0002\cos(2\varphi)\right)\frac{h^2}{2}\right|_{h=N}^{h=N+H}, \tag{19}$$

$$\overline{\gamma}(\varphi, h) = 978032.7(1 + 0.00528\sin^2\varphi) - \left(0.3086 + 0.0002\cos(2\varphi)\right)\left(N + H/2\right) \tag{20}$$

According to INEGI's geoid model GGM05, the geoidal height for BN10709 is -5.02 meters. So, the estimated mean gravity for synthetic field gives

$$\overline{\gamma}(BN10709) = 978249.51 mGal \tag{21}$$

- Fourth, the mean gravity disturbance induced by the masses inside geoid is not present in the results from SHGEO. At least not for the version implemented by INEGI. A practical way to calculate $\overline{\delta g}^{NT}$ from the geoid-generated gravity disturbance on the topography (δg_t^{NT}) is described in [Tenzer *et al.* 2005]. It

involves the downward continuation process to compute δg_g^{NT} and then continue upward using the mean Poisson kernel. This also implies to have values of δg_g^{NT} all around the globe, for instance a global model. But in this exercise, a simpler (and less accurate) approach is performed using results from the Helmert space.

Helmert gravity anomaly is a quantity that follows closely the values of the geoid-generated gravity disturbance. The difference of few mGals is due to:

a) the potential difference between ellipsoid-geoid, and
b) to the correction of the condensed terrain layer.

So taking $\delta g_t^{NT} \cong \Delta g_t^h$, $\delta g_g^{NT} \cong \Delta g_g^h$ and finally $\overline{\delta g}^{NT} \cong \left(\delta g_t^{NT} + \delta g_g^{NT}\right) \frac{1}{2}$, then specific values are associated as follows:

$$\delta g_t^{NT}(BN10709) = 85.90 mGal\,, \tag{22}$$

$$\delta g_g^{NT}(BN10709) = 92.87 mGal\,, \tag{23}$$

$$\overline{\delta g}^{NT}(BN10709) = 89.38 mGal\,. \tag{24}$$

Now, after computing approximate values for every component of equation 6, the mean gravity along the plumb line can be computed:

$$\bar{g}(BN10709) = 978249.51 mGal + 89.38 mGal + (-90.47 mGal) + (-0.72 mGal) \tag{25}$$

$$\bar{g}(BN10709) = 978247.70 mGal\,. \tag{26}$$

Last step:

$$H = \frac{C(BN10709)}{\bar{g}(BN10709)} = \frac{1622149 Galm}{978.24770 Gal} = 1658.219 m \tag{27}$$

This value is close to the original approximation. In this exercise our result estimating the difference between height values is 2.5 cm.

Conclusions

Recent methodology to compute mean gravity along the plumb line allows building improved vertical references. Most of the input required to compute rigorous orthometric height in all the Mexican territory is already available at INEGI. This exercise can be repeated for every benchmark of the official reference network. The difference between Helmert's orthometric height and the rigorous orthometric height can be large enough to overpass the expectancies of accuracy of the NAVD88 network.

In order to determine the accuracy of the result, it would be necessary to complement this work with values of standard deviation for every quantity estimated. Gravity values and leveling from field work can be associated with standard deviations by INEGI itself, but here can be noticed the lack of deviations from the NAVD88 network (geopotential numbers and estimated heights don't show specific standard deviations for BN10709). It would be advisable to acquire those in order to know about error propagation of the improved heights.

References

Allister N.A., William Featherstone (2001), "Estimation of Helmert orthometric heights using digital barcode leveling, observed gravity and topographic mass-density data over part of Darling Scarp", Western Australia, *Geomatics Research Australasia* 75, pp. 25-52.

INEGI, Dirección General de Geografía (2004), *Estándares de Exactitud Posicional, Normatividad*, http://www2.inegi.gob.mx/sneig/default.aspx?c=2442

———, Dirección General de Geografía (2007), Modelo Geoidal GGM05, *Metodologías y Sistemas de Consulta*, http://www.inegi.gob.mx

Helmert F.R. (1890), Die Schwerkraft im Hochgebirge, insbesondere in den Tyroler Alpen, Veröff. Königl, Preuss, Geod, Inst., vol. 1.

Hofmann-Wellenhof, Helmut Moritz (2005), *Physical Geodesy*, Springer-Verlag Wien, New York.

Hwang C., Y.S. Hsiao (2003), "Orthometric height corrections from leveling, gravity, density and elevation data: a case study in Taiwan", *Journal of Geodesy*, vol. 77 (5-6), Springer, pp. 292-302.

Janak Juraj (2001), *Stokes-Helmert's GEOid software Reference Manual*, University of New Brunswick, Canada.

Kingdon Robert, Petr Vaníček, Marcelo Santos, Artu Ellmann, Robert Tenzer (2005), Toward an Improved Orthometric Height System for Canada, *Geomatica*, vol. 59, no. 3.

Mader K. (1954), "Die orthometrische Schwerekorrektion des Präzisions-Nivellements in den Hohen Tauern", Österreichische Zeitschrift für Vermessungswesen, *Sonderheft* 15.

Niethammer T. (1932), Nivellement und Schwere als Mittel zur Berechnung wahrer Meereshöhen, Schweizerische Geodätische Kommission.

U.S. Coast and Geodetic Survey (CGS), (1994), Delivering Letter on the North American Vertical Datum (NAVD88) Adjusted Heights, U.S.A.

Santos Marcelo, Petr Vaníček, William Featherstone, Robert Kingdon, Artu Ellmann, Marin B., Michael Kuhn, Robert Tenzer (2005), The relation Between Rigorous and Helmert's Definitions of Orthometric Heights, *Journal of Geodesy* 80:691-704, on line DOI 10.1007/s00190-006-0086-0, Springer-Verlag.

Tenzer R., Petr Vaníček, Marcelo Santos (2003), Corrections to Helmert's orthometric heights. Conference proceeding, IUGG 2003 General Assembly, June 30-July 11, Sapporo, Japan.

Tenzer R., Petr Vaníček, Marcelo Santos, William Featherstone, Michael Kuhn, (2003), Discussion of the orthometric height, *Journal of Geodesy*, Springer (submitted).

Tenzer Robert, Petr Vaníček, Marcelo Santos, William Featherstone, Michael Kuhn (2005), The Rigorous Determination of Ortometric Heights, *Journal of Geodesy*, 79(1-3), on line DOI 10.007/s00190-005-00445-2, Springer-Verlag.

Vaníček Petr (2006), *Lectures Notes, Heights Course*, INEGI, Aguascalientes, Mexico 2006.

Zilkoski David, John Richards, Gary Young (1992), *Special Report: Results of the General Adjustment of the North American Vertical Datum of 1988*, American Congress on Surveying and Mapping, Surveying and Land Information Systems, vol. 52, no. 3.

La Componente Posicional de los datos geográficos: análisis crítico de los métodos de evaluación y reporte en Hispanoamérica

Francisco Javier Ariza López*
Alan D. James Atkinson Gordo**
Marcelo Antonio Nero***
Jorge Pimentel Cintra****

Abstract

This work deals with the positional accuracy assessment methods of geographic information. Many positional accuracy assessment methodologies applied in Hispanoamerica are analyzed from the point of view of their more important aspects such: applied statistic, size of the sample, spatial distribution and typology of control elements, and so on. We indicate the more important differences and deficiencies in these methodologies. The situation in Hispanoamerica is summarized and also the ISO 19100 family of standards is presented in relation to the positional accuracy assessment and reporting. The analysis developed here can serve as a starting point for the development of improved methodologies.

Keywords: *Positional occuracy, standards, quality control, spatial data quality*.

Resumen

Este trabajo, que se centra en la evaluación de la componente posicional de los datos geográficos, realiza un análisis de diversas metodologías aplicadas en Hispanoamérica para el control de esa variable, centrándose en sus aspectos más determinantes: estadística aplicada, tamaño de la muestra, distribución y tipología de los

* Catedrático, Escuela Politécnica Superior, Universidad de Jaén, Campus Las Lagunillas, E-23071 Jaén, España, correo electrónico: fjariza@ujaen.es

** Profesor-Doctor, Escuela Politécnica, Universidad de Extremadura, Avenida de La Universidad s/n, E-10071 Cáceres, España, correo electrónico: atkinson@unex.es

*** Investigador-Doctor, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, correo electrónico: marcelo.nero@gmail.com

**** Livre-docente, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, Brasil, correo electrónico: jpcintra@usp.br

elementos de control y otros. Se destacan y señalan las principales diferencias y deficiencias que se encuentran en las formulaciones. Además, se resume la situación actual en diversos países de Hispanoamérica y se presentan las normas de la serie ISO 19100, en lo relativo a la componente posicional. Este trabajo sirve de base inicial para el perfeccionamiento de las metodologías presentadas.

Palabras clave: *Exactitud posicional, estándares, control caldad, calidad de la información geográfica*.

Introducción

Desde siempre, la componente posicional ha sido considerada como un aspecto definitorio y primordial de la calidad de todo producto cartográfico. Así, la posición afecta a la geometría, topología y aspectos temáticos que se reflejan en dicho modelo de la realidad. Pero la posición también tiene una gran importancia en la integración o interoperabilidad entre fuentes cartográficas, aspecto crucial en el nuevo paradigma marcado por las Infraestructuras de Datos Espaciales. Comportamientos posicionales significativamente distintos entre dos Bases de Datos Geográficos (BDG) conllevan la existencia de una distorsión posicional entre las mismas y una barrera a la interoperabilidad (Church y col. 1998). Ejemplo de esto último se puede apreciar en la Figura 1 donde se observa claramente el problema posicional existente en las vías de comunicación. Como cabe pensar, esta barrera no afecta sólo a los aspectos posicionales, geométricos y topológicos, sino también a los aspectos temáticos y temporales (McGwire 1996, Carmel y col., 2001, 2006).

Figura 1. Ejemplo de desplazamiento detectado en las líneas vectoriales (amarilla y naranja) que definen dos carreteras sobrepuestas a la imagen matricial (Google Earth 2006).

La formación de una cartografía o Base de Datos Geográficos (BDG) debe seguir un conjunto de procesos diseñados de tal manera que, con base en el buen hacer y en las tecnologías disponibles, queden asegurados los niveles de calidad marcados en las especificaciones del producto. No obstante, también es necesario proceder al control, ya sea durante el proceso o en la recepción del producto, de los niveles de calidad reales o efectivos del material producido o adquirido. Siendo la componente posicional un aspecto fundamental de la información espacial, es evidente la importancia de conocer y realizar de manera adecuada la evaluación o control de los niveles de calidad alcanzados sobre ésta y, por ello, todos los institutos cartográficos oficiales utilizan habitualmente métodos estadísticos para su evaluación y control.

La calidad posicional viene determinada por la exactitud posicional, la cual es, junto con la consistencia lógica, el elemento de la calidad del dato geográfico (ISO 19113) controlado y evaluado más comúnmente por parte de los institutos cartográficos (Jackobsson y Vauglin 2002). Dado que la calidad supone "adecuación al uso" (Juran y Gryna 1970), desde la perspectiva posicional caben diferentes opciones o definiciones de acuerdo con el interés del usuario (DoD 1990): exactitud absoluta o relativa, exactitud horizontal o vertical, etc. En todo control o evaluación, con independencia de la definición que se aplique, es fundamental tener en cuenta el hecho de que el aspecto estadístico ha de estar siempre presente para poder derivar conclusiones.

Dada la importancia de este aspecto en el entorno cartográfico parece lógico pensar en el desarrollo y establecimiento de normas o estándares apropiados. Éstos últimos son un instrumento adecuado cuando se pretende la transparencia y optimización económica de un sector, en este caso el de la información geográfica. Las normas son documentos técnico-científicos que recogen conocimientos y recomendaciones surgidas de la experiencia y que se orientan a la simplificación, unificación y clasificación de los procesos y productos dentro de un ámbito territorial determinado. Ellas son la base del progreso de todas las industrias, y el auge del sector geomático conlleva necesariamente el desarrollo de normas específicas. Esto se evidencia de una forma inequívoca por los esfuerzos que actualmente realizan los comités técnicos de las distintas organizaciones (ISO/TC 211, OGC, CEN/TC 287, AENOR/CT 148, etc.) que trabajan en la temática de información geográfica o geomática y que se va plasmando en un conjunto, cada vez más abundante y amplio, de normas de las cuales destaca la familia ISO 19100.

De entre ellas, interesan a este trabajo, las normas ISO 19113 - Principios de la Calidad, ISO 19114 - Evaluación de la Calidad e ISO 19138 - Medidas de la Calidad. Estos tres documentos presentan un objetivo común que es normar o estandarizar los aspectos relativos a la identificación, evaluación y expresión de la calidad de la información geográfica para: dar transparencia y posibilidad de comparación, evitar informaciones ambiguas y falsas expectativas, y facilitar la elección y uso

adecuado de los productos. Es decir, se trata de unas normas que pretenden alcanzar el entendimiento inequívoco entre los productores y los usuarios en este tipo de información, facilitando el mercado y el uso eficiente de la información geográfica.

En este documento se analizan algunas Metodologías de Control Posicional (MCP) desarrolladas en América, con carácter de documentos normativos o de índole similar. Destaca el ámbito estadounidense por su gran dinamismo, una orientación muy clara a lo que ellos denominan "practical mapping", y una abundancia de fuentes públicas y privadas, accesibles, que no existe en ningún otro caso. También vale destacar que no siempre hay documentos relativos a MCP o de evaluación y en su ausencia hay documentos de especificación de los que se pueden obtener algunas ideas sobre cómo debería ser esa evaluación. Junto al ámbito territorial anterior, este trabajo también se aprovecha de en un conjunto mucho más amplio e internacional de documentos obtenidos mediante encuesta y otros procedimientos indirectos (Nero y Cintra 2005; Nero 2006; Ariza y Atkinson 2006), así como investigaciones específicas en el ámbito posicional (Atkinson 2005; Nero 2005; Nogueira 2003).

Además de este primer apartado o introducción este artículo se organiza en seis apartados más. El segundo apartado presenta la componente posicional: una definición formal, la manera de cuantificar sus niveles de exactitud y las dos alternativas más extendidas a la hora de considerar los errores: lineales y circulares. El tercer apartado está dedicado a las exigencias de exactitud posicional más usuales. Por su parte el cuarto desarrolla la revisión crítica de los MCP, analizando aspectos formales, tamaño de muestra, elementos de control, etc. El quinto apartado presenta una visión resumida del estado de la cuestión, en lo concerniente a esta materia, en Hispanoamérica. El sexto describe las principales aportaciones de las normas ISO 19113, 19114 y 19138 desde la perspectiva del trato que se da la exactitud posicional como elemento relevante de la calidad del dato geográfico. Al final se presentan las conclusiones.

La Componente Posicional

En una BDG la posición de un fenómeno del mundo real se describe por medio de valores (coordenadas) en un sistema de referencia. La exactitud posicional significa la mayor o menor proximidad entre las posiciones de los fenómenos representados y las posiciones consideradas como buenas o verdaderas. Su evaluación se da por procesos de carácter estadístico sobre los errores sistemáticos y aleatorios (DoD 1990). La comparación con fuentes independientes de mayor exactitud es el método preferido para su evaluación (ANSI, 1998).

La exactitud puede y debe estar referida a un estándar y por ello no hay una única definición. Por el contrario, existirán tantas definiciones utilitaristas como aspectos posicionales/geométricos de interés para cada aplicación. Ejemplo son las

definiciones que se presentan a continuación, que basadas en DoD (1990) incluyen todas ellas el aspecto estadístico:

- *Exactitud absoluta*: se define como el estadístico que proporciona la incertidumbre de un punto respecto a un *datum*. Implica la necesidad de considerar los efectos de todas las fuentes de error tanto sistemáticas como aleatorias. Se pueden considerar en ella dos componentes: horizontal y vertical.
- *Exactitud absoluta horizontal*: evaluación estadística de todos los errores sistemáticos y aleatorios encontrados en la determinación de la posición horizontal de un punto respecto a un *datum* geodésico especificado. Se suele expresar como error circular al 90% de probabilidad.
- *Exactitud absoluta vertical*: evaluación estadística de los errores sistemáticos y aleatorios encontrados en la determinación de la altitud de un punto respecto al nivel medio del mar. Se suele expresar como error lineal al 90% de probabilidad.
- *Exactitud relativa*: se define como el estadístico que proporciona la incertidumbre de la posición de dos puntos después de haber eliminado los efectos de los errores comunes a ambos. También se denomina exactitud punto-punto. Se le puede ver como independiente del *datum* del producto ya que se define como el error en las componentes del vector entre los dos puntos. Al igual que la absoluta se establece en términos de componente horizontal y vertical.
- *Exactitud relativa horizontal* (punto a punto): evaluación estadística de todos los errores aleatorios encontrados en la determinación de la posición horizontal de un dato horizontal respecto a otro. Se expresa como un error circular sobre una distancia con el 90% de probabilidad.
- *Exactitud relativa vertical* (punto a punto): evaluación estadística de todos los errores aleatorios encontrados en la determinación de la elevación de un dato horizontal respecto a otro. Se expresa como un error lineal para una distancia con el 90% de probabilidad.

Es usual asumir que los errores posicionales siguen una distribución Normal, es decir, un modelo estadístico de tipo gausiano. Como se sabe, existen dos parámetros asociados a la exactitud posicional que ayudan a cuantificarla y definirla: el desplazamiento medio μ y la desviación σ. El desplazamiento es una discrepancia sistemática media entre las posiciones presentes en un mapa $\{X_p, Y_p, Z_p\}$ y las consideradas como verdaderas $\{X_v, Y_v, Z_v\}$, generalmente obtenidas por un levantamiento sobre el terreno. El parámetro μ se determina calculando el error medio posicional de una muestra de puntos, la Ecuación 1 presenta su formulación para la componente X. La desviación se refiere a la dispersión en los errores, por lo que describe el grado de conformidad intrínseco de los datos, La Ecuación 2 presenta su formulación para la componente X.

$$\mu_x = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(X_{P,i} - X_{V,i}) \qquad \text{(Ec. 1)}$$

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left((X_{P,i} - X_{V,i}) - \mu_X \right)^2} \qquad \text{(Ec. 2)}$$

donde: n es el número de datos.

Como es lógico, las coordenadas de comprobación deberán estar referidas al mismo *datum* geodésico y proyección que el producto, ser obtenidas por métodos más precisos y poseer errores inferiores a los que se vayan a exigir del producto. Cuando no se dispone de datos más precisos se toman datos repetidos y se determina la precisión interna de los mismos.

Es usual definir la exactitud de un producto cartográfico por medio de la raíz del error medio cuadrático *RMSE (*del inglés *Root Mean Squared Error*). El *RMSE* compendia en un único valor tanto la presencia de desplazamientos como la dispersión de los datos. La relación entre todos ellos se recoge en la Ecuación 3, por lo cual el valor de *RMSE* siempre será numéricamente mayor que el de σ.

$$RMSE = \sqrt{\mu^2 + \sigma^2} \qquad \text{(Ec. 3)}$$

A modo de ejemplo gráfico, la Figura 2 presenta la evolución de los tres parámetros $\{\mu, \sigma, RMSE\}$ cuando, para una variabilidad acotada, se incrementa el nivel de sesgo presente en los datos. En esta figura se observa la recta de pendiente unidad correspondiente al sesgo $\mu \in [0,2]$ y la recta horizontal correspondiente a una variabilidad fija ($\sigma=1$). La curva que representa el *RMSE* se corresponde con la formulación establecida en la Ecuación 3, se observa pues como este parámetro da siempre una estimación mayor debido a combinar desplazamiento y dispersión.

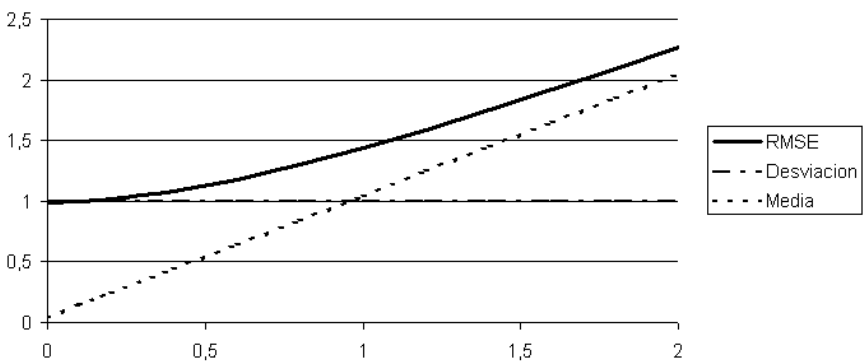


Figura 2. Evolución del *RMSE* y de la media y desviación para una muestra con desviación fija ($\sigma=1$) y media en el intervalo $\mu \in [0, 2]$.

Por tanto el *RMSE* es un índice de dispersión o variabilidad más complejo que σ. Pero *RMSE* $=\sigma$ cuando $\mu = 0$, circunstancia que será cierta en ausencia de sistematismos, bien por no existir o por su eliminación previa. Este índice se puede aplicar a cada una de las coordenadas *{X, Y, Z}* de manera independiente, tal como muestra la Ecuación 4 para el caso de la componente *X*.

$$RMSE_x = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} (X_{P,i} - X_{V,i})^2} \qquad \text{(Ec. 4)}$$

También se puede definir de forma diferenciada para la planimetría y la altimetría de un producto. En el caso planimétrico se puede trabajar de forma conjunta con las coordenadas *{X, Y}* y para eso se define un $RMSE_r$ radial (Ecuación 5) bajo el supuesto de que ambas componentes son independientes y siguen un comportamiento aproximadamente igual.

$$RMSE_r = \sqrt{RMSE_x^{\,2} + RMSE_y^{\,2}} \qquad \text{(Ec. 5)}$$

La consideración de un modelo estadístico base de tipo gaussiano permite expresar los errores o dispersiones en relación a un valor de probabilidad deseado, denominado nivel de confianza *nc%* y se expresa en forma de porcentaje (p.e. el 95% de confianza). El *nc%* significa la probabilidad de que los errores sean menores que una cantidad determinada. La formulación básica en este caso es la que muestra la Ecuación 6; en ella E_{nc} es la expresión del error al nivel de confianza deseado, $K_{nc\%}=F(nc\%)$ es un parámetro función de dicho nivel de confianza y del modelo gaussiano, por lo que se obtiene de las tablas de la función de distribución Normal, y σ es la desviación estándar de la muestra. Es obvio que cuanto mayor sea el *nc%* tanto mayor será $K_{nc\%}$ y por ello $E_{nc\%}$.

$$E_{nc\%} = K_{nc\%}\sigma \qquad \text{(Ec. 6)}$$

Para aclarar con un ejemplo lo anterior se presenta la Tabla 1, en que se listan los errores lineales más usuales propuestos en las normas y sus correspondientes niveles de confianza (probabilidad), y los valores de $K_{nc\%}$. Por su parte, la Figura 3 presenta gráficamente el significado de $K_{nc\%}$ sobre la curva de la Normal unidimensional. Aquí se aprecia como el sentido de este parámetro es ampliar el intervalo considerado, lo que supone incluir un mayor número de casos posibles, es decir, se incrementa el nivel de confianza, que en la gráfica supone mayor superficie bajo la curva dentro del intervalo.

Tabla 1
Diversas definiciones de errores lineales y sus probabilidades correspondientes

Nombre	*Probabilidad (%)*	*Desviación*
Error lineal probable (LPE)	50.00	0.6745 σ_L
Error lineal estándar (LSE)	68.27	1.0000 σ_L
Estándar de exactitud lineal del mapa ($LMAS_{90}$)	90.00	1.6449 σ_L
Estándar de exactitud lineal del mapa ($LMAS_{95}$)	95.00	1.9600 σ_L
Certeza práctica lineal (LPC)	99.73	3.0000 σ_L

Fuente: Marc Ir (1991).

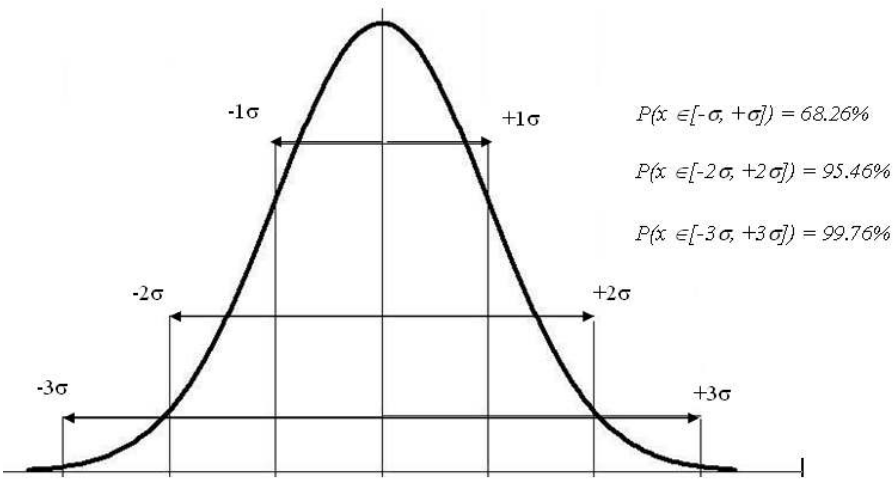


Figura 3. Representación de la distribución Normal unidimensional y los distintos niveles de confianza.

No obstante, existe una segunda escuela con relación al tratamiento estadístico del error planimétrico, ya implícito en la Ecuación 5. Esta escuela nace desde la insatisfacción de considerar los errores como unidimensionales y propone el uso de un modelo probabilístico bidimensional. El modelo estadístico base o estándar es la distribución Normal Circular. Así, para un punto en una posición (X_p, Y_p), la probabilidad de cualquier otro punto (X, Y) de estar sobre la verdadera posición viene determinada por la Ecuación 7.

$$f(x,y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2}\exp\left[-\frac{(X-X_p)^2+(X-Y_p)^2}{2\sigma^2}\right] \qquad \text{(Ec. 7)}$$

y la probabilidad de que ese punto esté dentro de un círculo C_r de radio r, es decir, la función de distribución de probabilidades $F(r)$, es:

$$Cr : (X-X_p)^2 + (Y-Y_p)^2 \leq r^2 \qquad \text{(Ec. 8)}$$

$$F(r) = p(r) = \iint_{Cr} \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left[-\frac{(X-X_p)^2 + (X-Y_p)^2}{2\sigma^2} \right] dx\, dy \qquad \text{(Ec. 9)}$$

De esta forma, de manera similar a la ya indicada para el caso lineal, se pueden definir distintos errores en función del nivel de confianza deseado en cada caso. La Tabla 2 recoge los distintos errores circulares contemplados en la bibliografía (Greenwalt y Shultz 1962; Maling 1989; Leung 1998). La Figura 4 los presenta gráficamente, lo que permite ver más claramente la relación entre las probabilidades circulares y las desviaciones a las que se corresponden.

Tabla 2
Diversas definiciones de errores circulares y sus probabilidades correspondientes

Nombre	*Probabilidad (%)*	*Desviación*
Error circular estándar (CSE)	0.3935	1.0000 σ_C
Error circular probable (CPE)	0.5000	1.1774 σ_C
Error circular medio (CMSPE)	0.6321	1.4142 σ_C
Estándar de exactitud circular del mapa (CMAS)	0.9000	2.1460 σ_C
Error 3.5 sigma	0.9978	3.5000 σ_C

Fuente: Maling (1989).

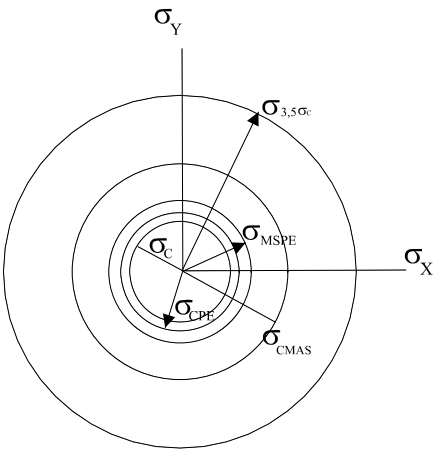


Figura 4. Representación de diversos errores circulares.

Respecto a la componente vertical, se puede establecer un estudio análogo al ya presentado; es decir, su estudio aislado, que se correspondería con un modelo lineal, o bien en conjunción con las otras dos componentes, en cuyo caso, se trataría con un modelo estadístico tridimensional o esférico. No obstante, esta última opción no es usual debido al comportamiento desigual de esta componente con respecto a las planimétricas. Esto significa trabajar con un elipsoide de incertidumbre con eje mayor vertical, lo que supone una asimetría y mayores dificultades de cómputo. Esa componente podría merecer un estudio específico más amplio.

Requerimientos de exactitud

Una de las acepciones fundamentales del concepto Calidad es la adecuación al uso (Juran y Gryna 1970). Desde el punto de vista posicional esta adecuación es fundamental. Para una aplicación dada, la adecuación de la calidad posicional supone disponer de una BDG con la exactitud posicional necesaria, ni mejor, lo que supondría mayores costes de realización; ni peor, lo que podría conllevar un riesgo en las decisiones tomadas sobre esos datos.

Las aplicaciones de los datos geográficos son muchas, y más aún las perspectivas desde las que se puede realizar el uso. Por ello no puede darse una recomendación general sobre qué requerimientos de exactitud se deben considerar en cada caso. No obstante, existe un conjunto de aplicaciones, convencionales y propias del ámbito de la ingeniería, para las que se puede dar un marco general aproximado. Ejemplos de estas propuestas quedan recogidos en ASCE (1983), USACE (1994), FGDC (1998) y otros muchos documentos. La Tabla 3 presenta algunos casos extraídos y adaptados de FGDC (1998).

De esta forma, si se toma como tolerancia máxima para un producto un valor concreto (p.e. cualquiera de los recogidos en la Tabla 3, o en fuentes similares), el diseño de los trabajos de captura y formación de una BDG, y la ejecución material de esos trabajos, estarán orientados a obtener un conjunto de datos que realmente cumplan con esa especificación. Paralelamente los métodos de control posicional serán la manera independiente de evaluar la componente posicional y verificar que se cumple o no esa condición de diseño.

La Tabla 3 ha presentado varios ejemplos con los que se puede entender que distintos usos suponen distintas exigencias de exactitud posicional. Sin embargo, no se ha explicado el porqué de los diferentes valores. Esta justificación se puede ligar a la representación y uso tradicional de la cartografía y de los planos, los cuales se realizaban sobre papel. La representación quedaba condicionada por la cantidad de información (detalle) a representar, el instrumental de dibujo y el tamaño o dimensiones del soporte disponible. Por otra parte existía un uso o explotación cartométrica, es decir, una explotación de la información en la que se tomaban medidas sobre el papel soporte del mapa o plano, por lo general de forma directa, *ad oculi*,

con una regla de medir o instrumento similar. En todo este proceso influye de manera decisiva la acuidad visual del individuo (poder separador del ojo humano), lo que se denomina límite de percepción visual y cuya dimensión está en el orden de 0.2 mm para una distancia de visión normal. Así, la tolerancia máxima admisible para los errores se ha venido estableciendo con relación a ese límite de percepción visual, expresado a escala. La cuestión era bien clara, si la explotación no podía beneficiarse de mayor precisión, ¿para qué utilizar métodos más precisos si ello suele suponer mayores costes económicos y temporales, en una relación más que proporcional a la exactitud alcanzada?

Tabla 3
Requerimientos de exactitud para diversos tipos de mapas

Actividad	*Escala*	*Horizontal [mm]*	*Vertical [mm]*	*Intervalo cn [mm]*
Mapas de detalles arqueológicos o de estructuras	1:10	5	5	100
Diseño o construcción de estructuras	1:500	100	50	250
Mapas o planos generales de construcción y especificación	1:500	100	50	250
Mapas Parcelarios	1:1,000	10	100	1,000
Mapas generales de localización para planificación	1:5,000	1,000	1,000	1,000
Mapas de suelos y geológicos	1:5,000	10,000	—	—
Mapas de coberturas	1:5,000	10,000	—	—
Mapas para servicios de emergencias	1:10,000	25,000	—	—
Mapas general de localización	1:25,000	10,000	5,000	2,000

Fuente: FGDC (1998).

Análisis crítico

Antes de proceder al análisis se considera conveniente indicar, al menos someramente, el material base utilizado en el mismo. Los MCP analizados se enumeran en la Tabla 4, la mayoría de ellos proceden de los Estados Unidos o de organizaciones internacionales como la OTAN y el IPGH, las cuales tienen siempre una gran repercusión en el ámbito de las instituciones cartográficas de los países miembros. Varias de estas metodologías están presentadas los trabajos de Atkinson y col. (2001) y en Ariza (2002). No obstante, el análisis que se presenta aquí se basa en un estudio más amplio e internacional desarrollado por medio de encuestas y otros procedimientos (Atkinson 2005; Nero y Cintra 2005; Ariza y Atkinson 2006), así como en

investigaciones específicas sobre el comportamiento de los MCP desarrollada por los autores de este trabajo (Ariza y col. 2005a, 2005b; Atkinson 2005; Nero 2005), y en otros muchos trabajos, cada vez más abundantes, en esta misma temática (p.e. Sevilla 1991; Bica 2004; Lucas y Rodríguez 2004; Barbato 2001, 2002; Thompson 2004, etc.).

Tabla 4
Documentos Base del Análisis
Normas de Control Posicional

Nombre del Método	*Clase o método base*	*Observaciones*
NMAS (1947)	NMAS	Estándar de muy simple aplicación y ampliamente utilizado en todo el mundo desde su publicación
IPGH (1978)	IPGH	Especificaciones cartográficas del Instituto Panamericano de Geografía e Historia adoptada por numerosos países de Hispanoamérica. Establece diversas clases
EMAS (1983)	EMAS	Método propuesto por la American Society of Civil Engineers.
Brasil (1984)	NMAS	Decreto de especificación de las categorías de precisión de los productos cartográficos. Establece clases de precisión
ASP (1985)	EMAS	Borrador de la ASP, basado en el EMAS, que dio lugar al ASPRS (1990)
ASPRS (1990)	ASPRS	Método de la ASPRS ampliamente utilizado en USA para los trabajos a grandes escalas (>E20K)
Colombia (1994)	__	Resolución que establece umbrales de incertidumbre únicos de acuerdo con la escala. No establece clases
ASFP (1996)	__	Especificaciones de exactitud posicional (Canadá). Establece clases de precisión
USGS (1997)	USGS	Norma sobre modelos de elevaciones del terreno. Control de calidad
NSSDA (1998)	NSSDA	Desde su aprobación en 1998 ha alcanzado una amplia difusión y aceptación en todo el mundo. Actualmente, en fase de revisión
STANAG (2002)	STANAG	Norma de la Organización del Tratado del Atlántico Norte Método riguroso y documento bien estructurado
Argentina (UNL-SCIT 2004)	NMAS	Propuesta de norma cartográfica. Establece clases de precisión
México (2005)	NSSDA	Propuesta de norma que sigue al NSSDA
Colombia (2006)	NSSDA	Propuesta de norma que sigue al NSSDA
Ecuador (2006)	IPGH	Borrador de Especificaciones Técnicas Generales para la realización de Cartografía topográfica a cualquier escala
MIL-STD-600001	__	Más que una norma con especificaciones y métodos de control es una guía para el proceso de cálculo matemático-estadístico

Un aspecto a resaltar es que con la llegada de los Modelos Digitales del Terreno (MDT) se han generado también normas, especificaciones, y métodos de control específicos para los mismos: USGS (1997, 1998); FGDC (1999), FEMA (2003); aunque cada vez con mayor convergencia y alineación a los posicionales de carácter general. Otro caso es el de las batimetrías. Los MCP no suelen incluir ningún comentario o criterio especial para el caso de levantamientos batimétricos. Éste es un campo que, de manera implícita y lógica, parece que queda fuera del alcance de los MCP. No obstante, a nivel internacional, parece que existe bastante acuerdo en el uso de la especificación S-44 (IHO 1998) de la Organización Hidrográfica Internacional, y que está actualmente en fase de revisión (IHO 2006).

La presente sección incluye un análisis de las características principales que se han encontrado en los MCP, dedicando un apartado a cada aspecto específico del problema, p.e., tamaño de muestra recomendado, método de cálculo de la incertidumbre, etc. Para empezar, ese análisis se resume y presenta en la Tabla 5, que es una visión global de los principales aspectos comparados.

Aspectos formales

Estos aspectos se refieren tanto a la presentación, ordenación y estructuración de los documentos base en los que se describen estas metodologías. En general, se observa una clara tendencia a la mejora con el tiempo desde la formulación del NMAS, allá por el año 1947, a normas más recientes como STANAG 2215. Se puede decir que, salvo un par de casos, ninguno de los documentos analizados presenta una formulación rigurosa que siga la estructura de una norma o procedimiento como cabría esperar, la cual podría quedar definida por las especificaciones de la "Guía para la preparación de documentos normativos" (AENOR 1990; ISO 2004) o por cualquier otro documento similar. Algunos casos analizados (Brasil 1984) presentan una ordenación propia de documento legislativo, con una estructura basada en artículos, más orientada, en el caso brasileño, a la especificación de las calidades que a su control. Por otra parte, tampoco se utiliza una nomenclatura y formulación estadística acorde con las recomendaciones del vocabulario internacional de metrología (ISO 1993; CEM 1994), ni con la guía que define la incertidumbre, los métodos de estimación de la misma, y diversas formas de expresarla (ISO 1995). La Tabla 5 incluye, en la última línea, una categorización que expresa, de manera aproximada, la valoración de los autores del presente artículo (nada, baja, media, alta, total) de este aspecto.

Planimetría y/o altimetría

El comportamiento diferencial de las componentes altimétrica y planimétrica, así como la posibilidad de que un producto sea meramente planimétrico o altimétrico, hace que los MCP consideren, en su totalidad, de manera independiente la evaluación de la ambas. Esta evaluación independiente conlleva que los productos puedan ser evaluados sólo en una de ellas o que, incluso, puedan exigirse niveles o categorías distintas de exactitud en cada una.

Tabla 5
Resumen de los aspectos revisados en las metodologías de control posicional

Nombre: Nombre de la norma o documento.	*NMAS*	*EMAS*	*ASLMS*	*MILSTD 60001*	*NSSDA*	*STANAG*
Origen: Organización.	USBB	ASCE	ASPRS	DOD	FGDC	NATO
Fecha: Año de publicación.	1947	1985	1990	1990	1998	2002
Aspectos formales: Adherencia del documento a una estructura convencional de norma. Se asignan los siguientes valores: Nada=0, Muy escasa = 1, Escasa = 2, Media= 3, Apropiada = 4, Muy completa = 5.	1	2	2	3	4	5
Hoja, lote de hojas o una serie: Indica el tipo de elemento al que se aplica el control	Mapa	Area	Hoja		Area	GDB
Aislado/Flujo: Indica si el control se supone aislado (p.e. hoja o lote) o en un proceso continuo (p.e. el lote a lote).						
Escalas: Se indica si hay distinción o recomendación basada en escalas.	Todas	> 20.000	> 20.000	Todas	Todas	< 25.000
Elementos de control: Si existe una indicación explícita de usar elementos puntuales como elementos de control.	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Tamaño de muestra: Tamaño mínimo recomendado para la muestral de control.		20	20		20	167
Tipología de puntos: Si hay indicación de la tipología de los elementos de control.						Sí
Distribución espacial: Si hay una guía sobre la distribución espacial adecuada de la muestra de control.			Sí		Sí	Sí
Subrregiones: Si se propone el uso de subrregiones en caso de existir comportamientos diversos.						Sí
Precisión del muestreo: Sugerencia sobre la precisión de necesaria para la muestra de control.		3x	3x		3x	5x
Exactitud absoluta: Si se considera este subelemento de la calidad.	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Exactitud relativa: Si se considera este subelemento de la calidad.				Sí		Sí
Comprobación hipótesis básicas: Si existe indicación de realizar estas pruebas.						

Normalidad implícita: Si se asume la normalidad (modelo Gaussiano).	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Atípicos: Si hay indicación sobre cómo tratar los valores atípicos o *outliers*.	Sí	Sí	Sí		Sí	Sí
Sesgo: Si hay indicación sobre cómo tratar el sesgo cuando existe.		Sí		Sí		Sí
RMSE: Si se utiliza este índice como medida de incertidumbre.			Sí		Sí	
Media y desviación: Si se usan estos índices.		Sí		Sí		Sí
Planimetría: Si se considera la aplicación a la componente planimétrica.	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Altimetría: Si se considera la aplicación a la componente altimétrica.	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
3D: Si la opción 3D está contemplada.						Sí
Desplazamiento XY para ajuste en Z: Si es posible desplazar en planimetría para encajar la altimetría.	Sí		Sí			
Circular/Linear: Si las componentes (XY) se analizan de manera conjunta (Circular) o independientemente (Linear).	L	L	L	C	C	C
Categorías: Si se proponen categorías de exactitud.			Sí	Sí		Sí
MDT: Si hay consideración explícita de la aplicación del método a estos productos.					Sí	Sí
Expresión de los resultados: Tipo de informe para indicar el resultado (pasa/falla=1; clasificación= 2, valor= 3).	1	1	2	3	3	3
Información general: Indicación del nivel de información incluido en la especificación y de la presencia de recomendaciones, ejemplos, ejemplos de cálculo, etc. Se usa la siguiente escala: Nada= 0, Muy escasa = 1, Escasa= 2, Media= 3, Apropiada= 4, Muy completa = 5.	1	2	2	4	4	5
Probabilidad de los resultados: El nivel de confianza o probabilidad del resultado de la evaluación.	90%	≈ 90%	≈ 90%	90%	95%	90%
Incertidumbre del método: Si se indica la incertidumbre del propio método de evaluación.						Sí (10%)
Valoración Global: Los autores asignan un valor subjetivo global a cada uno de los métodos según la siguiente escala: Muy malo=1, Malo=2, Funcional=3, Bueno=4, Muy bueno=5.	2	3	3	5	4	5

Por otra parte, según lo avanzado en el apartado 2 "Componente posicional" en cuanto a la planimetría, los MCP distinguen dos formas básicas de trabajo: a) análisis por componentes *{X, Y}*, y b) análisis planimétrico. Esto supone la consideración de dos hipótesis básicas que condicionan también el análisis estadístico: errores lineales en cada una de las componentes, o un error global planimétrico de carácter circular. Esto no está claro en la propuesta del IPGH (1987), pues no se presenta ningún estimador estadístico. Así, puede haber una confusión en la interpretación y considerarse el 90% bien como una probabilidad linear o circular, y dado que son dos estimaciones distintas producirán resultados distintos sobre unos mismos datos. En otros casos, como Brasil (1984), el simple hecho de que aparezca un $K_{nc\%}$ con un valor numérico y su nivel de confianza indica ya la alternativa adoptada por la norma.

El caso altimétrico es claro y se trata siempre de forma lineal. En la mayoría de los casos la altimetría se considera independiente de la planimetría aunque en algunos MCP se permite jugar con la posición planimétrica para encajar la altimetría. El auge de los MDT ha llevado también a un especial interés en el control de estos productos, sin embargo no todas las opciones analizadas incluyen una mención específica a los mismos y a su control. Son aportaciones de especial interés las del USGS (1997, 1998) y las desarrolladas por la FEMA (2003) o del programa NDEP (NDEP 2004).

Control sobre qué (hoja, serie, lote) y cómo (flujo/aislado)

La contratación y recepción de trabajos cartográficos puede adoptar muy diversas formas dependiendo de la entidad del proyecto, plazos disponibles, metodologías, etc., existiendo actualmente procesos de producción cada vez más masivos y parecidos a los procesos industriales; no obstante, los MCP no tienen el grado de refinamiento alcanzado en el ámbito industrial. Los MCP son procedimientos de muestreo para la inspección y posterior aceptación o rechazo de productos cartográficos desde una perspectiva posicional.

Siendo muchas las diferencias entre los procesos industriales y cartográficos, la amplia experiencia de los primeros debería ser aplicada, en la medida de lo posible, sobre los segundos. De esta forma, y en lo que se refiere a este epígrafe, se nota que los procesos industriales distinguen muy bien si la aceptación se realiza sobre un lote o partida aislada, o sobre un proceso lote a lote. También se distinguen alternativas de inspección más o menos rigurosas, procesos de muestreo simples, dobles, triples, etc., en orden a obtener economías cuando la calidad es extrema. Es decir, se muestra un amplio abanico de posibilidades de ajustar la inspección frente a aspectos cruciales como son la economía y el riesgo.

En el caso de los MCPS, la circunstancia más general es no indicar nada con relación a todo lo anterior, cuestión que se considera crítica. Caso aparte y espe-

cialmente llamativo, por su severidad, es el criterio que se establece en el manual EM-1110-1-1000 (USACE 2002): cuando un proyecto cartográfico involucra un conjunto de hojas [de mapa], la existencia de error (es decir, fallo en el control de un mapa) en cualquier hoja individual constituirá, *prima facie*, una evidencia de deficiencias en todo el proyecto (se asume que todas las hojas tienen deficiencias similares) y se suspende la comprobación en campo.[1] Pero, en general, los MCP utilizan opciones bien distintas como extensión geográfica, área geográfica, proyecto, producto, hoja o mapa, etc., para referirse al ámbito de aplicación de dicho control. Queda pues bastante difuso si el control debe aplicarse a cada trabajo independiente, a cada una de las hojas de una serie, a un área generada bajo unas mismas condiciones y métodos de trabajos (p.e. bloque fotogramétrico), etc. Dado que no se considera el caso de una producción en flujo, se ha de pensar que los MCP tienen una aplicación más propia sobre elementos aislados. Lo anterior supone no aprovechar las posibilidades de ahorro que se derivan de los métodos de control sobre producción en flujo.

Tamaño de la muestra de puntos de control

El tamaño de la muestra es uno de los aspectos clave de cualquier metodología de estimación por muestreo. La normalidad suele ser la hipótesis más asumida para el comportamiento de los errores posicionales (Gemael 1994). A partir de ella se puede obtener la expresión del tamaño de la muestra n en función del de la población N, la precisión del muestreo ε, la varianza poblacional σ^2 y el nivel de significación α del estadístico t. La aplicación de esta formulación permite obtener recomendaciones como la mostrada de forma gráfica en la Figura 5. Se trata pues de un asunto realmente resuelto desde el punto de vista estadístico, tanto teórico como aplicado a muchos casos (p.e. estudios de mercado, sociológicos, control de calidad, etc.). Sin embargo, tanto los MCP como los ejemplos encontrados presentan recomendaciones de tamaños de muestreo muy diversas: $n=20$ (NMAS, EMAS, NSSDA), $n=30$ (Ecuador), $n=50$ (NJUG 1988), $n=167$ (STANAG). En otros casos, como en IPGH (1987), no se comenta nada en cuanto al tamaño de la muestra. Para los autores del presente trabajo éste es uno de los aspectos más críticos de la mayoría de MCP por cuanto el tamaño mínimo de muestra recomendado suele ser relativamente bajo ("al menos 20 puntos de control"). En coincidencia con los trabajos de Li (1991) y las prescripciones que dan algunos MCP como el STANAG (2002), se opina aquí que se necesitan tamaños superiores a la centena si se desea acotar la variabilidad del propio proceso de estimación dentro de unos niveles aceptables.

[1] Dice textualmente ese documento: "Cuando un proyecto contiene una serie de hojas, la existencia de errores (o sea la falla en la prueba) en una hoja individual constituye, *prima facie*, una evidencia de deficiencias en todo el proyecto (o sea, se asume que las hojas tienen deficiencias similares) y se cesa la prueba de campo para el mapa".

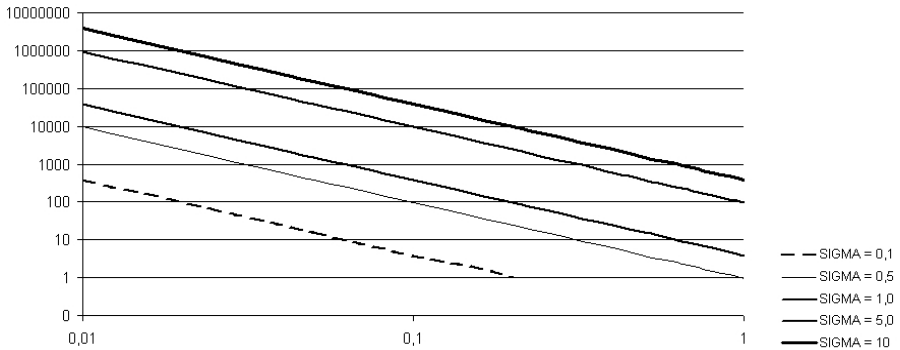


Figura 5. Evolución gráfica, en un diagrama log-log, de los tamaños de muestra (eje vertical) bajo la hipótesis de normalidad para diversas variabilidades (σ=0,1; 0,5; 1,0; 5,0; 10,0) en la población y diversas precisiones a alcanzar en el muestreo (eje horizontal).

El motivo de reducir hasta 20 el número de puntos de control no queda claro. 20 es un número estadísticamente relevante ligado a ciertos teoremas estadísticos (leyes de los grandes números y teorema central del límite) que permiten suponer que a partir de ese número de elementos en una muestra se cumplen ya las hipótesis de convergencia en las estimaciones y normalidad en la muestra. Por otra parte, en documentos como MPLMIC (1999) donde se insiste repetidas veces que con 20 elementos de control es suficiente para la aplicación del método NSSDA, se presentan numerosos ejemplos en los que se trabaja con un mayor número. En esta línea, cabe pensar que la tan extendida propuesta de uso de 20 puntos se debe orientar a minimizar costes asumiendo un riesgo limitado, pero no se ha encontrado ningún trabajo que fundamente y justifique esta circunstancia. En USACE (1994), con relación al NMAS, se indica que cuanto más pequeña es la muestra más restrictiva se hace la tolerancia y por ello de requerir 20 puntos en las normas ASPRS. Trabajos como el de Van Niel y McVicar (2002) vienen a indicar que con este tamaño se obtiene una estimación razonable del error. En general, y bajo el punto de vista de los autores, en los MCP existe cierta ambigüedad al tratar este importante aspecto del tamaño de muestra, sin indicar claramente si el ámbito es una hoja de un mapa, a cada una de ellas de un lote o serie, de una zona geográfica, etc.

Otro aspecto relacionado directamente con el tamaño de la muestra es la propia tipología de los elementos que la conforman; este aspecto se comenta en el epígrafe dedicado a los elementos de control.

Se debe considerar que el tamaño de muestra de control debe venir determinado por la fiabilidad del muestreo y que ésta debe ser una elección primordial en función del uso del producto y del riesgo que conlleve una calidad posicional

determinada. Por ello, a la hora de controlar un producto realmente debería tenerse en cuenta una función económica que vincule los costes de muestreo, en función del tamaño de muestra, con la inversión total realizada, la fiabilidad obtenida en el producto y los costes de las malas decisiones que se puedan tomar sobre unos datos que no posean la suficiente calidad para el uso que se les pretende dar, etc. Este tipo de análisis ya se están aplicando, ejemplo de ello son los trabajos de De Bruin y col. (2001) y Hunter y De Bruin (2006), lo que va en línea con las propuestas de otros autores, como Krek y Franck (1999) que, de manera más general, consideran la necesidad de optimizar la calidad de la información geográfica.

Calidad o Precisión estándar

Con este título se hace referencia al establecimiento de un nivel de calidad o precisión estándar. Siendo muy diversos los usos y escalas de la cartografía, tradicionalmente este nivel se ha venido considerando en las unidades de la representación del mapa, producto último de todo proceso cartográfico y sobre el que se realizaba el uso, tanto interpretativo como cartométrico, como ya se ha indicado en el apartado 3 "Requerimientos de exactitud". Según se deduce de Nero y Cintra (2005) no existe coincidencia en los estándares que utilizan esta opción, que por otra parte, está relacionada con el nivel de probabilidad que se asigna al error máximo admisible y que, en la mayoría de los casos, se suele asociar a un nivel de confianza del 90%, aunque en algunos casos se eleva hasta el 95%. Numéricamente hablando y en unidades del mapa, algunos determinan éste límite en 0.2 mm, otros lo elevan a 0.3 mm, 0.5 mm o incluso a 0.85 mm ó 1 mm. Normas como el NMAS consideran distintos niveles en función de la escala (0.5mm para escalas < E20k y 0.85 mm para escalas >E20K). La especificación del IPGH (1987) destaca por su propuesta de distintos valores de acuerdo con la escala y uso pretendido. Esto ofrece una gran flexibilidad en las opciones de clasificación del producto final, aspecto que no se presenta en ninguna otra norma.

Con el advenimiento de la era digital la representación cartográfica se convierte en un producto más de la explotación de las BDG digitales, y por ello la precisión se refiere al propio dato geográfico, expresándose en unidades terreno. Esta evolución en el tipo de unidades utilizadas es muy clara en los documentos analizados. Aquí las precisiones que caben son muchas y por ello básicamente existen dos opciones de trabajo en los MCP: a) una clasificación de las mismas, como la mostrada en la Tabla 6; o b) dar un valor de la estimación que realiza el MCP aplicado, siendo el usuario quien decide sobre su adecuación o no a su propósito de uso.

Tabla 6
Ejemplo de categorías de exactitud

Norma	*Categorías*
GC (1996)	1cm, 2cm, 5cm, 1dm, 2dm, 5dm, 1m, 2m, 5m, 10m, 20m, 50m, 100m, 200m

En otras propuestas, como ASPRS (1990) las categorías no se definen por las exactitudes en sí, sino por el error límite que cabe esperar para un conjunto de escalas (Tabla 7). De esta manera se establecen productos de Clase 1 como los más precisos, y productos de clases 2 y 3 como dos y tres veces menos precisos que aquellos. Esto no es más que la traslación del criterio del límite de percepción visual a cada escala y luego la introducción de un factor de relajación para las categorías propuestas. También se encuentran algunas clasificaciones específicas para MDT como las tres categorías de exactitud que propone el USGS (1998), si bien éstas están muy condicionadas por los productos de los que el USGS derivó, en aquel momento, sus modelos digitales del terreno. El uso de categorías es interesante para el sector, siendo este es uno de los aspectos que se están tratando en la revisión del NSSDA, con la propuesta de clasificación realizada por Tilley (2002).

Tabla 7
Requerimientos de exactitud planimétrica (en coordenadas *X* o *Y*) para mapas de Clase *I*

Escala	*Límite RMSE (m)*
1:50	0.0125
1:100	0.025
1:200	0.050
1:500	0.125
1:1,000	0.25
1:2,000	0.50
1:4,000	1.00
1:5,000	1.25
1:10,000	2.50
1:20,000	5.00

Distribución espacial de la muestra de puntos de control

La distribución espacial de la muestra es otro aspecto que puede condicionar la validez de un muestreo estadístico. Pocos MCP explicitan, aunque sea someramente, la distribución espacial idónea de los elementos de control. En algún caso se indica el uso de una distribución acordada entre el productor y el usuario (USACE, 2002).

Si se supone que el área bajo control es homogénea respecto al interés de sus elementos y comportamiento de la incertidumbre, se podría considerar que una distribución aleatoria y bien distribuida es la más adecuada. Esta es la recomendación de varios MCP. Según esto, se recomienda que en cada cuadrante se distribuyan al menos un 20% de los puntos de control y que la distancia entre ellos sea mayor que un décimo de la longitud de la diagonal (Figura 6). No obstante, lo anterior no deja de ser una recomendación que, además, queda sujeta al acuerdo entre las partes y la posibilidad real de encontrar tal número de puntos bien definidos en cada cuadrante. Si existe algún(os) elemento(s) de interés (p.e. una infraestructura), el muestreo debería intensificarse en torno a él (ellos).

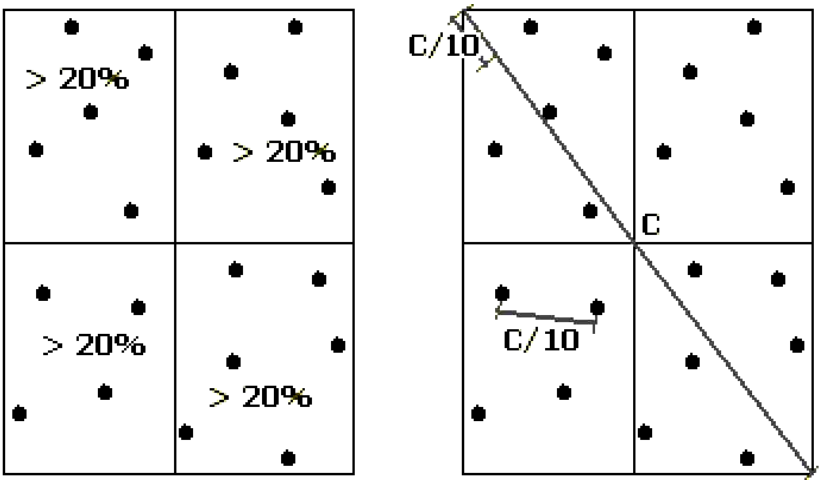


Figura 6. Recomendación para la distribución espacial de los puntos de control.
Fuente: MPLMIC (1999).

En el control de modelos digitales del terreno, en algún caso se especifica que los puntos de control han de situarse sobre terrenos llanos o planos de ladera con pendiente máxima limitada al 20% (NDEP 2004). En otros casos (USGS 1997) esta cifra se eleva hasta 28% y se propone que se repartan en 20 según el caso anterior y los ocho restantes en los límites o periferia de la zona, para asegurarse que no existe "efecto de borde". En el caso de los MDTs también se establecen condiciones adicionales como son (FEMA 2003): que los puntos de control se encuentren a una cierta distancia de elementos estructurantes del terreno y que se tomen en zonas llanas o planos de pendiente uniforme, menor que el 20%, y con un tamaño determinado en función del paso de malla del MDT. Además, en el caso de usar datos obtenidos por técnicas como LIDAR se requiere que los puntos de control se distribuyan entre las distintas categorías de cubierta vegetal.

La manera de generar la muestra aleatoria debería ser por algún método computerizado como se propone en NJUG (1988) evitando así la introducción de sesgo en la muestra por parte del operador que diseñe el control. Indudablemente esta selección automatizada debería ser posteriormente revisada.

En ningún caso se menciona o propone el uso de algún índice o estadístico que, de una manera más cuantitativa y objetiva, pueda dar idea de la bondad de esta distribución. Algunas especificaciones de control, como la del *Space Applications Institute* (SAI 1999) para el chequeo externo de la exactitud geométrica de imágenes, recomiendan el uso de gráficos que muestren la distribución de los puntos de control y los vectores de error de cada uno de ellos. Este es el único caso detectado donde se solicita esta información.

Finalmente, hacer una llamada de atención sobre este aspecto pues la aleatoriedad en Cartografía es algo un poco relativo: no se puede decir que una muestra que sea estadísticamente aleatoria (en su distribución espacial) lo sea en el caso de ejecutarla sobre una cartografía concreta. Existen factores, principalmente aquellos relacionados con el proceso de producción cartográfica, que tienen gran influencia en los resultados de exactitud final. Estos factores son, por ejemplo (Nero 2005): los bloques fotogramétricos, el trabajo en zonas con un marco geodésico de calidad homogénea, la distribución de los puntos de apoyo, la pendiente del terreno, etc. Sin duda son muchos aspectos para ser tenidos en cuenta por una norma pero, al menos, cabría esperar alguna directriz sobre ello.

Aspectos estadísticos

Todos los MCP son procesos de base estadística, por lo que debe atenderse con cuidado a todo aquello (formulación, hipótesis, etc.) que pueda afectar a que la estimación que se deriva de ellos no tenga la suficiente robustez. Si bien son métodos de base estadística, no comparten la misma formulación por lo que los resultados y fiabilidades obtenidos de aplicar distintos MCP a un mismo caso pueden ser distintos. Ya se han presentado aspectos como el tamaño de muestra, etc., que tienen su importancia estadística, sin embargo, y sin ánimo de ser exhaustivos, aquí nos centraremos en las hipótesis básicas, precisión de los trabajos de muestreo, estimación de la incertidumbre, tratamiento del sesgo, tratamiento de los valores atípicos y, finalmente, la información sobre el propio método.

- *Hipótesis básicas*: los métodos estadísticos suelen basarse en algunas hipótesis previas que han de cumplirse para que las conclusiones derivadas del aparato estadístico que se aplica sean realmente válidas. Estas hipótesis no están claramente enunciadas en los MCP y aún menos la manera de contrastar su cumplimiento. Ejemplo de ello son la aleatoriedad y normalidad que se debe suponer en los datos sobre los que se aplican los MCP. En la mayoría de las veces

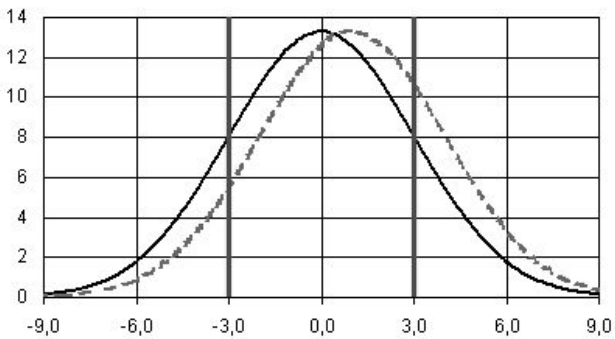
estas hipótesis se cumplirán, pero son justamente los casos en los que no se cumplen aquellos que nos interesa detectar en orden a analizar las causas. Se entiende que el coste de realizar este tipo de contrastes es realmente bajo con las herramientas informáticas disponibles en la actualidad, por lo que, desde la perspectiva de un organismo cartográfico no se debería despreciar una oportunidad de conocer y mejorar los procesos.

- *Precisión de los trabajos de muestreo*: para la realización de los controles posicionales se recurre a una fuente de mayor exactitud, que en la mayoría de los casos son trabajos de campo. Para que la estimación que se deriva del proceso de control sea fiable, es necesario que el método de control tenga una precisión significativamente mayor que el método de levantamiento de la BDG a controlar. La cuestión es qué precisión se requiere en los trabajos de control respecto a la que poseen los elementos que se controlan. Un simple análisis estadístico nos indica que hacen falta métodos de control que sean, al menos, tres veces más precisos que los que se van a controlar (Merchant 1983). La justificación de esta circunstancia radica en cómo afecta la presencia de pequeños sesgos a la probabilidad. La Figura 7 presenta el ejemplo de una población distribuida como $N(\mu=0,\sigma=3)$ (curvas de línea continua) frente a dos muestreos que se realizan (curvas de líneas a trazos): el primero con una precisión equivalente a la de la población ($\sigma' \approx \sigma$) y, el segundo, a tres veces superior a la de aquella ($\sigma'' \approx \sigma/3$). En ambos casos se considera la presencia de un sesgo equivalente a un tercio de la desviación ($1/3\sigma$). Para el primero de los casos la proporción de población del muestreo comprendida entre $\pm 1\sigma$ de la población es el 65.36%; mientras que para el segundo esta proporción alcanza el 97.72%. Se entiende pues la conveniencia y necesidad de fuentes de mayor precisión pues en caso contrario se pueden obtener estimaciones sesgadas.

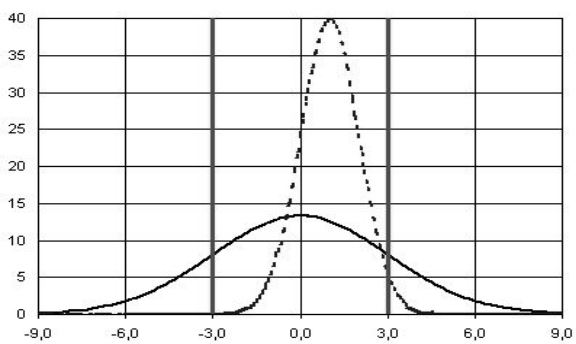
Con relación a este asunto la mayoría de los MCP sólo hace referencia al uso de una fuente de mayor exactitud sin llegar a indicar la cuantificación de esa circunstancia. En otros documentos sí se hace referencia a precisiones concretas, por lo general tres veces la precisión de los trabajos bajo control. En uno de los casos, se indica que esta precisión debe ser cinco veces mayor.

- *Estimación del nivel de incertidumbre*: según lo avanzado en el apartado 2 "La componente posicional", básicamente existen dos opciones en la estimación del nivel de incertidumbre posicional de una BDG, que son:
- *Error cuadrático medio*: la presencia de la incertidumbre se resume bajo este único índice
- *Media y desviación*: en este caso, el comportamiento de la incertidumbre se desdobla en: a) una componente de medida central que cuantifica en desplaza-

miento medio (la media) y b) una medida de dispersión (la desviación, también denominada desviación estándar o error estándar). Esta segunda opción da más información que la anterior al emplear dos índices. Esto es un aspecto de gran importancia para el caso de evaluar la interoperabilidad, dado que los sesgos se pueden corregir con transformaciones, siendo las desviaciones (variabilidad) un aspecto más difícil de tratar.



a)



b)

Figura 7. Ejemplo de cómo afecta un sesgo de 1/3σ a la proporción de población de un muestreo (línea de trazos) comprendida en ± 1σ de la distribución de la población (línea continua) cuando los muestreos poseen precisiones del mismo orden que la población (a) o tres veces superiores a aquella (b).

Las dos alternativas sirven para lo mismo y permiten describir adecuadamente el comportamiento de la incertidumbre posicional. Según lo dicho, se podría pensar que usar uno (el *RMSE*) o dos índices (μ y σ) es sólo cuestión de economía y que, por lo tanto, es más interesante usar el primero. No obstante, los métodos de control más depurados prefieren el uso de la segunda opción dado que distingue perfectamente entre dos posibles causas que pueden afectar al no cumplimiento del están-

dar, es decir, esta opción da más información y permite detectar si hay que buscar una causa asignable a los sesgos o al incremento de la variabilidad.

- *Sesgos*: desde un punto de vista práctico, los sesgos son especialmente importantes en aquellas situaciones en las que el error absoluto en posición es más crítico que el relativo. La presencia de sistematismos en una estimación supone un comportamiento no deseable y que puede ser asignable a algunos procesos concretos. En algunos MCP (p.e. NMAS) este comportamiento no es detectable y no se indica nada. El NSSDA tampoco permite detectar esta circunstancia; sin embargo, la propia norma indica que, de forma previa a su aplicación, deberán haberse eliminado los sesgos. En el caso del EMAS se formula un contraste de hipótesis específico para detectar la presencia de estos. Lo que no queda claro en ningún caso es el tratamiento específico del sesgo, es decir, si las referencias a la eliminación se refieren a las causas del sesgo o a un simple tratamiento analítico para eliminarlo. Este aspecto es realmente importante para el caso del EMAS, pues es bien distinto considerar los contrastes que realiza sobre el sesgo como análisis previo o como parte del propio estándar. En otros casos, como STANAG, la formulación estadística que realiza sí permite que éstos entren de forma explícita en el análisis y determinación de la incertidumbre. Aunque no haya en ninguna documentación normativa que presente la alternativa técnica para el tratamiento de los sistematismos, una documentación clara y práctica en cuanto a este tema es el trabajo de Galo y Camargo (1994).
- *Valores atípicos*: los valores atípicos (*outliers*) de una muestra, son aquellos excesivamente grandes o pequeños tal que, tras su comprobación, no pueden considerarse como equivocaciones o errores groseros del proceso. Por lo anterior, aunque tengan poca probabilidad de ocurrencia, estos valores deben considerarse pertenecientes a la función de distribución del fenómeno o característica, pero su inclusión en el análisis condiciona extremadamente los resultados que se derivan de la estadística tradicional que se aplica. Frente a esta circunstancia, común en los controles posicionales, los MCP no dan ninguna indicación al respecto. Aquí la situación es interesante: por un lado la inclusión en los cálculos estadísticos afectaría mucho a los valores estimados y, por otro, la eliminación de los mismos es como cerrar los ojos frente a una realidad que nos incomoda. Por ello la solución común suele consistir en un cuidadoso proceso de eliminación, para no tomarlos en cuenta en el análisis numérico, junto con su inclusión en los informes finales dando aviso de esta circunstancia. Ejemplos de este hacer, y que pueden servir de guía para el tratamiento de estos casos, pueden encontrarse en alguna información complementaria como MPLMIC (1999) y ASPRS (2001). Existen propuestas más refinadas, como la de Francia (2003a, b), en las que el modelo estadístico base considera cierta probabilidad de existencia

de estos valores, por lo que su presencia numérica queda condicionada por el tamaño de la muestra. Igualmente, se puede aplicar algún método propio de la estadística robusta para ponderar estos valores extremos e incorporarlos así en el análisis estadístico. Existen algunos ejemplos de este tipo de aplicaciones (Domingo 2000, Atkinson y col. 2005, 2007), pero siempre fuera de las propuestas de los MCP recogidas en documentos normativos. Nero (2005) sugiere que el productor realice una acción correctiva específica para, tras la corrección, poder incluir el elemento corregido en la muestra y rehacer los cálculos estadísticos.

- *Información sobre el método*: en general los MCP se formulan de una manera muy simple, a la que no se acompaña ninguna información sobre aspectos que puedan ser relevantes en el uso y conocimiento de cómo se comporta cada metodología concreta. Valgan como ejemplo los dos casos siguientes:
  - *Fiabilidad del método*: casi la totalidad de los MCP se formulan sin dar información alguna sobre la fiabilidad del método estadístico que se propone como base. En el caso de STANAG es cuestión a parte, en este documento se repite varias veces que para tener acotada la fiabilidad de la estimación se requiere una muestra con un tamaño de 167 elementos y que, en caso de no ser disponible, deben aplicarse otras formulaciones que la propia norma incluye. Sin embargo, en otras metodologías como el NSSDA, para la que se ha demostrado que posee gran variabilidad (Ariza y Atkinson 2005a) en tamaños de muestra pequeños como el recomendado por la propia norma, no se indica nada sobre tamaños y fiabilidad esperable para cada uno de ellos.
  - *Peculiaridades del método*: el EMAS se formula para el caso planimétrico como una batería de cuatro pruebas (contrastes de hipótesis) que han de superarse de manera conjunta para considerar que la BDG satisface el estándar. La aplicación de cuatro pruebas estadísticas, cada una de ellas con un nivel de significación α dado, hace que si se consideran todas ellas independientes, el nivel de significación global sea 4α. Esto supone que el error de tipo I se incremente sobremanera (Atkinson 2005), por lo que habría que aplicar la corrección de Bonferroni.

Por todo lo anterior se considera necesario que las normas se acompañen, ya sea en sus anejos, en forma de guías explicativas, o cualquier otra opción posible, de información de valor sobre el propio método, hipótesis, limitaciones, aspectos críticos, fiabilidad, conveniencia, etc.

Recomendaciones y ejemplos de aplicación del proceso normado

La vocación fundamental de toda norma es su utilización. Para ello es indispensable su divulgación y conocimiento por parte de los agentes del sector y del mayor número de posibles interesados. Dado que la aplicación práctica y rigurosa de una

norma puede ser difícil a partir del propio texto que conforma la norma, se considera que éstas deben acompañarse de anexos u otro tipo de documentos en los que se explique con detalle su filosofía y se incluyan ejemplos de aplicación. Se dispone de esta manera, de una guía con las recomendaciones básicas pertinentes para aplicar adecuadamente el método propuesto en la propia norma. Esto ha sido bien entendido por ISO en el desarrollo de la familia 19100 en la que, junto a cada norma, se suelen incluir un conjunto de anexos que resultan muy esclarecedores y formativos de cómo llevar a cabo la aplicación de las mismas.

La situación descrita en el párrafo anterior es cada vez más común. Así, se puede encontrar que para los estándares más antiguos (NMAS, IPGH) no existe ninguna guía de uso, mientras que para otros más recientes se incluye un anexo con ejemplos de cálculo (ASPRS 1990), o como para el NSSDA, para el que, aunque fuera de la propia norma, existe un manual explicativo: *Positional Accuracy Handbook* MPLMIC (1999). En algún caso se incluyen los programas o listados informáticos para aplicar la metodología (STANAG) o están disponibles en la red como es para el caso del NSSDA.

Exactitud de la posición: absoluta o relativa

Hasta hace poco la exactitud relativa ha sido más importante que la absoluta (Rönsdorf 2004). Debido a las limitaciones en las técnicas de levantamiento de cada momento, se puede asumir que la exactitud absoluta de la cartografía tradicional es siempre peor que la exactitud relativa. No obstante, con la difusión del uso del GPS, actualmente la perspectiva absoluta ha cobrado una gran importancia. Todos los MCP analizados se basan en el control de la exactitud absoluta, y casi ninguno de ellos hace referencia expresa a un análisis desde una perspectiva relativa. Indudablemente la perspectiva absoluta es primordial desde el punto de vista de una organización cartográfica puesto que viene a significar cómo se encaja una BDG concreta en su marco posicional. No obstante, para algunas aplicaciones de ingeniería interesa más el comportamiento relativo entre elementos, aspecto que queda convenientemente reflejado mediante una estimación de la exactitud posicional relativa. Casi ninguna norma atiende a esta última circunstancia dejando por ello sin cubrir un campo muy importante de aplicaciones.

Se considera que, dada la capacidad actual de los medios de cálculo informáticos, una vez que se dispone de una muestra de puntos de control para el caso absoluto no resulta nada problemático el derivar de ellos una estimación de la componente relativa. Además, disponer de manera conjunta de las estimaciones absoluta y relativa, lejos de ser redundante permitiría, en algún caso, detectar la existencia de algún tipo de problema relativo a la aplicación del marco posicional.

Lo anterior queda en evidencia en algunas normas más modernas como STANAG 2215 e ICSM (2004), donde se propone el uso de ambas medidas. De

igual manera ocurre con la norma ISO 19138 que, sin ser una norma dedicada al control posicional, incluye algunas medidas que pueden ser de aplicación en la evaluación de la exactitud posicional relativa. Se entiende por ello que en el futuro inmediato se abre paso a un mayor uso de esta perspectiva.

Elementos de control

Todos los MCP son metodologías basadas en el uso de puntos como elementos de control. Prácticamente en todos los MCP se incluye la expresión "elementos bien definidos" o "elementos fácilmente identificables" para referirse a ellos. Esto significa utilizar un conjunto de puntos homólogos en la BDG bajo control y en la fuente o campo, que no ofrezcan dudas en su identificación, y que presenten una geometría que evidencie la posición de forma clara (p.e. esquina o cruce). Son bastantes tipologías de elementos las que permiten una identificación inequívoca pero, sin embargo, pueden presentar notables diferencias desde el punto de vista de su comportamiento posicional. Las tipologías utilizadas deberían ser un fiel reflejo de todos los elementos existentes en la cartografía, y no sólo de un subconjunto limitado y muy específico que de lugar a estimaciones optimistas. En general, la explotación de una BDG suele realizarse de toda ella y no de una clase concreta de elementos. En esta línea se podría decir que los elementos de control deberían conformarse como una muestra estratificada de lo que existe en la BDG, pues en caso de usar unas tipologías concretas, las estimaciones sólo serían válidas para las mismas. Algunas especificaciones de BDG (p.e. NLSF 1995) proponen niveles distintos de calidad para cada tipología de elemento, aspecto que afecta a la componente posicional y justifica aún más lo comentado en párrafos anteriores. Estudios como el de Lucas y Rodríguez (2004) presentan ya estimaciones de incertidumbre distintas para un conjunto de elementos tanto puntuales como lineales. El control siempre debe ser independiente y así se especifica en algunos casos: la muestra debe ser independiente de todo elemento usado en ajustes de bloques, apoyos fotogramétricos, etc. Otro aspecto que influye, tanto sobre los posibles elementos de control como en el uso posicional de cualquier otro elemento de una BDG, son los procesos de generalización (y simbolización), que suelen introducir desplazamientos en el elemento cartográfico. En esta línea debe dejarse claro, y así se hace en algunas especificaciones de productos la jerarquía aplicada en los procesos de generalización por cuanto ésta afecta a los posibles desplazamientos.

Cuando se controlan MDE no existen puntos fácilmente identificables (bien definidos) dado que sería mucha suerte que los mismos estuvieran situados sobre los propios puntos de la malla. En este caso, siendo válida toda la base estadística que soporta a los MCP, se debe especificar cómo realizar estos controles atendiendo a esta particularidad, la cual lleva, por lo general a la necesidad de interpolar. Sin embargo, la mayor parte de los MCP no hacen mención específica a esta tipología

de productos. En algunos otros casos (USACE 2002; FEMA 2003) se considera el uso de perfiles en el control de la altimetría. Por ejemplo, para el primero de ellos: un perfil por hoja, ó tres por modelo fotogramétrico, de longitud superior o igual a 12.7 cm (sobre el mapa) y que corte un mínimo de 10 curvas de nivel. En el caso de los MDE también se apuntan el uso del chequeo visual (USGS 1997; Rodríguez y Lumbreras 1997) como método de control de este tipo de productos.

Informe: expresión del resultado de la evaluación

La expresión del resultado final de las evaluaciones realizadas por los MCP es diversa. Básicamente existen las siguientes alternativas:

- Pasó/Falló: Indican si la BDG bajo control ha superado o no el control. Un ejemplo es el NMAS: "Este mapa cumple con el estándar nacional de exactitud cartográfica".
- Clasificación: Indican el nivel de exactitud alcanzado mediante la asignación de una categoría o clase al producto. Un ejemplo de esta opción es la propuesta por el método ASPRS: "Esta mapa ha sido comprobado y cumple con la Clase 1 de exactitud de la norma ASPRS". En algunos casos, como en el ASPRS o en GC (1996) estas categorías están ya predeterminadas, pero también pueden considerarse para cualquier valor que cumpla unos criterios determinados (Francia 2003a, b).
- Valor: Se da un valor de incertidumbre que caracteriza a la BDG y se deja en manos del usuario la consideración de si es adecuado o no a su propósito. El NSSDA sigue esta línea: "Comprobada una exactitud de ____ metros al 95% de nivel de confianza".

La manera más ventajosa de proceder, después de analizar las cosas, es una forma híbrida, dando una clasificación y un valor numérico. La clasificación supone el uso de un conjunto de clases que deben estar aprobadas en una norma y, por tanto, aclaran mucho la situación en el sector, pero con la suficiente flexibilidad si el conjunto de clases se ha elegido de manera adecuada. La falta de clases es una de las críticas que han vertido autores como Tilley (2002) sobre el NSSDA y que está propiciando la revisión de dicha norma (FGDC 2003). Por otra parte, aunque aparentemente redundante con lo anterior, el uso conjunto del valor, permite no perder una información que puede ser de interés a algunos usuarios más especializados. Un aspecto que se considera especialmente crítico de la manera en que se realiza la expresión de los resultados de las evaluaciones, es la ausencia de cualquier tipo de expresión gráfica de la variabilidad espacial detectada en el comportamiento de las incertidumbres. Esta expresión gráfica debería incluir los elementos de control en sus posiciones, los vectores de error e incluso, si se da el caso y se estima proce-

dente, una división del espacio en sectores de comportamiento homogéneo (IHO 1998; DoD 1990).

Situación en Hispanoamérica

En esta sección se va a realizar una descripción resumida de la situación actual en algunos países hispanoamericanos a partir de las normas y documentos similares publicados. La revisión no es exhaustiva, no ya por que ese no fuera nuestro interés, si no por la imposibilidad de acceder a la documentación técnica necesaria de todos los países. De cualquier forma, se considera que la visión que se obtiene es bastante representativa. A continuación se realiza esta exposición siguiendo el orden alfabético de los países.

a) *Argentina*. La Norma Cartográfica de la Provincia de Santa Fe de Argentina (UNL-SCIT 2004), se basa en la norma de Brasil (1984), pero es algo más rigurosa. Toma como índice el error lineal con un nivel de confianza del 90%. La Tabla 8 presenta un resumen con los valores propuestos como requerimientos de exactitud posicional para las distintas categorías consideradas. Adicionalmente, este documento hace algún comentario de los proyectos de ISO TC/211.

Tabla 8
Resumen de los requerimientos de la Norma Cartográfica de la Provincia de Santa Fe de Argentina

	Planimetría		*Altimetría*	
Clase	$LMAS_{90}$	σ	$LMAS_{90}$	σ
A	0.3 mm	0.2 mm	1/2 intervalo de la equidistancia de las curvas de nivel	1/3 intervalo de la equidistancia de las curvas de nivel
B	0.5 mm	0.3 mm	3/5 intervalo de la equidistancia de las curva de nivel	2/5 intervalo de la equidistancia de las curvas de nivel
C	0.8 mm	0.5 mm	3/4 intervalo de la equidistancia de las curvas de nivel	1/2 intervalo de la equidistancia de las curvas de nivel

Fuente: Adaptado de UNL-SCIT (2004).

b) *Brasil.* En este país hay un decreto ley (Brasil 1984) que establece las clases de exactitud. Este decreto se basa en los umbrales de la norma NMAS, y la Tabla 9 presenta un resumen.

Hoy está en curso una iniciativa del Grupo de Estudios de Control de Calidad en Cartografia del Departamento de Transportes de la Escuela Politécnica de la Universidad de Sao Paulo para la actualización de esta norma.

Tabla 9
Resumen de los parámetros establecidos por la norma de control de calidad geométrica de documentos cartográficos (Decreto Federal núm. 89,817, de 20/06/1984)

	Planimetría		*Altimetría*	
Clase	$LMAS_{90}$	σ	$LMAS_{90}$	σ
A	0.5 mm	0.3 mm	1/2 intervalo de la equidistancia de las curvas de nivel	1/3 intervalo de la equidistancia de las curvas de nivel
B	0.8 mm	0.5 mm	3/5 intervalo de la equidistancia de las curvas de nivel	2/5 intervalo de la equidistancia de las curvas de nivel
C	1.0 mm	0.6 mm	3/4 intervalo de la equidistancia de las curvas de nivel	1/2 intervalo de la equidistancia de las curvas de nivel

c) *Colombia.* En Colombia el responsable de la Cartografía es el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), el cual trabaja conjuntamente con otras instituciones de Colombia. En este país hay un gran interés por los aspectos normativos de la información geográfica como se deduce de las actividades del IGAC y del ICONTEC (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación).

La norma de 1994 del IGAC sobre control posicional (IGAC 1994) es muy similar a la especificación ASPRS (1990), donde se emplea el concepto del error lineal. En la Norma Técnica Colombiana sobre Información Geográfica: Conceptos Básicos de Calidad (ICONTEC 2000), no sólo se desarrollan los conceptos de las normas de la serie ISO 19100, sino también se presentan ejemplos de aplicación al control posicional. Aquí resulta curioso el valor de tolerancia (0.85 mm) relativamente alta, que se presenta en uno de sus ejemplos. En este caso se aplica la evaluación conjunta de las coordenadas planimétricas. Junto a lo anterior se especifican recomendaciones de distancias entre puntos de control de la muestra (un décimo de la diagonal). Finalmente, destaca la norma NTC5048 (ICONTEC 2002) que está muy influenciada por el estándar NSSDA y que remite a los conceptos de la guía del MPLMIC (1999). Por todo ello se puede afirmar que en Colombia existe una clara preocupación normativa y de alineamiento con los estándares internacionales.

d) *Ecuador*. La propuesta de norma más reciente en Ecuador (Ecuador 2006) que atañe a la cartografía de grandes escalas (E10k y mayores), apunta al documento del IPGH, pero los umbrales son de los más rigurosos que se han encontrado:

- Planimetría: El 90% de los puntos bien definidos no diferirá de su verdadera posición en más de 0.2 mm a la escala del mapa.

Tabla 10
Clasificación propuesta por el IPGH para las cartografías en función de su exactitud posicional, actualidad y compleción

Escala	*Clase*	*Horizontal [mm]*	*Vertical*	*Actualidad y presentación*
Mapas topográficos (incluyen los que en otras instituciones se califican también de cartográficos)				
Pequeña 1 (E ≤ E1000k)	A (bueno adecuado)	—	—	Información sobre relieve y cultural, corriente y completa para dicha escala
	B (regular, utilizable)	—	—	Información de relieve completa y cultural, anticuada
	C (malo, inadecuado)	—	—	Relieve incompleto o representado incorre-tamente
Pequeña 2 (E1000k < E ≤ E600k)	A (bueno adecuado)	1,5	Expresión adecuada de la naturaleza del terreno	Requiere revisión
	B (regular, utilizable)	5,0	Expresión no exacta de la naturaleza del terreno	Requiere revisión
	C (malo, inadecuado)	No cumple ni A ni B	No cumple ni A ni B	Informaciones sobre relieve y cultural incompletas y repre-sentadas incorrecta-mente
Grande (E≥E75k)	A1 (excelente, adecuado)	0,5	1/2 icn	* ver clasificación al final
	A2 (bueno, adecuado)	0,5	1/2 icn	Requiere revisión
y media (E75k > E ≥E600k)	B1 (bueno, utilizable)	1,0	1 icn	No requiere revisión
	B2 (regular, utilizable)	1,0	1 icn	Requiere revisión
	C1 (malo, inadecuado)	2,0	2 icn	No requiere revisión
	C2 (malo, inadecuado)	2,0	2 icn	Requiere revisión

Mapas Urbanos				
	Clase	*Horizontal [m en el terreno]*	*Vertical*	*Actualidad y presentación*
Mapas Urbanos	A1 (excelente, adecuado)	25	1/2 icn	No requiere revisión
	A2 (bueno, adecuado)	25	1/2 icn	Requiere revisión
	B1 (bueno, utilizable)	50	1 icn	No requiere revisión
	B2 (regular, utilizable)	50	1 icn	Requiere revisión
	C (malo, inadecuado)	No cumple ni A ni B	No cumple ni A ni B	Requiere revisión
Nota: icn = intervalo o equidistancia entre curvas de nivel				

Fuente: IPGH 1987, adaptada. Se puede comentar que puede ser inadecuado fijar valores absolutos (m en el terreno) para mapas urbanos, de forma independiente de la escala y de la aplicación.

Tabla 11
Características generales de los métodos de evaluación de la exactitud posicional en diversos países de Hispanoamérica

País	*Documento base*	*Norma base*	*Tamaño de la muestra*	*Distribución de la muestra*	*Estadística*	*Clasificación*	*IS0 19000*
Argentina	UNL-SCIT (2004)	Brasil (1984)	No	No	Lineal	Sí	Sí
Brasil	Brasil (1984)	—	No	No	Lineal	Sí	No
Colombia	IGAC (1994)	ASPRS (1990)	No	No	Lineal	No	No
	ICONTEC (2000)	FGDC (1998)	Sí (20)	Sí	Circular	No	Sí
	ICONTEC (2002)	FGDC (1998)	Sí (20)	Sí	Circular	No	Sí
Ecuador	Ecuador (2006)	IPGH (1987)	Sí (30)	Sí	No está claro	No	Sí
México	México (2005)	FGDC (1998)	Sí (20)	Sí	Circular	No	Sí
Uruguay	Barbato (2001, 2002)	FGDC (1998)	Sí (20)	Sí	Circular	No	Sí

- Altimetría: Las cotas del 90% de los puntos bien definidos no diferirán de las verdaderas, en función de la escala, en más de 1/10 del intervalo de las curvas de nivel. Para las curvas de nivel en terreno no cubierto por vegetación el 90% de las cotas interpoladas de esas no deberán diferir de las verdaderas en más de la mitad de la equidistancia.

  Otra sugerencia en esta norma es considerar un muestreo mínimo de 30 puntos fácilmente identificables. Además, describe la especificación de metadatos, en lo que remite a los conceptos de las normas correspondientes de la familia ISO 19100.

e) *México.* En México también hay una propuesta preliminar encaminada al diseño de las pruebas de evaluación de la exactitud posicional de productos cartográficos (México 2005). Este documento pretende ser aplicado a la escala E50k y mayores. Toma como base el método NSSDA y se apoya también en MPLMIC (1999) para incluir algún caso de estudio como ejemplo.
f) *Uruguay.* Según lo expuesto en Barbato (2001, 2002), queda claro que en este país la práctica del control de la calidad posicional también se basa en la norma NSSDA del FGDC (1998).
g) *IPGH.* Finalmente, debe destacarse que las directrices del IPGH (IPGH 1987) siguen siendo aplicadas en algunos países, por lo que conviene recordarlas. En esta norma establece unas especificaciones generales, sobre los mapas topográficos y urbanos, tales que permiten considerar diversas categorías que expresan la adecuación y utilidad en función de la exactitud posicional, actualización y compleción del contenido cartográfico. Dicha clasificación contempla que la exactitud horizontal debe considerarse al 90% de confianza para las características bien definidas y, para el caso vertical, el 90% de todas las curvas de nivel y elevaciones interpoladas. La Tabla 10, adaptada del IPGH (1987), presenta un resumen de los requerimientos de esta norma, donde se relacionan los umbrales en planimetría y altimetría de acuerdo con la escala y las clases.

En la Tabla 11 se presenta un resumen general de la situación descrita en cuanto al tema de la exactitud posicional, de acuerdo con el país, el documento que se aplica, la norma base, el tamaño de muestra, la existencia de clasificación, el tipo de estadística aplicada (lineal o circular), así como la existencia o no de conceptos propios de la familia de normas ISO 19100.

De manera complementaria la Tabla 12 presenta el valor numérico de las exigencias de exactitud posicional y los niveles de confianza considerados. Como se puede observar, existe variabilidad de tolerancias y niveles de confianza o fiabilidad, tanto en términos de la componente planimétrica como de la altimétrica.

Tabla 12
Exigencias en exactitud posicional y nivel de confianza en diversos países de Hispanoamérica

			Planimetría		*Altimetría*	
País	*Norma*	*Norma base*	*Tolerancia [mm]*	*Nivel de confianza*	*Tolerancia*	*Nivel de confianza*
Argentina	UNL-SCIT (2004)	ASPRS (1990)	0.3 M	90%	1/2 icn	90%
Brasil	Brasil (1984)	—	0.5 M	90%	1/2 icn	90%
Colombia	IGAC (1994)	ASPRS (1990)	0.5 M	90%	1/2 icn ó 0.5 E	90%
	ICONTEC (2000)	FGDC (1998)	0.85 M	95%	—	—
Ecuador	Ecuador (2006)	IPGH (1987)	0.2 M	90%	1/2 icn	90%
México	México (2005)	FGDC (1998)	0.35 E	95%	2/5 icn	95%
Uruguay	Barbato (2001, 2002)	FGDC (1998)	0.25 E	95%	—	—

Notas: 1) icn= intervalo o equidistancia entre curvas de nivel, 2) M= Módulo de la escala (denominador de la fracción).

Según todo lo anterior, dado que abundan iniciativas recientes, se puede considerar que en Hispanoamérica existe un interés real sobre la evaluación de la componente posicional. La mayoría de los países tienen como base de referencia las especificaciones del IPGH y en los procesos de evaluación siguen métodos procedentes de Estados Unidos. En algunos casos estas normas se aplican de manera directa pero en otros casos pueden sufrir cierta adaptación buscando una mejor adecuación a la realidad geográfica y económica de cada cual. De modo general, se aprecia un claro interés por mantenerse actualizados y mejorar los procesos, lo que lleva a adoptar los cambios que van surgiendo fuera de sus fronteras.

La Familia ISO 19100 y la Componente Posicional

Normalización y calidad van siempre de la mano y por ello es lógico que cuando se desarrolla un grupo de normas específicas para un sector, como es el caso de la familia ISO 19100 para la Información Geográfica (IG), se incluya dentro de las mismas algún documento relativo a la calidad. Conviene advertir que ninguna de estas normas trata de manera específica la componente posicional, pues el carácter de las mismas es generalista. Sin embargo, la componente posicional se ve afectada por todas ellas, y esto es lo que se pretende mostrar en este apartado.

En el caso de la familia ISO 19100 las normas que abordan la temática de la calidad de manera específica y que, por ende, afectan a su aspecto posicional, son:

- ISO 19113: Información Geográfica, Principios de la calidad
- ISO 19114: Información Geográfica, Procedimientos de evaluación de la calidad
- ISO 19138: Información Geográfica, Medidas de la calidad

Estos tres documentos presentan un objetivo común: normalizar o estandarizar los aspectos relativos a la identificación, evaluación y expresión de la calidad de la IG en aras a dar transparencia y posibilidad de comparación, evitar informaciones ambiguas y facilitar la elección y uso adecuado de los productos. Es decir, se trata de unas normas que pretenden facilitar el entendimiento inequívoco entre productores y usuarios de este tipo de información, facilitando el mercado y el uso eficiente de la IG. En esta línea, el aspecto posicional es un elemento primordial de la información geográfica y por ello, pese al carácter generalista de las normas, aún sin recibir un trato especial o significativamente distinto del que reciben otras, la componente posicional está presente en las mismas.

Informar sobre la calidad supone:

- Identificar los factores relevantes: sobre qué informar
- Evaluar con métodos adecuados: cómo evaluar cada factor
- Cuantificar adecuadamente y de forma comparable: qué medidas usar
- Describir adecuadamente todos los aspectos: estructura, reglas, etc.

Lo anterior permite al productor establecer unas especificaciones claras para sus productos e, igualmente, validarlos frente a esas especificaciones. De manera similar, permite al usuario disponer de información relevante sobre la calidad de unos datos geográficos y ello significa poder seleccionar los productos y servicios según sus necesidades. Los cuatro aspectos anteriores se pueden llevar al ámbito posicional y ello será el centro de este apartado.

Estas tres normas se conforman como una tríada consistente pero también presentan una estrecha relación con otras normas ISO de su propia familia, por ejem-

plo, con ISO 19115 dedicada a los metadatos, y con ISO 19131 dedicada a las especificaciones de productos. Pero la relación no se limita a su propia familia de normas; también existen y son importantes las que se establecen hacia otras normas, como son ISO 2859 e ISO 3951. De manera gráfica, los procesos en los que intervienen y las interrelaciones se presentan en la Figura 8, que se pasa a explicar.

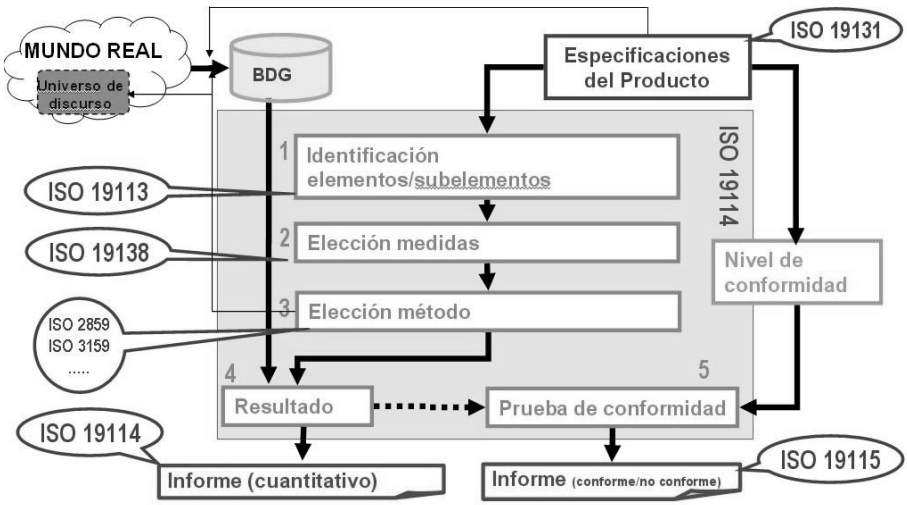


Figura 8. Relación entre los procesos y normas relativas a la calidad de la Información Geográfica.

La idea básica de la calidad es la "medida", lo cual significa comparación. La obtención de esas medidas se realiza en un proceso denominado evaluación. De esta forma, en el centro de la figura hay una área que se refiere a la evaluación y que coincide con el alcance de ISO 19114. Por otra parte, hace falta saber qué se ha de evaluar y por ello es necesario atender a las especificaciones del producto y a su materialización práctica en una BDG.

Las especificaciones de un producto (recogidas en la familia ISO 19100 por la propuesta de la ISO 19131), deben establecer una clara definición del universo del discurso y sus características (mundo real), para poder derivar un producto concreto (BDG en la Figura) a través de los procesos necesarios y pertinentes en cada caso (p.e. restitución, edición, etc.).

Las especificaciones han de indicar los aspectos relevantes que deben evaluarse para comprobar que se han alcanzado los niveles de calidad preestablecidos. ISO 19113 es la base para la conceptualización y definición de esos aspectos. Para la materialización de la evaluación se necesita establecer las medidas y cómo desarrollar el propio proceso de medición. Estos pasos se apoyan en las normas ISO 19138

(medidas) e ISO 2859 y 3951 (métodos de muestreo y aceptación). El resultado de aplicar estos procesos a un conjunto de datos concreto bajo análisis por métodos directos, ya sean externos (mundo real) o internos (los propios datos de la BDG), permite la obtención de unos resultados. Sobre estos resultados se puede informar por dos vías distintas y complementarias: un informe cuantitativo, a través de los mecanismos de ISO 19114, o por un informe de conformidad, al enfrentar el resultado de la evaluación a los niveles de conformidad previamente establecidos. En este último caso se utilizan los mecanismos propuestos por ISO 19115.

De esta forma, la Figura 8 ha presentado el marco general en el que se desenvuelven los aspectos de la calidad en el caso de la IG. En este apartado se va a realizar una presentación breve e independiente de las normas ISO 19113, 19114 y 19138 en lo relacionado con la componente posicional.

ISO 19113

El objetivo de esta norma es establecer los principios para describir la calidad de una BDG e informar sobre la misma. Tiene una gran importancia para los productores y usuarios. Establece que la descripción de la calidad de una BDG puede realizarse mediante información no cuantitativa de la calidad: son los denominados Elementos generales de la calidad (*Data quality overview elements*), e información cuantitativa: son los Elementos de la calidad (*Data quality elements*).

Los elementos no cuantitativos ó generales son:

- *Propósito*. Indica las razones de la creación de la BDG e informa sobre el uso al que se pretende destinar. Por ejemplo: la Carta Digital del Mundo (Digital Chart of the World) es una base de datos global, digital, y de propósito general diseñada para soportar aplicaciones en los Sistemas de Información Geográfica (SIG)".[2]
- *Uso*. Es una descripción de las aplicaciones para las cuales el conjunto de datos geográficos se ha usado. Ejemplo de un uso: "Se ha preparado una serie mapas digitales (...) se facilitará la exploración de las aguas subterráneas, la planificación agronómica y la logística de los proyectos de ayuda".[3]
- *Linaje.* Es un descripción de la historia del un conjunto de datos geográficos, atendiendo fundamentalmente a las fuentes y pasos del proceso de producción. Por ejemplo*:* "El contenido de la Carta Digital del Mundo está basado principalmente en los contenidos de la serie de Navegación Operacional a E1000K (para todas las regiones exceptuando la región antártica) de la Defense Mapping Agency (DMA, ahora la National Imagery and Mapping Agency, NIMA). Las

[2] En MIL-D-89009, apartado 3.4.1 descripción del producto.

[3] En User's Manual for Digital Chart or the World 1 Quadrangles, Geohidrology Section, Kansas Geological Survey. Este uso ha sido sacado de Internet.

> Cartas de Navegación Operacional utilizadas para crear el producto fueron generadas por la DMA entre los años 1974 y 1991. Se pueden incluir pasos del proceso, por ejemplo: "se generaron positivos sobre una base estable a partir de los negativos de reproducción originales (hasta 35 negativos por hoja de la Carta de Navegación Operacional) y se digitalizaron mediante un escaneado y conversión raster-vector o por medio de digitalización manual en formato vectorial. Los datos vectoriales fueron etiquetados (...)

Estos tres elementos generales pueden ser útiles cuando se examina la componente posicional ya que el propósito, el uso y el linaje indican indirectamente una época, un proceso, la calidad y precisión de la fuente, etc., que son un indicativo de lo que se puede esperar en términos posicionales. También permiten matizar e interpretar unos valores concretos para la aplicación específica.

Por otra parte, los cuantitativos o Elementos de la calidad de una BDG son:

- *Compleción*, que describe los errores de omisión/comisión en los elementos, atributos y relaciones;
- *Consistencia lógica*, que indica la adherencia a reglas lógicas del modelo, de la estructura de datos, de los atributos y de las relaciones;
- *Exactitud posicional*, que es la alcanzada en la componente posicional de los datos;
- *Exactitud temporal*, que se refiere a la componente temporal de los datos;
- *Exactitud temática*, que se refiere a los atributos cuantitativos o no cuantitativos y de la corrección de las clasificaciones de los elementos y de sus relaciones.

Para cada uno de los elementos anteriores se establecen unos subelementos. Para el caso posicional los subelementos propuestos son: exactitud externa o absoluta, exactitud interna o relativa y exactitud para datos en malla. Es llamativa la inclusión ya en la norma del subelemento específico para los datos en malla, resaltando la importancia de este tipo de datos, que se aplican, por ejemplo, a los MDT.

Cada uno de estos subelementos se registra con un paquete de descriptores obligatorios que informan sobre las medidas: ámbito, medida, procedimiento de evaluación, resultado, tipo del valor, unidad del valor y fecha.

La norma es flexible y permite definir nuevos elementos y subelementos según las necesidades. Esas y muchas otras informaciones sobre la calidad vienen en forma de metadatos.

ISO 19114

El objetivo de esta norma es establecer un marco para la evaluación de la calidad y para informar sobre esa evaluación. El productor debe seguir unos procesos de

evaluación que han de ser explicados. Junto con las otras normas del grupo, esta información ayuda al usuario a decidir sobre el interés del uso de una BDG o conjunto de datos.

Establece un proceso normativo para los procedimientos de evaluación de la calidad, mediante la obtención de una indicación de la calidad de un producto. Esta indicación podrá ser cuantitativa o no. La Tabla 13 especifica los pasos del proceso propuestos en esta norma internacional. Esa norma asegura también una base estadística adecuada al proceso y por ello dedica algunos de sus epígrafes a los muestreos.

Tabla 13
Pasos del proceso de evaluación de la calidad según ISO 19114

Paso del proceso	*Acción*	*Descripción*
1	Identificar un elemento, subelemento y ámbito aplicables	De acuerdo con los requisitos de la Norma ISO 19113, se deben identificar el elemento, subelemento y ámbito de la calidad a ser comprobados. Esto se repite para todas las diferentes pruebas que sean requeridas por las especificaciones del producto o los requisitos de usuario
2	Identificar una medida de la calidad	Para cada prueba se debe identificar: una medida de la calidad, el tipo de valor y, si es de aplicación, la unidad de medida. En un anexo se presentan ejemplos
3	Seleccionar y aplicar un método de evaluación de la calidad	Se debe seleccionar un método para la evaluación de la calidad para cada medida que se haya identificado
4	Determinar el resultado de la calidad de los datos	El resultado de aplicar el método es: un resultado cuantitativo, un valor o conjunto de valores, una unidad de medida y la fecha de la prueba
5	Determinar la conformidad	Siempre que se haya especificado un nivel de conformidad de la calidad, en las especificaciones del producto o en los requisitos de usuario, el resultado de la calidad se compara con aquel para determinar la conformidad

Esta norma es de gran interés para la componente posicional, pudiéndose aplicar los métodos directos de evaluación, que se basan en la comparación o medida y se dividen en internos (datos de la propia BDG) y externos (fuentes externas).

Los resultados cuantitativos de la evaluación de la calidad deben reportarse como metadatos de acuerdo con la norma ISO 19115. Esta norma incluye un informe adicional de evaluación de la calidad que debe usarse en los siguientes casos:

a) Cuando los resultados de la evaluación de la calidad se informan en los metadatos usando el tipo "pasa/falla"; b) Cuando se generan resultados de evaluación del tipo agregado; c) Cuando se informa sobre la calidad de la calidad.

Esta norma internacional se completa con un conjunto de anexos de gran valor. Entre ellos caben destacar los D y E dedicados a exponer ejemplos de evaluaciones de la calidad de los datos y una guía para la aplicación de técnicas de muestreo a las BDG.

ISO 19138

La norma ISO 19138 se propone normalizar las medidas de la calidad de tal forma que puedan ser fácilmente interpretadas por las partes (productores y usuarios). Este aspecto tan elemental es de sumo interés incluso para el caso de la bien conocida componente posicional, donde bajo una mismo concepto, por ejemplo raíz del error medio cuadrático planimétrico, pueden coexistir distintas materializaciones prácticas lo que conlleva la obtención y expresión de valores que pueden llegar a ser significativamente distintos y crear por ello confusión y falsas expectativas.

Los componentes técnicos considerados en este caso son: Nombre, Alias (otro nombre), Elemento (y subelementos) de la calidad del dato, Medida básica, Definición, Descripción, Parámetros, Tipo de valor, Estructura, Fuente, Ejemplo, Identificador. No todos estos componentes técnicos son obligatorios.

Un aspecto importante son las "medidas básicas" de la calidad que se relacionan con dos formas de trabajo muy propias del control de calidad como son:

- *Conteo de errores* (por ejemplo el número de casos que han superado una tolerancia dada) y
- *Estimación de la incertidumbre* que se expresa mediante medidas estadísticas de incertidumbre. La Tabla 14 recoge las medidas básicas de la incertidumbre que propone la norma ISO 19138.

Estas medidas son directamente aplicables al caso de la componente posicional, y a los tratamientos que se pueden realizar sobre la misma (1D, 2D y 3D); de hecho algunas de ellas ya se avanzaron en el apartado 2 "La componente posicional".

Al igual que en los casos anteriores, esta norma se completa con anexos de gran valor. Uno de ellos lista un total de 73 medidas de diversa índole (conteo, incertidumbre) aplicadas a los aspectos posicional, temático, temporal, coherencia, etc. Dentro de estas medidas propuestas se incluyen 24 relativas a la componente posicional. A modo de ejemplo, en la Tabla 15 presenta dos casos, identificados como 29 y 52, en los que se desarrolla la estructura de componentes técnicos ya avanzada.

Tabla 14
Medidas de Incertidumbre (1D, 2D y 3D)

Dimensión	*Probabilidad*	*Medida básica*	*Nombre*	*Tipo del valor*
1D	50.0%	$0.6745\ \sigma_z$	LE50(r)	Medida
1D	68.3%	$1.0\ \sigma_z$	LE68.3(r)	Medida
1D	90.0%	$1.645\ \sigma_z$	LE90(r)	Medida
1D	95.0%	$1.960\ \sigma_z$	LE95(r)	Medida
1D	99.0%	$2.576\ \sigma_z$	LE99(r)	Medida
1D	99.8%	$3.0\ \sigma_z$	LE99.8(r)	Medida
2D	39.4%	$\frac{1}{\sqrt{2}}\sqrt{\sigma_x^2+\sigma_y^2}$	CE39.4	Medida
2D	50.0%	$\frac{1.1774}{\sqrt{2}}\sqrt{\sigma_x^2+\sigma_y^2}$	CE50.0	Medida
2D	90.0%	$\frac{2.146}{\sqrt{2}}\sqrt{\sigma_x^2+\sigma_y^2}$	CE90.0	Medida
2D	95.0%	$\frac{2.4477}{\sqrt{2}}\sqrt{\sigma_x^2+\sigma_y^2}$	CE95.0	Medida
2D	99.8%	$\frac{3.5}{\sqrt{2}}\sqrt{\sigma_x^2+\sigma_y^2}$	CE99.8	Medida
3D	50.0%	$0.51(\sigma_x+\sigma_y+\sigma_z)$	Error probable esférico (SEP)	Medida
3D	61.0%	$\sqrt{\sigma_x^2+\sigma_y^2+\sigma_z^2}$	Error radial medio esférico (MRSE)	Medida
3D	90.0%	$0.833(\sigma_x+\sigma_y+\sigma_z)$	Estándar de exactitud esférica al 90%	Medida
3D	99.0%	$1.122(\sigma_x+\sigma_y+\sigma_z)$	Estándar de exactitud esférica al 99%	Medida

Tabla 15
Ejemplo de dos medidas propuestas en ISO 19138 para la exactitud posicional

Línea	*Componente*	*Descripción 1*	*Descripción 2*
1	Nombre	Valor medio de la incertidumbre posicional excluyendo *outliers* (2D)	Error relativo vertical
2	Alias	—	REL LE90
3	Elemento de la calidad del dato	Exactitud posicional	Exactitud posicional
4	Subelemento de la calidad del dato	Absoluta o externa	Relativa o interna
5	Medida básica de la calidad del dato	No aplicable	No aplicable
6	Definición	Se calcula el valor medio de las incertidumbres para un conjunto de puntos cuyos valores de individuales no exceden de una tolerancia dada	Evaluación de los errores en el relieve entre elementos de una mismo conjunto de datos o mapa. Es una función de los errores aleatorios entre dos posiciones con respecto a un mismo datum vertical
7	Descripción	Para un conjunto de N puntos, de posiciones dadas por sus coordenadas $\{x_{mi}, y_{mi}, z_{mi}\}$ (en función de las dimensiones), se consideran como posiciones reales las coordenadas $\{x_{ti}, y_{ti}, z_{ti}\}$. Se calculan las incertidumbres y se eliminan todas las que superan la tolerancia E_{max}. El proceso es: $e'_i = e_i$; Si $e_i \leq E_{max}$ $e'_i = 0$; Si $e_i \geq E_{max}$ Para el conjunto restante de errores, formado por *NR* casos, el valor medio se calcula: $\bar{E}_{excluyendo_ouliers} = (\Sigma e'_i)/NR$	La comparación entre los datos (medidos) y el control (verdad) se realiza de la siguiente manera: 1.- Se determina el número de posibles pares de combinaciones m = n (n-1)/2 2.- Se calcula el error vertical en cada punto: $\Delta Z_i = Altura_dato_i - Altura_control_i$. 3.- Se calcula el error vertical para cada pareja *j, k* de combinaciones: $\Delta Zrel_{jk} = \Delta Z_j - \Delta Z_k$ 4.- Se calcula la desviación estándar del error: $\sigma_{z_rel} = sqr((\Sigma \Delta Zrel^2)/(m-1))$ 5.- Calcular el error lineal convirtiendo sigma al estadístico del 90% de confianza: $Rel_LE90 = 1{,}645\sigma_{z_rel}$
8	Parámetro	*Emax* = la tolerancia considerada	n = tamaño de muestra
9	Tipo de valor	Medida	Medida
10	Estructura del valor	—	—
11	Referencia fuente	—	DoD (1990). Mapping, Charting and Geodesy Accuracy, MIL-STD-600001. Department of Defense
12	Ejemplo	—	—
13	Identificador	29	52

Conclusiones

Se observa una gran revitalización en la importancia de la componente posicional gracias a la difusión masiva de los sistemas de navegación. Tras una primera fase de aproximación a dicha tecnología, los usuarios y los productores han tomado mayor conciencia de la importancia de los aspectos de la calidad relativos a esta componente y de cómo una mala calidad implica costes y riesgos considerables.

La calidad posicional es una componente primordial de la calidad de los datos geográficos, y un elemento básico para conseguir la interoperabilidad entre productos espaciales. Por ello ha sido, y es, un caballo de batalla de las instituciones cartográficas. Así, muchas de ellas están desarrollando programas de mejora de esta componente (EuroSDR 2004), son numerosos los casos recientes de revisión de las normas de control posicional (Francia 2003; NATO 2003) y también abundan aquellos en los que se está trabajando en estas revisiones (FGDC 2003; México 2005; IHO 2006; AENOR 2006; NDEP 2006; Ecuador 2006). El desarrollo de estas iniciativas va también ligado a un creciente auge de proyectos de evaluación de la calidad de productos cartográficos, como es el caso de España con los proyectos GeoMadrid, EcIcA, ConPoCar, y en Brasil los correspondientes al control de los levantamientos en el municipio de São Paulo, actualmente en curso.

El análisis realizado se ha centrado en numerosos aspectos (formalismo, tamaño de muestra propuesto, método de estimación, recomendaciones para sesgos y valores atípicos (*outliers*), exactitud absoluta y/o relativa, etc.). Este análisis aporta ideas que pueden ser de utilidad a administraciones y empresas del sector cartográfico de aquellos países hispanos que deseen mejorar sus técnicas de control posicional. De manera resumida las principales conclusiones son:

- En su mayoría, los MCP no presentan gran formalismo en su definición, por ejemplo, no emplean la guía de normas que propone ISO, pero tampoco las terminologías apropiadas con relación a la incertidumbre.
- Los MCP son procesos de base estadística muestral pero difieren mucho en el método de estimación y no suelen requerir la verificación de sus las hipótesis básicas. Además, casi en ningún caso informan sobre el comportamiento estadístico y fiabilidad del propio método.
- Los procesos de cálculo que apuntan los MCP no suelen indicar de forma explícita el tratamiento a dar a los sesgos y *outliers* (atípicos).
- Utilizan puntos bien definidos como elementos de control. No indican si se debe tomar una única tipología de puntos de control o, por el contrario, deben ser de varios tipos, y si es así cómo proceder con los cálculos o en qué cantidad o proporción debe tomarse cada tipología.
- La mayoría no especifica cómo tratar los MDT al no existir puntos fácilmente identificables.

- Presentan gran disparidad en cuanto al tamaño de la muestra de control. La variabilidad en este criterio va desde en las recomendaciones desde muestras de 20 puntos a otras de 167.
- El área a la que se aplican o deben aplicarse no siempre queda claramente expuesta en sus enunciados.
- Por lo general, los MCP dan la idea de un proceso de evaluación aislado, algo que desaprovecha las ventajas de controles en flujo sobre producciones continuas o lote a lote.
- No suelen incorporar la perspectiva de exactitud posicional relativa.
- Los resultados se expresan de maneras muy diversas: valores, clases, pasa/falla, etc.
- No suelen existir manuales o documentos que los expliquen en detalle (bases, comportamiento, ejemplos de aplicación, etc.).

Por todo ello, se considera que los métodos existentes, aunque operativos, en su mayoría presentan problemas de definición, de carácter estadístico, de falta de información explicativa, etc., lo que puede derivar en malas interpretaciones de los datos cuantitativos suministrados y en falsas expectativas en la relación productor/usuario. Un ejemplo típico es la confusión que normalmente se hace entre los términos error lineal y error circular, lo que resulta en interpretaciones muchas veces equivocadas.

Los MCP analizados denotan una clara evolución conceptual y mejora a lo largo del tiempo, sin embargo son todavía muchas las posibilidades de mejora. Se entiende que el coste de algunas mejoras aquí apuntadas es realmente bajo gracias a las herramientas informáticas disponibles en la actualidad.

La mayoría de los países de Hispanoamérica tienen como base de la evaluación posicional la normativa del IPGH o alguna otra procedente de Estados Unidos. En algunos casos estas normas se aplican de manera directa pero en otros casos pueden sufrir cierta adaptación buscando una mejor adecuación a la realidad geográfica y económica de cada cual. De modo general, se aprecia un claro interés por mantenerse actualizados y mejorar los procesos, lo que lleva a adoptar los cambios que van surgiendo fuera de sus fronteras.

Respecto a las normas ISO sobre calidad, constituyen un conjunto que se centran en aspectos complementarios y relativos: identificar factores relevantes, evaluar, medir e informar, por lo que tienen gran importancia para normalizar la componente posicional (formalización, método de evaluación y método de informe). Son tres normas abstractas, generales, que dejan algunos aspectos de la información geográfica sin tratar pero también permiten que cada cual las amplíe según sus necesidades. Estas normas no establecen niveles de calidad. Con relación a la componente posicional, las tres suponen un claro avance respecto a la situación actual y su apli-

cación a esta componente permitirá disponer de información más abundante y fiable sobre la calidad posicional de las BDGS, en este sentido, pueden servir para paliar parte de las deficiencias indicadas en este documento. Con independencia de la adopción de las normas ISO 19100, todo nuevo esfuerzo normativo en el ámbito de la componente posicional debería tener en cuenta la aportación realizada por éstas.

Finalmente, las instituciones cartográficas y normativas deberían aunar esfuerzos en el desarrollo de normas específicas para este ámbito tales que presenten un alto grado de definición. Este desarrollo debería contemplar distintas opciones de muestreo, riesgo y protección, etc., y también debería incluir, junto a su parte prescriptiva, los oportunos desarrollos descriptivos que, mediante ejemplos prácticos, permitan eliminar dudas y ejemplificar un buen hacer. Se debe tener en cuenta que la ausencia de prescripción o guía en una norma en los aspectos más importantes de su aplicación, ocasiona un efecto contradictorio a la propia idea de normalización: se da pie a aplicaciones distintas que, sin embargo, pueden ser interpretadas como similares. En todo lo anterior deben utilizarse las posibilidades que brinda el marco normativo internacional (ISO 19113, 19114 y 19138) para plantear unas formas de medir, evaluar e informar estándares, suficientemente completos y versátiles en su nivel de detalle.

Agradecimientos

Al Ministerio de Educación y Ciencia por la financiaron parcial con cargo al proyecto "*Control Posicional en Cartografía por Elementos Lineales*" (BIA2003-02234).

A la Junta de Andalucía (Consejerías de Educación y de Ciencia y Tecnología) por la financiación que viene realizando al Grupo de Investigación del PAI (TEP-164) "Ingeniería Cartográfica" desde 1997.

A todas las organizaciones que contestaron a nuestro requerimiento de información por la documentación aportada.

Bibliografía

AENOR (1990), *Guía para la preparación de documentos normativos*, Asociación Española para la Normalización y Certificación, Madrid.

AENOR (2006), Acta de la reunión del Comité Técnico núm. 148 correspondiente al día 3 de noviembre de 2006, Asociación Española de Normalización y Certificación, Madrid.

ANSI (1998), ANSI NCITS 320-1998: Spatial Data Transfer Standard (SDTS), Part 1, Logical Specifications, American National Standards Institute, Inc., Washington.

Ariza, F.J. (2002), *Calidad en la Producción Cartográfica*, Ra-Ma, Madrid.

Ariza, F.J.; Atkinson, A.D. (2005a), *Sample size and confidence when applying the NSSDA*, en XXII International Cartographic Conference, La Coruña.

Ariza, F.J.; Atkinson, A.D.; Rodríguez, J. (2005b), *Positional quality control by means of the EMAS test and acceptance curves*, en XXII International Cartographic Conference, La Coruña.

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.

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 (1985), "Accuracy Specification for Large-Scale Line Maps", en *PE&RS*, vol. 51, no. 2, 195-199.

——— (1990), "Accuracy standards for large scale maps", en *PE & RS*, vol. 56, no. 7, 1068-1070.

——— (2001), *Digital Elevation Model Technologies and Applications: The DEM Users Manual*. Maune, D.F. (Ed), American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Bethesda, Maryland.

Atkinson, A. (2005), *Control de calidad posicional en cartografía: análisis de los principales estándares y propuesta de mejora*, Universidad de Jaén, Jaén.

Atkinson, A.; García, J.L.; Ariza, F.J. (2001), *Análisis de test para el control de calidad posicional en cartografía*, en Actas XIII Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica, Badajoz.

Atkinson, A.; García, J.L.; Ariza, F.J. (2005a), *Positional accuracy control using robust estimators*, en XXII International Cartographic Conference, La Coruña.

Atkinson, A.; García, J.L.; Ariza, F.J. (2007), "¿Cómo utilizar valores atípicos para el control de la calidad posicional?", en *Geofocus* (http://geofocus.rediris.es/principal.html).

Barbato, F.D. (2001), Modelling Errors and Accuracy in Cartography Base of Geographic Information Systems (GIS). First International Symposium on Robust Statistics and Fuzzy Techniques in Geodesy and GIS. Zurich (Suiça), mar. 2001. Disponible en: <http://www.dgfi.badw.de/ssg4.190/zurich_papers/ chapter_21.ps. Acceso en: 31 mar. 2003.

——— (2002), *Control de Precisión Posicional de la Cartografía Base de Intendencia Municipal de Montevideo-Uruguay*, in Congreso Internacional Ciencias de la Tierra. Anais, Santiago, Chile, disponible en: http://200.27.126.219/cct2002_1/Congreso/Tecnologia/Paper/FabianDBarbato.PDF Acceso en: 31mar. 2003.

Bica, V. (2004), Quality evaluation in the Portuguese Institute for Cartography and cadastre.

Brasil (1984), Decreto núm. 89.817 de 20 de Junio de 1984 que establece las instrucciones reguladoras de las Normas Técnicas de Cartografía Nacional, Brasilia.

Bruin, S.; Bregt, A.; Van de Ven, M., (2001), *Assessing fitness for use: the expected vale of spatial data sets*, en IJGIS, vol. 15, núm. 5.

Carmel, Y.; Dean, D.; Flather, C. (2001), Combining Location and Classification Error Sources for Estimating Multi-Temporal Data Base Accuracy, en *PE&RS*, vol. 67, no. 7, pp. 865-872.

Carmel, Y.; Flather, C.; Dean, D. (2006), *A methodology for translating positional error into measures of attribute error, and combining the two error sources,* en Proceedings of Accuracy 2006, 7th International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Sciences, Caetano, M. and Painho, M. (Ed.), Lisbon, pp. 3-17.

CEM (1994), *Vocabulario internacional de términos fundamentales y generales de metrología*, Centro Español de Metrología, Madrid.

Church, R.; Curtin, K.; Fohl, P.; Funk, C.; Goodchild, M.; Kyriakidis, P.; Noronha, V. (1998), *Positional Distortion in Geographic Data Sets as a Barrier to Interoperation*, Technical Papers ACSM, American Congress on Surveying and Mapping, Bethesda.

Colombia (2006), *Parte 3, Estándar nacional para la precisión de los datos espaciales (EPDE)*, Comité Técnico Incotec 34, en http://codazzi4.igac.gov.co/comite034/documentos/posicionamiento/parte3.pdf, accedida el 29 octubre 2006.

DoD (1990), *MIL STD 60001: Mapping, Charting and Geodesy Accuracy*, USA, Department of Defense, Washington.

Domingo, A. (2000), *Investigación sobre los métodos de estimación robusta aplicados a la resolución de los problemas fundamentales de la fotogrametría*, Dep. IGTEG, Universidad de Cantabria, Santander.

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>

EUROSDR (2004), *Positional Accuracy Improvement: Impacts of improving the positional accuracy of GI databases*, disponible en http://www.eurosdr.net/km_pub/no48/html/positional/positional_index.htm

FEMA (2003), *Guidelines and Specifications for Flood Hazard Mapping Partners. Appendix A: Guidance for Aerial Mapping and Surveying*, Federal Emergency Management Agency.

FGDC (1998), *FGDC-STD-007: Geospatial Positioning Accuracy Standards, Part 3, National Standard for Spatial Data Accuracy*, Federal Geographic Data Committee, Reston.

——— (1999), *Content Standard for Framework Land Elevation Data*, 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).

Francia (2003a), *Arrêté du 16 septembre 2003 portant sur les classes de précision applicables aux catégories de travaux topographiques réalisés par l'Etat, les collectivités locales et leurs établissements publics ou exécutés pour leur compte*, en J.O. no. 252 du 30 octobre 2003 page 18546 texte no. 21.

Francia (2003b), *Circulaire du 16 septembre 2003 relative à la mise en oeuvre de l'arrêté du 16 septembre 2003 portant sur les classes de précision applicables aux catégories de travaux topographiques réalisés par l'Etat, les collectivités locales et leurs établissements publics ou exécutés pour leur compte*, en J.O. no. 252 du 30 octobre 2003 page 18549 texte no. 23.

Galo, M.; Camargo, P. O. (1994), *Utilização do GPS no controle de qualidade de cartas*, en I Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário, Florianópolis-SC, Brasil, Anais, pp. 41-48.

GC (1996), *Accuracy Standards for Positioning*, Version 1.0, Geomatics, Canada, Ottawa.

Gemael, C. (1994), *Introdução ao ajustamento de observações: aplicações geodésicas*, Ed. UFPR, Curitiba-PR.

Greenwalt, C., Shultz, M. (1962), *Principles of error theory and cartographic applications*, ACIC Technical Report no. 96, Aeronautical Chart and Information Center, St Louis.

Hunter, G.J. y De Bruin, S. (2006), A Case Study in the Use of Risk Management to Assess Decision Quality, in Fundamentals of Spatial Data Quality, R. Devillers and R. Jeansoulin (eds), ISTE: London, pp. 271-282.

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).

ICSM (2004), *Standards and practices for control surveys (SP1) V1.6*, Inter-Governmental Committee on Surveying and Mapping, Canberra.

IGAC (1994), Resolución 64 de 07 de enero de 1994: "Umbrales de exactitud y precisión en posición", Bogotá (Colombia).

IHO (1998), *IHO Standards for Hydrographics Surveys*, Special Publication no. 44, 4th Edition, International Hidrographic Organization, Monaco.

——— (2006), IHO *Standards for Hydrographics Surveys*, Special Publication no. 44, 5th Edition, International Hidrographic Organization, Monaco.

IPGH (1978), Instituto Panamericano de Geografia e Historia, *Especificaciones para mapas topográficos, Panamá*, Instituto Panamericano de Geografía e Historia.

——— (1987), Instituto Panamericano de Geografia e Historia, *Manual de especificaciones para mapas topográficos, Panamá*, Instituto Panamericano de Geografía e Historia (ed. revisada).

——— (1987), 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.

——— (2002), *ISO 19113: Geographic information - Quality principles,* International Organization for Standardization, Geneva.

——— (2003), *ISO 19114: Geographic Information - Quality evaluation procedures*, International Organization for Standardization, Geneva.

——— (2003), *ISO 19115: Geographic Information - Metadata,* International Organization for Standardization, Geneva.

——— (2004), *Guía para la preparación de documentos normativos*, International Organization for Standardization, Geneva.

——— (2005), *ISO 3951-1: Sampling procedures for inspection by variables, Part 1: Specification for single sampling plans indexed by acceptance quality limit (AQL) for lot-by-lot inspection for a single quality characteristic and a single AQL*, International Organization for Standardization, Geneva.

——— (2006), *ISO 19138: Geographic Information - Quality Measures*, International Organization for Standardization, Geneva.

——— (2006), *ISO 2859-10: Sampling procedures for inspection by attributes, Part 10: Introduction to the ISO 2859 series of standards for sampling for inspection by attributes*, International Organization for Standardization, Geneva.

——— (2006), *ISO 3951-2: Sampling procedures for inspection by variables, Part 2: General specification for single sampling plans indexed by acceptance quality limit (AQL) for lot-by-lot inspection of independent quality characteristics*, International Organization for Standardization, Geneva.

——— (2006), *ISO 3951-5: Sampling procedures for inspection by variables, Part 5: Sequential sampling plans indexed by acceptance quality limit (AQL) for inspection by variables*, International Organization for Standardization, Geneva.

Jakobsson, A.; Vauglin, F. (2002), *Report of a questionnaire on data quality in National Mapping Agencies*, CERCO Working Group on Quality, Comite Europeen de Responsibles da la Cartographie Officielle, Marne-la-Vallée.

Juran, J.M.; Gryna R.M. (1970), *Quality planning and analysis; from product development through usage*, McGraw-Hill, New York.

Krek, A.; Frank, A.U. (1999), *Optimization of Quality of Geoinformation Products*, en Proceedings of 11th Annual Colloquium of the Spatial Information Research Centre, SIRC'99, Whigham, P.A., (Ed.), Dunedin, New Zealand, pp. 151-159.

Leung, Y. (1998), *A locational error model for spatial features*, en IJGIS, vol. 12, no. 6, pp. 607-620.

Li, Z. (1991), "Effects of check points on the reliability of DTM accuracy estimates obtained from experimental test", en *PE & RS*, vol. 57, no. 10, pp. 1333-1340.

Lucas; J.L.; Rodríguez; A.F. (2004), *La calidad en la información geográfica de productos vectoriales del IGN*, VIII Congreso Nacional de Topografía y Cartografía, TOPCART 2004, Madrid.

Maling. D. (1989), *Measurements from Maps*, Pergamon Press, Oxford.

Marc Ir, V. H. (1991), *Quelle est la justesse de la precision? CCNBDT*, Bruxelas (Bélgica), 15 p.

McGwire, K.C. (1996), "Cross-Validated Assessment of Geometric Accuracy", en *PE&RS*, vol. 62, no. 10, pp. 1179-1187.

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"*.

Merchant, D. C. (1982), *Spatial Accuracy Standards for Large Scalle Line Maps*, in Techinical Congress on Surveing and Mapping, Proceedings, vol. 1, pp. 222-231.

MPLMIC (1999), *Positional Accuracy Handbook*, Minnesota Planning Land Management Information Center, St. Paul.

NDEP (2004), *Guidelines for digital elevation data V1.0*, National Digital Elevation Program.

——— (2006), "Digital elevation data guidelines", http://www.ndep.gov/TechSubComm.html (September 20, 2006).

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.; 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.

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.

NJUG (1988), "Quality control procedure for large scale Ordnance Survey maps digitised to OS 1988", Version 1, NJUG Publication no. 13, National Joint Utilities Group, London.

NLSF (1995), *Topographic data quality model*, National Land Survey Finnland.

Nogueira, J.B. (2003), *Control de calidad de productos cartográficos: una propuesta metodológica*, Facultad de Ciencias y Tecnología UNESP, Presidente Prudente.

Rodríguez, A.F.; Lumbreras, J. (1997), "El modelo digital del terreno 1:25,000 (MDT25)", *Mapping*, vol, 38, pp. 50-60.

Rönsdorf, C. (2004), *Positional Integration of Geodata*, en Positional Accuracy Improvement: Impacts of improving the positional accuracy of GI databases. EuroSDR and the Dublin Institute of Technology (DIT) jointly hosted thisworkshop in Malahide, Dublin.

SAI, (1999), *Guideline for quality checking of ortho imagery*, Space Applications Institute, ISPRA.

Sevilla, M.J. (1991), *Criterios de precisión cartográfica*, Publicación núm. 182, Instituto de Astronomía y Geodesia, Madrid.

STANAG (2002), *STANAG 2215: Standardization agreement: Evaluation of land maps, aeronautical charts and digital topographic data*, North Atlantic Treaty Organization, Brussels.

Thompson, M.K. (2004), *Quality evaluation procedure for the quantitative horizontal positional accuracy assessment of orthophotos of the Swiss National Park,* Technical report.

Tilley, G. (2002), *A classification system for National Standards for Spatial data Accuracy*, Proceedings of the Fifteenth Annual Geographic Information Sciences Conference of the Towson University and Towson University's Department of Geography and Environmental Planning, pp. 1-3.

UNL-SCIT (2004), Norma Cartográfica de la Provincia de Santa Fe, Universidad Nacional del Litoral, Servicio de Catastro e Información Territorial.

USACE (1994), *Topographic Surveying (EM 1110-1-1005)*, US Department of the Army, US Army Corps of Engineers, Washington.

——— (2002), *Engineering and Design, Photogrammetric Mapping*, Publication EM 1110-1-1000, US Army Corps of Engineers, Washington.

USBB (1947), *United States National Map Accuracy Standards*, U.S., Bureau of the Budget, Washington.

USGS (1997), *Standards for Digital Elevation Models, Part 3: Quality Control, Standards for Digital Elevation Models*, US Geological Survey.

——— (1998), *Standards for Digital Elevation Models, Part 2: Specifications, Standards for Digital Elevation Models*, US Geological Survey.

Van Niel, T.G.; McVicar, T.R. (2002), *Experimental evaluation of positional accuracy estimates from linear network using point- and line-based testing methods*, en IJGIS, vol. 16, no. 5, pp. 455-473.

Aplicaciones del Mapa Global de las Américas

Jean W. Parcher*
Edwin Hunt**
Anna Lucia Barreto de Freitas***
Zachary D. Wilson****
Robin H. Gary****

Resumen

El proyecto Mapa Global proporciona un foro para el desarrollo de datos geográficos digitales compatibles en una escala global para aumentar la cooperación entre las naciones para las aplicaciones medioambientales. El Mapa Global de las Américas es un componente regional del Mapa Global a escala 1:1,000,000 con un fuerte énfasis en la capacidad de desarrollo, las aplicaciones transfronterizas y las aplicaciones de los usuario en las Américas. Como proyecto de asistencia técnica del Instituto Panamericano de Geografía e Historia, con el apoyo de la Comisión Cartográfica, el Mapa Global de las Américas tiene la tarea de coordinar la ejecución de un mapa digital regional continuo del continente. La promoción del uso de los datos para diversas aplicaciones medioambientales, educacionales y de gestión de desastres tendrá el efecto de incrementar la conciencia del proyecto en pos de reunir los recursos de colaboración requeridos para lograr un mapa integrado de los continentes americanos.

Palabras clave: *mapas de escala pequeña, cartografía digital, medio ambiente, las Américas, Mapa Global, aplicaciones, Comisión de Cartografía*.

Introducción

El monitoreo del cambio medioambiental a una escala global requiere la cooperación entre las naciones. Para hacer eficaz esta cooperación, las naciones necesitan compartir y compatibilizar los datos medioambientales, geográficos y demográficos

* U.S. Geological Survey, Mid Continent Geographic Science Center.
** Instituto Geográfico Militar de Chile.
*** Instituto Brasileiro de Geografía e Estatística do Brasil.
**** U.S. Geological Survey, Texas Water Science Center.

en un nivel que promueva la colaboración sin perjudicar a la vez la seguridad nacional. La disponibilidad de una cubierta global de imágenes satélites en diferentes escalas, actualizada diariamente, mensualmente o en otros intervalos intermedios proporciona una base consistente para observar los cambios terrestres mediante la percepción remota. Si a esto se suma un mapa continuo digital del mundo, se tiene la capacidad de proporcionar información contextual que complementa la representación del paisaje en las imágenes satélites. Actualmente, varias entidades privadas publican mapas de rutas y atlas a escalas regionales y globales con fines de lucro. Estos datos no están manejados en esfuerzos de colaboración entre las agencias cartográficas nacionales y no proporcionan una calidad científica adecuada para evaluar el estado del medio ambiente global (Estes y Mooneyhan 1994). El concepto del Mapa Global, propuesto en el año 1992 por el Ministerio de Construcción y el Instituto de Investigación Geográfico de Japón, en la "Cumbre de la Tierra" de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Medioambiental, está basado en el desarrollo, mantenimiento y acceso público a la información geoespacial digital de alta calidad en una escala global (Murakami, H. *et al*. 1997). La coordinación del Mapa Global a través de actividades regionales a nivel continental promueve el compartir el desarrollo de capacidades de tecnología geoespacial, la integración regional de los estándares y las aplicaciones prácticas en el mundo real.

Mapa Internacional del Mundo

El origen histórico del Mapa Global se remonta a más de un siglo en el pasado, comenzando con los esfuerzos de coordinación del proyecto *International Map of the World* (IMW) (Mapa Internacional del Mundo) para producir un mapa estandarizado de todo el mundo que sirva para la planificación y el análisis geográfico general (Kelmelis *et al*. 2000). En teoría, el proyecto IMW fue concebido para unir a las naciones del mundo a través del medioambientalismo en vez de la geo-política internacional, y también para ampliar la perspectiva de las agencias cartográficas nacionales hacia una estandarización cartográfica, atravesando los límites internacionales (Pearson *et al*. 2006).

El propósito de la serie de mapas IMW a escala 1:1,000,000 que fue propuesto en la Quinta Conferencia Geográfica Internacional en Berna, Suiza, en el año 1891 por el Albert Penck (1858-1945), fue el de proporcionar comparaciones importantes a nivel mundial y a la vez permitir a los países visualizar sus respectivos entornos medioambientales regionales. La escala 1:1,000,000 proporciona suficiente detalle para análisis político y económico a nivel regional (Pearson *et al*. 2006). Los que abogaron por las soluciones cartográficas enfatizaron la necesidad de trabajar con las principales agencias cartográficas para definir estándares comunes, como la proyección, la ortografía en los nombres de lugares, la simbolización y el detalle de los datos temáticos. El avance lento, los altos costos, las interrupciones por las dos

Guerras Mundiales y la incapacidad de los países para lograr consistencia entre ellos dificultaron estos esfuerzos. Varias naciones, como los Estados Unidos y Gran Bretaña desarrollaron la serie IMW a escala 1:1,000,000 para áreas de interés estratégico. Los intereses privados, como la Sociedad Geográfica de las Américas, sobrepasaron el ritmo de avance del IMW en la producción de sus series de cartas privadas. La falta de acuerdos tendientes a un propósito internacional fue probablemente el causal del fracaso del proyecto, mientras que el gran éxito del proyecto IMW puede ser atribuido a su capacidad de llamado a la cooperación internacional (Pearson *et al*. 2006).

Mapa Global del Mundo

Hoy, el Mapa Global es una iniciativa de un mapa digital a una escala de 1:1,000,000 con el propósito de recopilar datos base con especificaciones consistentes para el mundo entero. Se estima que el enfoque digital es sustancialmente menos costoso que el enfoque análogo (Pearsons *et al*. 2006). El International Steering Comité of the Global Map (ISCGM) (Comité de Dirección Internacional del Mapa Global) proporciona el marco institucional, respaldo, y el sitio Web (http://www.iscgm.org/cgi-bin/gswiki/wiki.cgi) para albergar las conjuntos de datos completos del Mapa Global. Los fundamentos iniciales para la creación de las capas vectoriales de la versión cero del Mapa Global, se basaron en la Tabla Digital del Mundo de la United States National Geospatial Intelligence Agency (Agencia Nacional de Inteligencia Geoespecial de los Estados Unidos). La capa *raster* base para la elevación, y el uso y cubierta de la tierra, de la versión cero del Mapa Global fue producida en el U.S. Geological Survey (USGS) (Servicio Geológico de Estados Unidos). La versión uno promueve la participación de cada país a contribuir con datos geoespaciales para los temas básicos a escala de 1:1,000,000 (vector) y un kilómetro de resolución de terreno (*raster*) (Figura 1). El contenido cartográfico incluye elementos gráficos vectoriales para temas de transporte, hidrografía, lugares poblados, límites administrativos, además de los respectivos archivos de atributos en formato de texto. La información de elevación, vegetación y cubierta de la tierra están contenidos en mapas de formato *raster*.

El ISCGM apoya el esfuerzo de actividades regionales de Mapa Global para el desarrollo de capacidades técnicas regionales y esfuerzos para compartir datos. Los esfuerzos regionales proporcionan un foro unificado para apoyar la capacidad creciente de tecnología geoespacial, promoción de la Infraestructura de Datos Espaciales (IDE) y estándares, y el desarrollo de aplicaciones regionales. Bajo el auspicio del Instituto Panamericano de Geografía e Historia (IPGH), el grupo de trabajo del Mapa Global de las Américas (abreviado en español con las siglas MGA), fue formado en el año 2005.

El Mapa Global de las Américas

El proyecto MGA es un componente regional del proyecto Mapa Global, con un fuerte enfoque hacia la capacidad de desarrollo, aplicaciones transfronterizas, y aplicaciones de los usuarios de los países americanos. Las discusiones para las coordinaciones regionales del Mapa Global de las Américas se iniciaron con un acuerdo de vinculación en el año 2003 entre el IPGH y el ISCGM. Cuando el MGA fue establecido en el año 2005 como un proyecto IPGH de asistencia técnica, las secciones nacionales de la Comisión Cartográfica del IPGH nombraron representantes de cada país para participar en el proyecto. El MGA tuvo su primera reunión en noviembre del año 2005 durante la reunión de consulta llevada a cabo en Caracas, Venezuela. Los delegados asistentes emitieron una resolución para la Comisión de Cartografía, presentaron un plan de proyecto con plazos de vencimiento, y establecieron un Comité Ejecutivo. Los países representados incluyeron a Chile, Brasil, Estados Unidos, Argentina, Uruguay, Perú, Paraguay, Venezuela, Panamá, Ecuador, Colombia y Guatemala. El alto nivel de sinergía entre los delegados y los miembros del Comité Ejecutivo condujo a fuertes relaciones laborales entre los miembros del Comité Cartográfico de las naciones.

Objetivos

Los objetivos básicos mutuos del Mapa Global y del MGA son:

- Proporcionar una base cartográfica consistente y continua a escala regional para la coordinación de temas humanitarios, con enfoque en tópicos educacionales y ambientales para el desarrollo de los países.
- Proporcionar datos cartográficos y capacidades geoespaciales que sirvan de herramientas de apoyo en las decisiones concernientes con el desarrollo sostenible.
- Crear una base cartográfica común, y una infraestructura de datos espaciales para proyectos que requieran cooperación internacional, tal como respuestas a las emergencias.
- Llegar a través de la infraestructura geo-espacial a otros proyectos internacionales con necesidades de intercambio de datos, capacidades y tecnología.

Metas

El MGA encamina sus esfuerzos hacia la obtención de las siguientes metas. Estas metas han sido trazadas con el propósito de apoyar a los objetivos generales del ISCGM y reinforzar el proyecto Mapa Global.

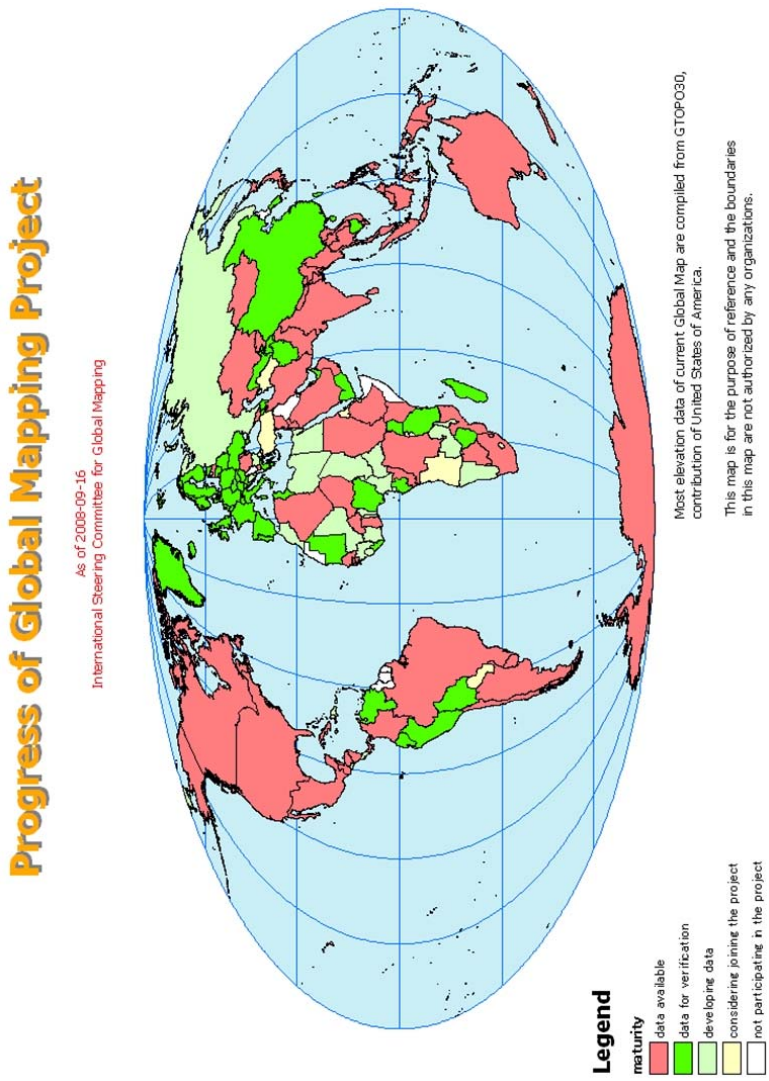


Figura 1. Mapa en progreso, a la fecha del 16 de septiembre del 2008. Se muestra la versión número uno. Presentación y aceptación del Mapa Global por cada país participante.

Figura 2. Página Web Principal del Mapa Global de las Américas. La dirección del sitio Web es http://www.mgdelasamericas.org

- Coordinar una versión continua de los temas vectoriales del Mapa Global para todo el continente.
- Asistir a esos países de la región cuya participación en el proyecto Mapa Global a nivel mundial ha sido limitada, o cuya participación esta en diversas fases de avance de configuración tecnológica, y calidad.
- Definir las óptimas soluciones para las capas *raster* a nivel continental, por medio de la evaluación de las iniciativas ya existentes del Mapa Global.
- Integrar los proyectos y productos del Mapa Global para cada país dentro de las necesidades de sus respectivas comunidades locales, directamente o por medio de la red de infraestructura geo-espacial nacional.

Para alcanzar esas metas, cada país necesita desarrollar capacidades de mapeo digital, las cuales van a conducir sucesivamente a aplicaciones más grandes de tecnología de información geográfica para administrar sus recursos capitales naturales y humanos.

La escala del MGA y el contenido de las capas de datos vectoriales están definidos por el ISCGM. El MGA tiene la oportunidad de proveer asesoramiento acerca del contenido de capas raster, tales como cubierta y elevación de la tierra, basados en las necesidades regionales. La escala 1:1,000,000 es conveniente para algunos países, ya que esta puede corresponder a su escala nacional de cobertura. Para naciones pequeñas, tales como las de América Central y el Caribe, esta pequeña escala es demasiado general para la representación de características importantes en esos países.

Logros y tareas del Mapa Global de las Américas

Los logros del MGA durante el primer año de apoyo del IPGH incluyeron el desarrollo de un plan de proyecto, el sitio Web del MGA www.mgdelasamericas.org (Figura 2), y la creciente comunicación a través de correos electrónicos con los representantes de varias Secciones Nacionales. El grupo de trabajo del MGA se ha reunidos en cuatro oportunidades: Caracas, Venezuela (2005), Santiago, Chile (2006); Itú, Brasil (2007) y en Panamá (2008).

La sección chilena completó una evaluación del contenido de datos vectoriales del Mapa Global, la integridad y la concordancia de estos entre cuatro países en América Central y ocho países de América del Sur. Los resultados preliminares muestran que existe un alto nivel de variación en los datos producidos y suministrados por las naciones participantes en su primera entrega al ISCGM. Las variaciones ocurren en calidad (usando las especificaciones técnicas del ISCGM como estándares), en contenido (selección de clases de características), en la densidad de los datos vectoriales, en la estructura de la tabla de atributos y en la estructura/organización de los datos. Las recomendaciones incluyen la partición de las ta-

reas de armonización en esfuerzos regionales de coordinación enfocándose en tres áreas: América del Norte, América Central y América del Sur. Para las capas vectoriales, la capa hidrográfica debe ser integrada primero, seguida por las capas de transporte y la de áreas pobladas. La capa de límites internacionales es la más problemática, debido a los asuntos políticos alrededor de la ubicación exacta de las fronteras internacionales. Las fronteras internacionales son sólo representaciones de las fronteras oficiales. Una recomendación final es la de presentar todos los datos en coordenadas geográficas.

La sección ecuatoriana fue recientemente premiada con una beca del Global Spatial Data Infrastructure (la Asociación de Infraestructura Global de Datos Espaciales) para desarrollar una encuesta de participación e aplicación del Mapa Global de las Américas. Esta encuesta será distribuida a las agencias geográficas nacionales, agencias nacionales medioambientales, organizaciones no gubernamentales, y entidades supranacionales. El resultado servirá de guía al grupo de trabajo del MGA en la determinación de los países que necesitan desarrollo de capacidades. Además para determinar que aplicaciones son las más relevantes para el proyecto, y donde acudir por financiamiento disponible para respaldar la armonización de datos.

Esfuerzos individuales de los países

Regulaciones, consideraciones técnicas, y la cantidad de esfuerzo adicional varían de acuerdo a cada país que ha presentado datos al programa del Mapa Global. En los tres casos estudiados presentados aquí, el Instituto Brasileiro de Geografía y Estadística (IBGE) tuvo la capacidad de modificar su base de datos cartográfica digital integrada del programa de Brasil para incluir conjuntos de datos para la aceptación del ISCGM. El Instituto Geográfico Militar (IGM) de Chile integró datos de tres diferentes fuentes. Para los Estados Unidos, el USGS aplicó métodos tecnológicos para desarrollar una capa de datos de la red hidrográfica a una escala de 1:1,000,000

Chile

El IGM de Chile combinó datos del Servicio de Aerofotogrametría de la Fuerza Aérea, datos del IGM y datos de una fuente externa del sector Antártico para la creación de capas vectoriales. Para las capas *raster* (elevación, uso de la tierra, cubierta y vegetación de la tierra), los datos de la versión cero original fueron comparados con una serie de sitios de muestreo con información cartográfica producida localmente y usada como referencia (Hunt 2004).

En el año 2006, cuando el ISCGM suministró sus comentarios y requerimientos para mejorar las capas vectoriales del IGM para Chile, se hizo disponible una nueva

fuente de datos para Chile, la Cartografía Digital oficial de 1:250,000 del IGM. Por consiguiente, estos datos mejorados del 2006 reemplazaron las capas vectoriales originales. En el año 2007 los datos fueron sujetos a una serie de controles legales que los llevó a su autorización por el Ministerio de Relaciones Exteriores.

Brasil

El Mapa Global de Brasil fue desarrollado en el Instituto Brasileño de Geografía y Estadística (IBGE) como un subconjunto de la base de datos Cartográfica Vectorial Continua de Brasil (bCIMd) a escala de 1:1,000,000. En mayo del año 1999, cuando el IBGE fue invitado oficialmente a participar en el programa del Mapa Global, fueron desarrollados los procedimientos para adaptar el bCIMd a las especificaciones del Mapa Global. La coordinación de Recursos Naturales y Medio Ambiente (CREN) es responsable por los datos relacionados con vegetación, tierra y cobertura de la tierra. A partir de 2001 el IBGE participa en el Mapa Global como un participante de nivel B, cuya designación es correspondiente a un país que es calificado para proporcionar asistencia y el desarrollo de capacidades a otros países.

El proceso de desarrollo del Mapa Global de Brasil empezó con la participación en el Japón de dos técnicos de la Coordinación de Cartografía del Directorio de Geociencias (2001 y 2002), y con el lanzamiento de la primera versión de su bCIMd en diciembre del año 2003 en Brasil. Aunque la escala de bCIMd, 1:1,000,000 es similar a la del Mapa Global, la estructura es diferente. Por lo tanto, el bCIMd necesitó ser reformateado y adaptado a las especificaciones del Mapa Global. En octubre del año 2004, el IBGE envió su primera versión de datos al ISCGM para validación. Durante el año 2005, el IBGE y el ISCGM coordinaron la validación y correcciones de los datos. En julio del año 2005, el Instituto de Investigación Geográfica (GSI) y la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA) proporcionaron entrenamiento para mejorar el entendimiento de los usuarios de las especificaciones del modelo de datos del Mapa Global. En el año 2007 el IBGE publicó los datos finales aceptados del Mapa Global de Brasil en el sitio del ISCGM (Figura 3).

Capa de la red hidrográfica de Estados Unidos

El USGS es una agencia líder en el suministro de datos del Mapa Global de los Estados Unidos. El reto para el USGS es que la escala de 1:1,000,000 no es mantenida a un nivel nacional para todo el país. El USGS concentra sus esfuerzos de mapeo digital a escalas mayores tal como 1:100,000 y 1:24,000. Por lo tanto el reto requirió producir datos para el Mapa Global, el cual será incorporado al Atlas Nacional, incluyendo datos obtenidos consistentes y actuales, a la densidad apropiada, con detalle y precisión a la pequeña escala de 1:1,000,000.

El proceso para el desarrollo de la capa hidrográfica incluyó la integración de varios conjuntos de datos, y la aplicación de métodos de análisis geoespaciales con el fin de automatizar el proceso en todo el país. El producto final del Atlas Nacional mantiene la conectividad y el encaminamiento de la red que fueron desarrollados para la más alta resolución, Nacional Hydrography Dataset (NHD) (Datos Hidrográficos Nacionales). El NHD es un conjunto de datos de la red hidrográfica en ambas escalas 1:100,000 y 1:24,000 para los Estados Unidos. En cada segmento vectorial está marcada la dirección del flujo de agua, lo que le permite al usuario rastrear el flujo del agua a través de las líneas divisorias de agua y las cuencas. Los cuerpos de agua están representados de ambas formas, como polígonos y líneas vectoriales de flujote agua para así permitir la conectividad de la red. Los estándares para el producto del Mapa Global no tienen como atributo a la dirección del flujo de agua, pero todos los arcos van a apunta a la dirección del flujo de agua. Para la producción de la capa hidrográfica del Mapa Global de los Estados Unidos, las líneas de flujo de agua de la escala 1:1,000,000 —escala NHD fueron reducidas para igualar la densidad y a la escala internacional 1:1,000,000 del Mapa Mundial y de la capa hidrográfica vigente del Atlas Nacional a la escala 1:2,000,000 (Figura 4).

Aplicaciones regionales del Mapa Global de las Américas

Las aplicaciones potenciales del MGA incluyen tanto las aplicaciones orientadas a los resultados como las actividades de coordinación internacional. En las aplicaciones orientadas a los resultados se pueden incluir por ejemplo, conjuntos de datos armonizados usados para análisis y referencia, y capas adicionales de contenido temático relevantes como las unidades de conservación y las tierras indígenas. Por otro lado, las actividades de coordinación internacional pueden incluir el desarrollo de los estándares de la infraestructura de datos espaciales entre las entidades regionales. Las aplicaciones orientadas a los resultados son más fáciles de medir y cuantificar, mientras que la coordinación de actividades puede proveer un enlace importante para futuras tentativas de cooperación.

Preparación y planificación para el manejo de desastres

Uno de los principales objetivos del Mapa Global es el de apoyar el desarrollo nacional y continental de infraestructura de datos espaciales en todo el mundo. Las naciones más desarrolladas son llamadas a asistir a naciones con limitada pericia geoespacial. La implementación de un enfoque sistemático, y basado en estándares a la integración de la tecnología geoespacial dentro de las Américas provee una base firme para el manejo de los desastres, manejo sostenible del medio ambiente, y el monitoreo de recursos naturales (Asante *et al*. 2006). El Mapa Global de las Américas proporciona un marco de trabajo para las capas de datos integrados vec-

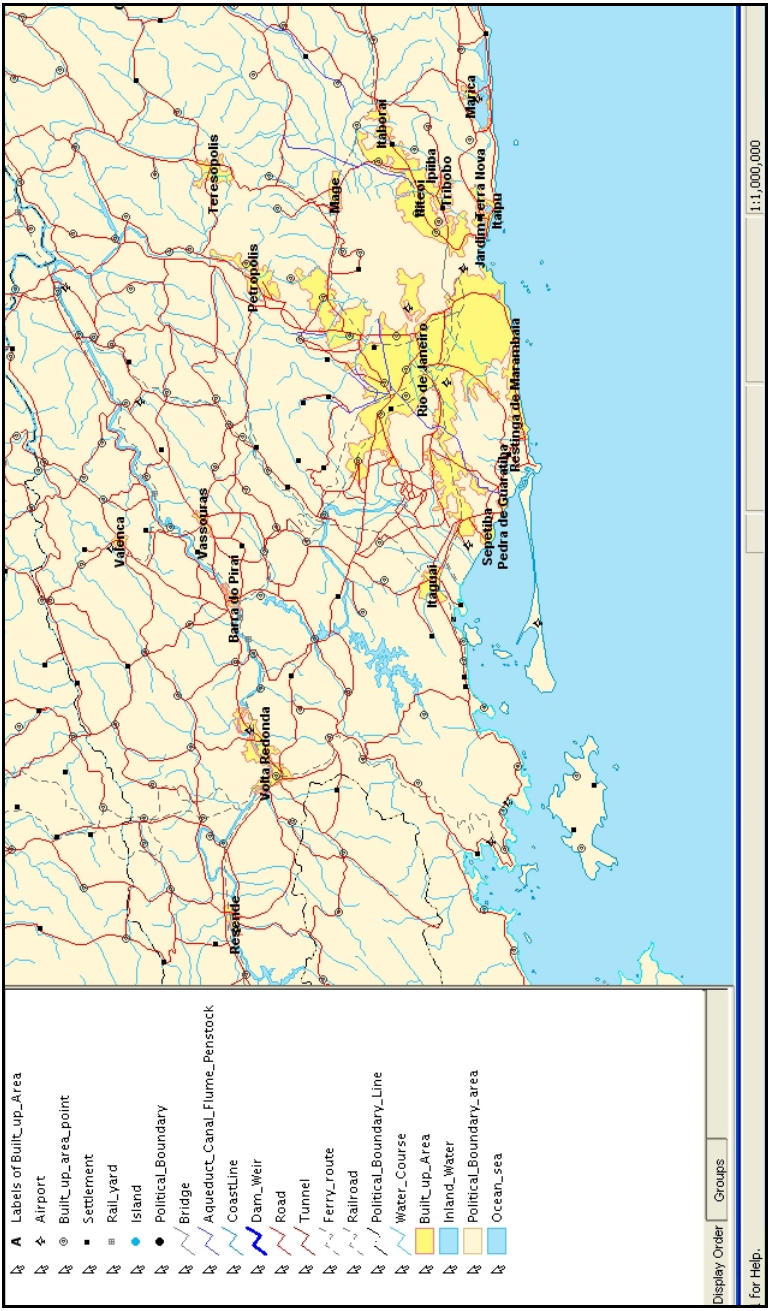


Figura 3. Datos vectorialess del Mapa Global para la región Río de Janeiro de Brasil.

A la red hidrográfica proporciona herramientas para analizar el flujo las cuencas río abajo y río arriba

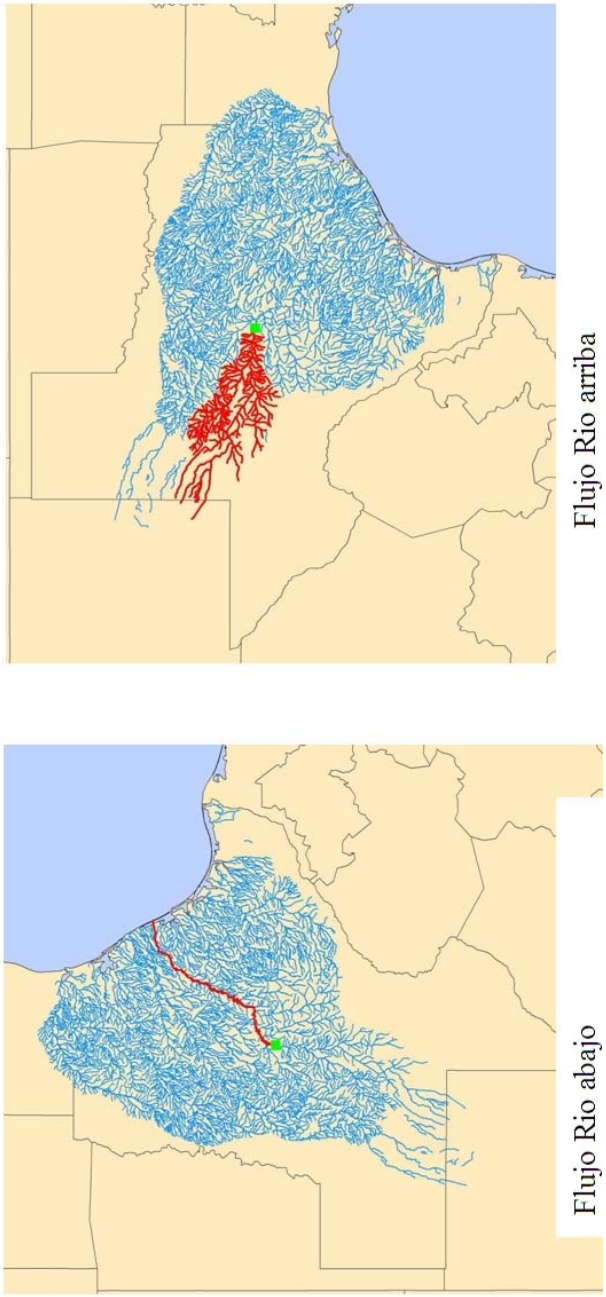


Figura 4. Las líneas azules muestran la escala de 1:1,000,000 de la red hidrográfica para la línea divisoria de la Costa del Golfo en Texas. Las líneas del flujo de agua rojas muestran los flujos de agua río abajo y río arriba desde un punto específico en la cuenca del río.

toriales y raster a escala menores para las Américas, y apoya el desarrollo de capacidades de tecnología geoespacial entre países vecinos.

Durante algunos eventos recientes, tales como el Huracán Katrina y el Sunami de Asia en el año 2004, la tecnología de información geográfica usada para peligros naturales y respuestas a emergencias jugó un importante rol. Datos geoespaciales y tecnología son necesarias en muchas de las fases de manejo de desastres, tal como preparación (riesgo y vulnerabilidad), advertencia temprana, respuesta, recuperación y reconstrucción (Asante 2006). El desafío es integrar una amplia gama de fuentes de datos necesarios para el manejo de desastres. El problema es mucho más complejo cuando se trata de manejo de desastres a través de fronteras internacionales. Una IDE bien desarrollada, que pueda comunicar internamente así como a través de la frontera puede proporcionar el marco de trabajo necesario para la integración de datos de diversas fuentes. Una IDE regional necesita considerar la necesidad de datos a diferentes escalas. Cuando no se tiene una clara ubicación del desastre durante las etapas de preparación y advertencia temprana, los responsables del manejo del desastre necesitan datos regionales a pequeña escala concernientes a áreas pobladas, nombres, datos de la jurisdicción de la frontera, topografía e infraestructura vial. El Mapa Global de las Américas puede proporcionar estos datos en un formato consistente y continuo a través de las fronteras internacionales. Una vez que sucede el desastre, datos a mayor escala y más detallados pueden ser usados para responder a la emergencia, junto a otros tipos de datos tales como: localización de hospitales, refugios, centros de comandos policiales, y redes utilitarias. La comunicación y el planeamiento anticipado entre múltiples países dentro de una región, facilitan grandemente los esfuerzos de respuesta y recuperación si el desastre afecta a varios países. Una IDE regional desarrollada a través de los procesos del Mapa Global puede proporcionar la base para un planeamiento regional de desastres.

Aplicaciones medioambientales con imágenes satélites

La cooperación medioambiental a escala mundial constituye la base principal del Mapa Global. Los datos de percepción remota juegan un rol importante ya que proveen conjuntos de datos de alta resolución temporal para el monitoreo medioambiental. Las imágenes de satélites son usadas tanto por científicos para medir y clasificar directamente los cambios medioambientales como por los encargados de regulaciones para proveer una imagen visual de los efectos del hombre sobre el medio ambiente. Al realizar la producción de imágenes visuales para el libro *Un planeta, mucha gente* y el conjunto de datos en la red http://www.na.unep..net/OnePlanetManyPeople/), el United Nations Environment Programme (UNEP) (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente) y el USGS se dieron cuenta rápidamente de la necesidad de proveer

información contextual a las imágenes de satélite. Algunos ejemplos de esta información son la jurisdicción fronteriza, nombres de lugares poblados, y los puntos de referencia más importantes. El Mapa Global de las Américas puede proporcionar esas capas de datos regionales para ubicar esas imágenes dentro del contexto antropogénico de nuestro mundo. Google Earth, otro popular sistema para visualización de datos remotos satélites, podría ser enormemente mejorado mediante la integración de capas de datos del Mapa Global más precisas y actuales.

Evaluación de cuencas transfronterizas

Las fronteras medioambientales formadas por ríos y cuerpos de agua importantes en muchos casos también constituyen una frontera administrativa entre estados y naciones. Cuando dos o más países comparten un recurso natural hidrológico, se necesita de la cooperación internacional para monitorear los cambios en el paisaje que puedan afectar la disponibilidad y calidad del agua, y la vulnerabilidad en las poblaciones que se encuentren dentro del cauce de las aguas o río abajo debido a las inundaciones. El intercambio y la integración de datos cartográficos medioambientales entre las entidades cooperantes puede ser un tremendo reto para las diversas entidades gubernamentales debido a las diferencias en los estándares nacionales entre los países miembros.

Una iniciativa de cooperación regional, tal como el Mapa Global de las Américas proporciona la estructura supranacional a los científicos y técnicos para el desarrollo de soluciones para armonizar las diferentes bases de datos. Por ejemplo, la Organization of American States (OAS) (Organización de los Estados Americanos) apoya varios proyectos sostenibles de cuencas transfronterizas en América Latina. Dos de esos proyectos, la Cuenca de la Plata y la Cuenca del Amazonas necesitan la coordinación de cuatro o más países. Esos proyectos requieren de una variedad de conjuntos de datos como base fundamental de datos cartográficos. Estos son: características específicas de las cuencas, estadísticas demográficas, y datos especializados de herencia hidrológica. El Mapa Global de las Américas puede proporcionar las capas de datos regionales fundamentales, un catalizador para proporcionar entrenamiento en la tecnología de información geográfica para aquellos países necesitados, estándares de datos cartográficos, y estructura supranacional formalizada para respaldar las asociaciones científicas entre los países participantes. Las capacidades técnicas, así como la capacidad de asociación entre los países que tiene el Mapa Global de las Américas proporcionan un marco de trabajo para las aplicaciones en las cuencas transfronterizas buscando armonizar los datos a altas resoluciones y fomentar el compartir de los datos entre los países en América.

Educación geográfica

Los datos digitales cartográficos a menor escala puede ser una ayuda educacional para el aprendizaje de geografía y tecnología computacional para estudiantes de primaria y secundaria. Estos datos juegan un papel similar al del Atlas Escolar tradicional, donde se encuentran mapas de continentes a menor escala (Hunt 2006). El uso de estos mapas a menor escala es apropiado para que los estudiantes empiecen a familiarizarse con los aspectos cartográficos de la geografía. Los niños que no conocen el concepto de datos espaciales, reconocerán más fácilmente las formas de los países, las islas y los continentes cuando estén ya familiarizados con contornos que aparezcan en otros contextos, tales como las siluetas de continentes y países incluidas en ilustraciones de textos, textos juveniles científicos, carteles educacionales, e incluso en banderas. Al encontrar esos contornos nuevamente en el Mapa Global, y al hacer zoom acercándose a un mayor nivel de detalle que antes no entendían, ayudará a los niños a comprender los conceptos fundamentales del mapeo antes de empezar a usar datos a mayor escala.

Conclusiones

El Mapa Global de las Américas es un proyecto ambicioso que puede proporcionar tanto datos geoespaciales armonizados para el continente, como el desarrollo de capacidades entre los países miembros. El apoyo del IPGH contribuye sembrando el financiamiento y la coordinación logística para las reuniones técnicas del proyecto. El ISCGM proporciona los estándares y los materiales de entrenamiento. El éxito del Mapa Global desde el punto de vista técnico se refleja en la conveniencia de las escalas para aplicaciones regionales, el fácil uso del marco de trabajo y de los datos, y su aplicación en el monitoreo del medio ambiente.

Las aplicaciones regionales le dan relevancia al proyecto, realzan la visibilidad, e incrementan el valor de los datos. Por ejemplo, el proyecto del Atlas de América del Norte; que coordina la armonización de datos de menor escala para Canadá, Estados Unidos y México, ha construido una fuerte asociación entre Recursos Naturales de Canadá (NRCan), USGS, y el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática de México (INEGI) para el desarrollo de estándares tri-nacionales para las capa de datos cartográficas base. Esta asociación institucional proporciona el marco de trabajo para el desarrollo de un proyecto de monitoreo de la cubierta de la tierra para América del Norte, donde cada país proporcionará actualizaciones anuales de los conjuntos de datos de la cubierta de la tierra utilizando métodos de clasificación similares, y resolución espacial y temporal armonizadas. La unificación de aplicaciones científicas a través de la geografía y el mapeo, proporciona el marco de trabajo institucional para incrementar la cooperación con referencia a los asuntos medioambientales.

Bibliografía

Asante, K.O, Verdin, J.P., Crane, M.P., Tokar, S.A., Rowland, J. (2006), *The role of Spatial Data Infrastructure in the management of natural disasters*, Global Spatial Data Infrastructure 9 conference proceedings, Santiago, Chile, 6-10 November, 2006.

Estes and Mooneyhan, (1994), *Report of the International Symposium on core data needs for environmental assessment and sustainable development strategies*, Bangkok, Thailand, november. Vols. I, II, Washington D.C., U.S. Geological Survey, vol. 59 pp.; vol. II, 130 pp.

Hunt, E. (2004), "Chile en el Proyecto 'Mapa Global' y la Evaluación de las Cartas Raster", *Revista Geográfica de Chile – Terra Australis*, núm. 49, pp. 157-178, Santiago, Chile.

———, (2006), *New directions in applications for the global map*, GSDI-9 conference proceedings, 6-10 November 2006, Santiago, Chile: accessed on October 2, 2007 at http://www.gsdi9.cl/english/papers/TS34.4paper.pdf

Kelmelis, J., Hearn, P., Verdin, J., (2000), *Global Map: Multiple scales for critical decisions*, presented at Global Mapping Forum 2000, Hiroshima, Japan, 28-30 November, 2000.

Murakami, H., Nonomura, K., Nobuo N., Maruyama, H., (1997), *Global Mapping Initiative – past, present, and future*, Geographical Survey Institute, Ministry of Construction, Tsukuba, Japan, accessed October 2, 2007, at http://gsdidocs.org/docs1997/97_murakami.html

Pearson, A., Taylor, D.R., Kline, K.D., Heffernan, M., (2006), "Cartographic ideals and geopolitical realities: International maps of the world from the 1890's to the present", *The Canadian Geographer*, no. 2, pp. 149-176.

Applications of the Global Map of the Americas

Jean W. Parcher[*]
Edwin Hunt[**]
Anna Lucia Barreto de Freitas[***]
Zachary D. Wilson[****]
Robin H. Gary[****]

Abstract

The Global Map project provides a forum for developing compatible digital geographic data on a global scale to enhance cooperation between nations for environmental applications. The Global Map of the Americas is a regional component of the 1:1,000,000-scale Global Map, with a strong emphasis on capacity development, transboundary applications, and user applications for the American continents. As a Pan American Institute of Geography and History technical assistance project with support from the Cartography Commission, the Global Map of the Americas is coordinating the development of a seamless regional digital map of the continent. Promotion of the use of the data for various environmental, educational, and disaster preparedness applications will increase the awareness of the project to augment collaborative resources needed to achieve an integrated digital map of the Americas Continents.

Keywords: *samll scale maps, digital cartography, environment, The Americas, Global Map, applications, Cartography Commission.*

Introduction

Monitoring environmental change on a global scale requires cooperation between nations. To make this cooperation effective, nations need to share and make compatible environmental, geographic, and demographic data at a level that promotes

[*] U.S. Geological Survey, Mid Continent Geographic Science Center.
[**] Instituto Geográfico Militar de Chile.
[***] Instituto Brasileiro de Geografía e Estatística do Brasil.
[****] U.S. Geological Survey, Texas Water Science Center.

collaboration but does not compromise national security. The availability of global coverage of satellite imagery at various scales on a daily to monthly basis provides a consistent foundation for remotely sensing changes to the earth. The addition of a seamless digital map of the world has the capacity to provide contextual information to the satellite imagery that portrays the landscape. Currently, several private entities publish road maps and atlases at regional and global scales for profit. These data are not maintained through collaborative efforts between national mapping agencies and does not provide sufficient scientific quality to assess the state of the global environment (Estes and Mooneyhan 1994). The concept of the Global Map, proposed in 1992 by the Ministry of Construction and the Geographical Survey Institute of Japan at the Earth Summit of the United Nations Conference on Environmental Development, is based on the development, maintenance, and public access to high quality digital geospatial information on a global scale (Murakami, H. *et al*. 1997). Global map coordination through regional activities on the continental level promotes shared capacity building for geospatial technology, regional integration of standards, and practical real world applications.

Global Map of the World

The historical origin of the Global Map date back more than a century to the coordination efforts of the International Map of the World project (IMW) to produce a worldwide standardized map for planning and broad geographic analysis (Kelmelis *et al*. 2000). Theoretically, the IMW project was designed to unite the nations of the world through global environmentalism rather than international geopolitics, and to broaden the perspective of the national mapping agencies to standardize their cartography across international boundaries (Pearson *et al*. 2006). The purpose of the IMW map series at the scale of 1:1,000,000, which was proposed at the Fifth International Geographic Conference in Bern, Switzerland in1891 by Albert Penck (1858-1945), was to provide meaningful global comparisons and ability for countries to view their regional environmental surroundings. The 1:1,000,000-scale allowed sufficient detail for regional economic and political analysis (Pearson *et al*. 2006). Cartographic advocates stressed the need to work with major national mapping agencies to define common standards, such as projection, spelling of place names, symbolization, and detail of data themes. The slow progress, high costs, outbreaks of World War I and II, and inability to maintain consistency between countries greatly hampered the efforts. Several nations, such as the U.S. and Britain developed the IMW 1:1,000,000-scale series for areas of strategic interest. Private interests, such as the American Geographical Society surpassed the IMW pace to produce their private map series. The lack of agreement towards an international

purpose was probably the downfall of the project, whereas the greatest success of the IMW project can be attributed to its ability to unite international cooperation (Pearson *et al*. 2006).

Global Map of the World

Today the Global Map is a digital map initiative at the scale of 1:1,000,000 which aims to compile base data for the entire world at consistent specifications. The digital approach is estimated to be substantially less expensive than an analog approach (Pearson *et al*. 2006). The International Steering Committee of the Global Map (ISCGM) provides the institutional framework, support, and website (http://www.iscgm.org/cgi-bin/fswiki/wiki.cgi) for hosting the completed datasets of the Global Map.

The initial foundation for the Global Map vector layers, version zero, was based on the United States National Geospatial Intelligence Agency's Digital Chart of the World. The version zero Global Map raster layer base for elevation and land use and land cover was produced by the United States Geological Survey (USGS). Version one encourages each nation to contribute current geospatial data for the basic themes at the 1:1,000,000-scale (vector) and one kilometer ground resolution (raster) (Figure 1). The cartographic content includes vector graphic elements for the themes of transportation, hydrography, populated places, administrative boundaries, and the associated text attribute files. The elevation, vegetation, and land cover information are contained in maps of raster format.

The ISCGM supports the efforts of regional Global Mapping activities to develop regional technical capacity and data sharing efforts. Regional efforts provide a unified forum to support increased capacity for geospatial technology, promotion of spatial data infrastructure (SDI) and standards, and development of regional applications. Under the auspices of Pan American Institute of Geography and History (PAIGH), the Global Map of the Americas (abbreviated in Spanish by the initials MGA) working group was formed in 2005.

The Global Map of the Americas

The MGA project is a regional component of the Global Mapping project, with a strong focus towards capacity development, transboundary applications, and user applications for the American continents. Discussions for a regional coordination of the Global Map of the Americas initiated with a liaison agreement in 2003 between PAIGH and ISCGM. When the MGA was established as a PAIGH Technical Assistance Project in 2005, National sections of the PAIGH Cartography Commission nomi-

nated representatives from each country to participate in the project. The MGA held their first meeting in november 2005 during the Meeting of Consultation held in Caracas, Venezuela. The attending delegates produced a resolution for the Cartography Commission, submitted a project plan with a timeline, and established an Executive Committee. Countries represented included Chile, Brazil, United States, Argentina, Uruguay, Peru, Paraguay, Venezuela, Panama, Ecuador, Colombia, and Guatemala. The high level of synergy within the delegates and the members of the Executive Committee enforce strong working relationships between Cartography Committee member nations.

Objectives

The basic objectives of Global Map are shared with the MGA are to:

- Provide a consistent and seamless cartographic base at a regional scale for coordinating humanitarian issues, with a focus in educational and environmental topics for developing countries.
- Supply cartographic data and geospatial capacity to facilitate sustainable development decision support tools.
- Create a common cartographic base and spatial data infrastructure for projects requiring international cooperation, such as emergency response.
- Operate through the geo-spatial infrastructure to other international projects needing an interchange of data, capabilities, and technology.

Goals

The MGA works toward the following goals to support the general objectives of the ISCGM and reinforce the Global Mapping project:

- Coordinate a seamless version of the vector themes of the Global Map for the entire continent.
- Assist those countries of the region whose participation in the Global Map at the world level has been limited, or whose participation is at various stages of technological configuration advancement and in quality.
- Validate the existing Global Map raster initiatives by the ISCGM to define the best solutions for the Americas.
- Integrate the projects and products of the Global Map for each country into the needs of their respective local community, directly or by the means of the geospatial national infrastructure network

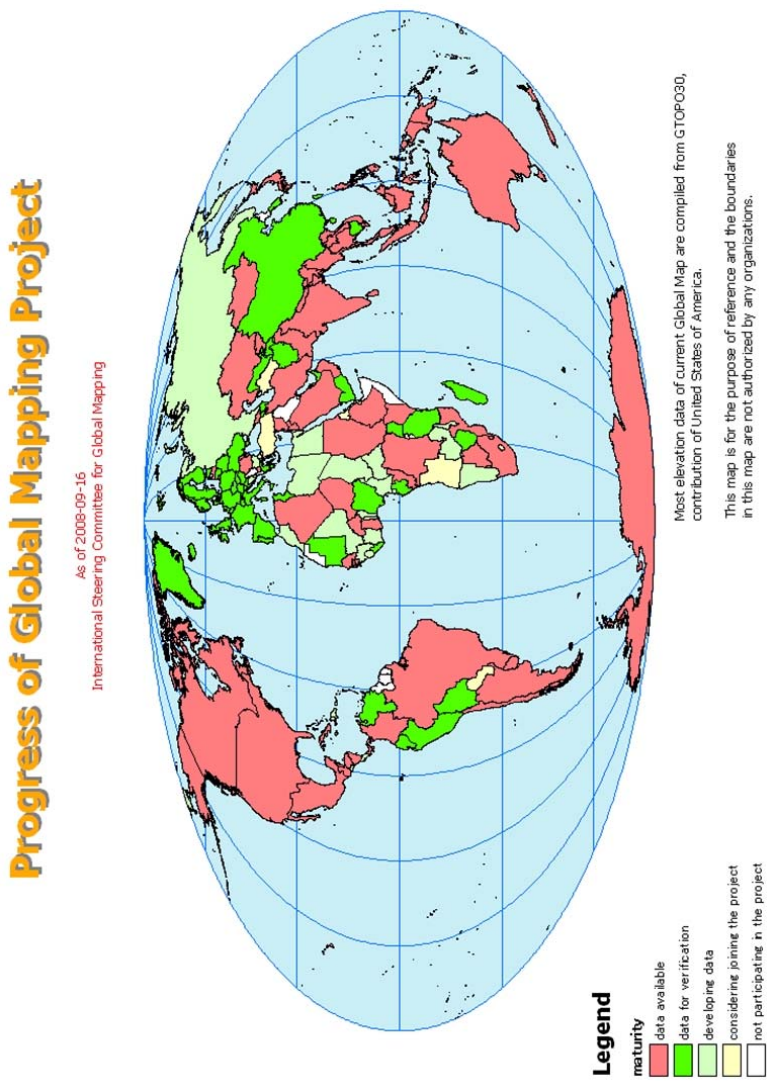


Figure 1. Progress map, dated September 16, 2008, showing version one submission and acceptance of global map data by each participating country.

Figure 2. The Global Map of the Americas homepage. The Website address is http://www.mgdelasamericas.org

To reach these goals, every country needs to develop a digital mapping capacity, which in turn will lead to greater applications of geographic information technology to manage their natural and human capital resources.

The MGA scale and vector data layer content are defined by the ISCGM. The MGA has the opportunity to provide advice about the content of the raster layers, such as land cover and elevation, based on regional needs. The 1:1,000,000 scale is convenient for some countries, as this may correspond to their national coverage scale. For smaller nations, such as those in Central America and the Caribbean, this small scale is too general for representation of major features in those countries.

Accomplishments and tasks of the Global Map of the Americas

Accomplishments of the MGA during the first year of PAIGH support included the development of a project plan, a MGA website www.mgdelasamericas.org (Figure 2), and increased communication through email to the various national section representatives. The MGA working group has met four times, in Caracas, Venezuela (2005), in Santiago, Chile (2006), in Itu, Brazil (2007) and in Panama (2008).

The Chilean section completed an evaluation of the vector Global Map data content, integrity, and harmonization between four countries in Central America and eight countries in South America. The preliminary results show that there is a high level of variation in the data produced by participating nations and provided in their first delivery to ISCGM. The variations occur both in quality (using ISCGM technical specifications as the standard), content (selection of feature classes) density of vector data, attribute table structure and data organization/structure. Recommendations include partitioning the harmonization tasks into regional coordination efforts focused on three areas: North America, Central America, and South America. For the vector layers, the hydrography layers should be integrated first, followed by transportation and populated areas. The boundary layer is the most problematic, due to the political issues surrounding the exact location of international boundaries. The international boundaries are only representations of the official boundaries. A final recommendation is to submit all data in geographic coordinates.

The Ecuadorian section was recently awarded a Global Spatial Data Infrastructure grant to develop a Global Map of the Americas participation and application survey. This survey will be distributed to national geography agencies, national environmental agencies, non-governmental organizations, and supranational entities. The results will guide the MGA working group in determining which countries need capacity building, what applications are most relevant for

the project, and where to look for available funding to support data harmonization.

Individual country efforts

Policy issues, technical considerations, and the amount of additional effort vary for each country that has submitted data to the Global Map program. In the three case studies presented here, the Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE)was able to modify their Cartographic Integrated Digital Database of Brazil program to accommodate datasets for acceptance to the ISCGM. The Instituto Geografico Militar (IGM) of Chile integrated data from three different sources. For the United States, the USGS applied various technological methods to develop a 1:1,000,000-scale networked hydrography data layer.

Chile

The IGM of Chile combined data from the Aerophotogrammetric Service of the Air Force, the IGM and an external source for the Antarctic sector to create the vector layers. For the raster layers (elevation, land use, land cover and vegetation), the original version zero data was compared to a series of sample sites with locally-produced cartographic information as a reference (Hunt 2004).

In 2006, when the ISCGM provided their comments and requests for improvements to the IGM for the vector layers for Chile, a new source of data for Chile had become available, the official IGM digital cartography at 1:250,000 scale. Therefore this improved data from 2006 replaced the original vector layers. In 2007 the data has been subjected to a series of legal checks leading up to authorization by the Foreign Affairs Ministry.

Brazil

Global Map of Brazil was developed at the Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) as a subset of the 1:1,000,000-scale Cartographic Integrated Digital Database of Brazil (bCIMd). In May 1999, when IBGE was invited to officially take part in the Global Map program, procedures were developed to adapt the bCIMd to the Global Map specifications. The Coordination of Natural Resources and Environment (CREN) is responsible for data related to vegetation, land use and land cover. Beginning in 2001, the IBGE participates in the Global Map as a level B participant, which designates it as a country that is qualified to provide assistance and capacity building to other countries.

The process of developing the Global Map of Brazil began when two technicians from the Cartography Discipline of the GeoSciences Branch went to Japan to receive training in 2001 and 2002 of which culminated in the IBGE initially releasing the first version of its bCIMd in December 2003 within Brazil. Even though the scale of the bCIMd, 1:1,000,000, is similar to the Global Map, the structure is different. Therefore, the bCIMd needed to be reformatted and adapted to the specifications of the Global Map. In October 2004, IBGE sent the first version of the data to the ISCGM for validation. During 2005, IBGE and ISCGM coordinated the validation and corrections to the data. In July 2005, Geographical Survey Institute (GSI) and the Agency of International Cooperation of Japan (JICA) provided training to improve the users understanding of the specifications of the Global Map data model. In 2007 the IBGE published the final accepted data of Global Map of Brazil on the site of ISCGM (Figure 3).

United States networked hydrography layer

The USGS is the lead agency for providing Global Map data for the United States. The challenge for the USGS is that the scale of 1:1,000,000 is not maintained at a national level for the country. The USGS concentrates their digital mapping efforts at larger scales such as 1:100,000-scale and 1:24,000-scale. Therefore, the challenge required to produce data for the Global Map, which will be also be incorporated into the National Atlas, included deriving consistent and current data at the appropriate density, detail and accuracy at the smaller scale of 1:1,000,000.

The process for developing the hydrography layer included integrating various datasets and applying geospatial analysis methods to automate the process for the entire country. The final National Atlas product maintains the connectivity and routing networks that were developed for the higher resolution National Hydrography Dataset (NHD). The NHD is a networked hydrography dataset at both the 1:100,000-scale and 1:24,000-scale for the United States. Each vector segment is labeled with a flow direction, which allows a user to trace the flow of water across watersheds and basins. Waterbodies are portrayed as both polygons and vector flow lines to accommodate the network connectivity. The standards for the global map product do not provide an attribute field for flow direction, but all arcs will point in the direction of flow. For the production of the Global Map hydrography layer for the United States, the flow lines of the 1:100,000-scale NHD were thinned to match the density and generalization of the 1:1,000,000-scale International Map of the World and the currentness of the 1:2,000,000-scale National Atlas hydrography layer (Figure 4).

Regional applications for the Global Map of the Americas

Potential MGA applications include both results-oriented applications, (for example, harmonized datasets for analysis and reference and additional relevant thematic layers such as conservation units and Indigenous Lands), and international coordination activities that may include the development of spatial data infrastructure standards between regional entities. Results oriented applications are easier to measure and quantify, whereas coordination activities provide an important link for future endeavors.

Disaster management preparedness and planning

A major objective of the Global Map is to support the development of national and continental spatial data infrastructures throughout the world. The more developed nations are encouraged to assist nations with limited geospatial expertise. Implementing a systematic, standards-based approach to the integration of geospatial technology within the Americas provides a firm platform for disaster management, sustainable management of the environment, and monitoring of natural resources (Asante *et al*. 2006). The Global Map of the Americas provides the framework for small-scale integrated vector and raster data layers for the Americas and supports capacity building of geospatial technology between neighboring countries.

During recent events, such as Hurricane Katrina and the Asian Tsunami of 2004, geographic information technology for natural hazard and emergency response had a powerful role. Geospatial data and technology are needed in many phases of disaster management, such as preparedness (risk and vulnerability), early warning, response, recovery, and reconstruction (Asante 2006). The challenge is to integrate a wide range of data sources needed for disaster management. The problem is greatly compounded for disaster management across international boundaries. Well developed SDIS that can communicate both within the country and transboundary can provide the framework needed to integrate the data from diverse sources. A regional SDI needs to consider the need for data at different scales. During the preparedness and early warning stage, without a clearly defined disaster location, disaster managers need small-scale regional data concerning populated areas, names, jurisdictional boundary data, topography, and road infrastructure. The Global Map of the Americas can provide this data in a consistent and seamless format across international boundaries. Once the disaster strikes, larger-scale and more detailed data can be used by emergency responders, linked with other types of data such as the locations of hospitals, shelters, police command centers, and utility networks. Prior planning and communication between multiple countries within a region greatly facilitates response and recovery efforts if the disaster affects multiple countries. A regional SDI developed through the Global Map process can provide the platform for regional disaster planning.

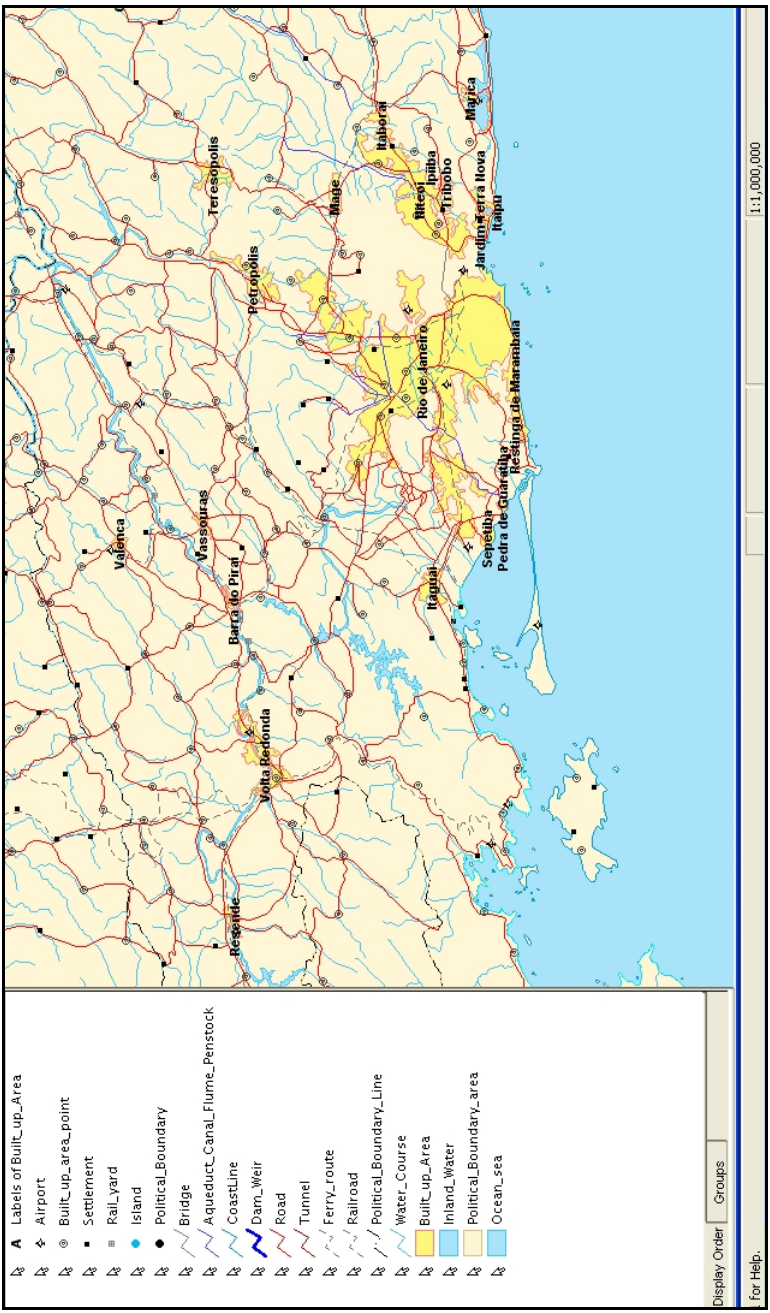


Figure 3. Vector Global Map data for the Rio de Janeiro region of Brazil.

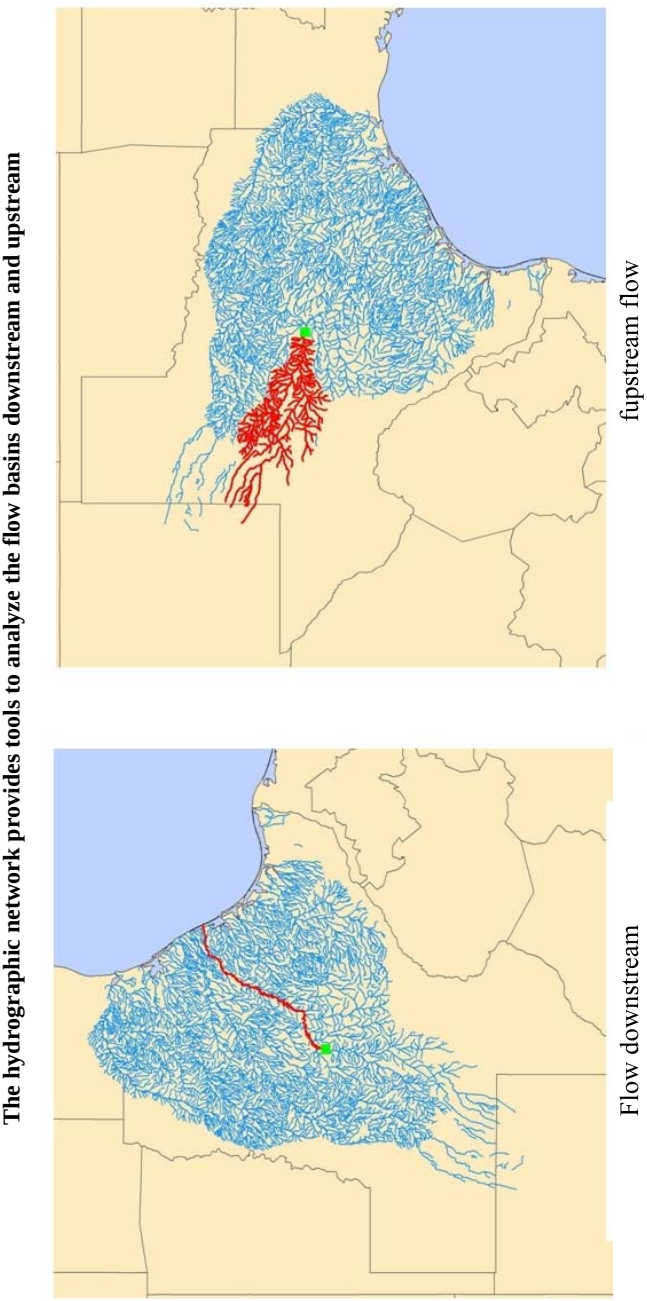


Figure 4. Blue lines show the 1:1,000,000-scale networked hydrography for the Gulf Coast watershed in Texas. The red flow lines show downstream and upstream flows from a specific point on the stream network.

Environmental applications with satellite imagery

Environmental cooperation on a world wide scale underlies the basic foundation of the Global Map. Remotely sensed satellite data play an important role in providing a continuous temporal dataset for monitoring the environment. Satellite imagery is used both by scientists to directly measure and classify the changes to the environment, and also by policy makers to provide a visual picture of man's effect on the environment to decision makers. In producing the visual images for the " One Planet, Many People" book and online datasets (http://www.na.unep.net/OnePlanetManyPeople/), the United Nations Environmental Program (UNEP) and the USGS quickly realized the need to provide contextual information such as jurisdictional boundaries and names of populated places or major landmarks to the satellite images. The Global Map of the Americas can provide these regional data layers to place these images within the anthropogenic context of our world. Google Earth, another popular viewing system of remotely sensed data, could be greatly improved by integrating more current and accurate regional data layers from the Global Map.

Transboundary watershed assessments

In a variety of cases, the natural environmental boundary formed by major rivers and waterbodies also forms a dual administrative boundary between states and nations. When two or more countries share a hydrographic natural resource, international cooperation is needed to monitor changes to the landscape that may affect water availability, water quality, and risk vulnerability due to floods for the population within and downstream of the watershed. Exchanging and integrating environmental and cartographic data between the cooperating entities can be a tremendous challenge for the diverse governmental entities due to the differences in national standards between the member countries. A regional cooperative initiative, such as the Global Map of the Americas provides the supranational structure for scientists and technicians to develop solutions for harmonizing the various databases. For example, the Organization of American States (OAS) supports several sustainable transboundary watershed projects in Latin America. Two of these projects, the Cuenca de la Plata and the Amazonas, necessitate coordination between four or more countries. These projects need a variety of datasets such as base fundamental cartographic data, specific watershed characteristics, demographic statistics, and specialized hydrologic legacy data. The Global Map of the Americas can provide the regional fundamental data layers, a catalyst to provide capacity training in geographic information technology for those countries in need, cartographic data standards, and a formalized supranational structure for supporting scientific partnerships between participating countries. The technical and partnership capa-

bilities of the Global Map of the Americas provide a framework for the transboundary watershed applications to harmonize data at higher resolutions and encourage data sharing between countries in the Americas.

Geographic education

Small-scale digital cartographic data can be an educational aid to learning geography and computer technology for elementary and high school students by playing a role equivalent to that of the traditional school atlas, where small-scale maps of continents are the norm (Hunt 2006). It is appropriate for students to start becoming familiar with the cartographic aspects of geography using these small-scale maps. Children new to spatial data concepts will more readily recognize the shape of countries, islands and continents when they are already familiar with outlines appearing in other contexts such as continent and country silhouettes included in illustrations to literature and juvenile scientific texts, educational posters, and even flags. Finding these outlines again in the Global Map, then zooming in to find a certain amount of detail not previously understood will help children to grasp fundamental mapping concepts before going on to observing larger scale data.

Conclusion

The Global Map of the Americas is an ambitious project that can provide both harmonized geospatial data for the continent and capacity building capability between member countries. PAIGH support contributes seed funding and logistical coordination for technical project meetings. The ISCGM furnishes the standards and training materials. The success of the Global Map from a technical viewpoint includes the appropriateness of the scale for regional applications, the ease of using the framework and data, and its application for monitoring the environment.

Regional applications contribute relevancy to the project, enhance visibility, and increase the value of the data. For example, the North American Atlas project which coordinates harmonization of small scale data for Canada, United States, and Mexico has built strong partnerships between Natural Resources Canada (NRCan), USGS, and Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática de Mexico (INEGI) to develop tri-national standards for the base cartographic data layers. These institutional partnerships provided the framework to develop a land cover monitoring project for North America, where each country will provide yearly updates to land cover datasets using similar classification methods, and harmonized spatial and temporal resolutions. The unification of scientific applications through geography and mapping provides an institutional framework to increase cooperation for environmental issues.

Bibliography

Asante, K.O, Verdin, J.P., Crane, M.P., Tokar, S.A., Rowland, J. (2006), *The role of Spatial Data Infrastructure in the management of natural disasters*, Global Spatial Data Infrastructure 9 conference proceedings, Santiago, Chile, 6-10 November, 2006.

Estes and Mooneyhan, (1994), *Report of the International Symposium on core data needs for environmental assessment and sustainable development strategies*, Bangkok, Thailand, Nov. vols. I, II, Washington D.C., U.S. Geological Survey, vol. 59 pp.; vol. II, 130 pp.

Hunt, E., (2004), "Chile en el Proyecto 'Mapa Global' y la Evaluación de las Cartas Raster", *Revista Geográfica de Chile – Terra Australis*, núm. 49, pp. 157-178, Santiago, Chile.

———, (2006), *New directions in applications for the global map*, GSDI-9 conference proceedings, 6-10 November, 2006, Santiago, Chile: accessed on 2 October, 2007 at http://www.gsdi9.cl/english/papers/TS34.4paper.pdf

Kelmelis, J., Hearn, P., Verdin, J., (2000), *Global Map: Multiple scales for critical decisions*, presented at Global Mapping Forum 2000, Hiroshima, Japan, 28-30 November, 2000.

Murakami, H., Nonomura, K., Nobuo N., Maruyama, H., (1997), *Global Mapping Initiative – past, present, and future*, Geographical Survey Institute, Ministry of Construction, Tsukuba, Japan, accessed 2 October, 2007, at http://gsdidocs.org/docs1997/97_murakami.html

Pearson, A., Taylor, D.R., Kline, K.D., Heffernan, M., (2006), "Cartographic ideals and geopolitical realities: International maps of the world from the 1890's to the present", *The Canadian Geographer*, no. 2, pp. 149-176.

Modelo Digital del terreno y Cartografía del Volcán de Colima (México) utilizando imágenes Landsat y un Sistema de Información Geográfica

José Miguel Gaspar Soriano*
Ignacio Galindo Estrada**

Abstract

This paper shows the importance and repercussion that it has the joint use of satellite techniques together with Geographic Information Systems (GIS) in the study of environmental problems: An analysis is presented using a multispectral Landsat 7 image with 8 channels centered at the Colima Volcano, the main features are identified, classified and processed after its treatment and improvement obtaining a classification of the zone of study. Subsequently, using a Geographic Information System (GIS) a regional cartography is developed as well as a Digital Elevation Model (DEM). These products are remarkably improved by integrating the DEM in the Landsat image.

Keywords: *Colima Volcano, Cartography [Geographic Information Systems (GIS)], Landsat Image, Digital Elevation Model*.

Resumen

Este artículo trata sobre la importancia y la repercusión que tiene el uso conjunto de las técnicas satelitales y las herramientas provistas por los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en el estudio de problemas del medio ambiente. Se presenta un análisis utilizando una imagen Landsat multiespectral de ocho canales centrada en el Volcán de Colima, se identifican los principales rasgos, clasifican y procesan después de su tratamiento, obteniéndose una clasificación de la zona de estudio. Subsecuentemente, utilizando un Sistema de Información Geográfica, se desarrolla

* ETSI Geodésica, Cartográfica y Topográfica, Universidad Politécnica de Valencia, España, correo electrónico: jogasso@topo.upv.es.

** Centro Universitario de Investigaciones en Ciencias del Ambiente (CUICA), Universidad de Colima, México, correo electrónico: igalindo@ucol.mx.

una cartografía y un Modelo Digital de Elevaciones (MDE). Estos productos se mejoran notablemente al integrar el MDE en la imagen Landsat.

Palabras clave: *Volcán de Colima, Cartografía [Sistemas de Información Geográfica (SIG)], Imagen Landsat, Modelo Digital de Elevación*.

Introducción

En cualquier zona del planeta con un alto riesgo volcánico, como ocurre en este caso en Colima (México), se justifican estudios en diversos ámbitos tendientes a conocer y mitigar el riesgo. En el presente trabajo se han utilizado diversas técnicas de teledetección espacial y herramientas de Sistemas de Información Geográfica, conocidas como herramientas SIG (Longley *et al*. 2002). Es principalmente en este tipo de técnicas en las que se centra este artículo.

Este tipo de estudio no aporta una información cuantitativa pero si ofrece un gran resultado visual, y con ello una fácil interpretación del medio donde está ubicado el volcán, sirviendo así de esta manera a un apoyo en diferentes áreas de estudios dentro del tema de volcanología.

La recepción en el CUICA (Centro Universitario de Investigaciones en Ciencias del Ambiente) en tiempo real de imágenes satelitales NOAA desde 1994 nos ha permitido confirmar que el Volcán de Fuego de Colima es el volcán más activo dentro de los 14 volcanes actualmente activos de México (Galindo y Domínguez 2002, 2003). En esta región, la población está continuamente alertada por las actividades de este volcán y la gran sismicidad de la región, y con el valor añadido de la proximidad existente entre este y pueblos colindantes, donde ya en más de una ocasión han sido advertidos por el riesgo que corren, como por ejemplo la gran erupción producida en 1913 (Saucedo Girón 1997), o el intenso temblor producido en el centro de la ciudad de Colima en enero de 2002. De ahí la justificación de dicho estudio, ya sea con unas herramientas u otras.

Se utilizaron técnicas SIG junto con los datos proporcionados mediante Medición de Distancia con Láser, conocido con las siglas LIDAR (*Light Detection and Ranging*), que actualmente son una novedad para adquirir estos datos digitales de elevación, y que sirve para aplicaciones de mapas a gran escala y la creación de Modelos Digitales de Elevación (MDE), que posteriormente es posible incorporar en las imágenes satélites, para obtener así un resultado visual excelente, dando una visión lo más certera de la superficie del terreno.

El hecho de hacer este tipo de representaciones tridimensionales hace posible un estudio topográfico de la zona, y consiguiente estudio del riesgo, así como una fácil interpretación en cuanto a la orientación de las pendientes, vaguadas, y posibles surcos por donde fluyen los restos volcánicos.

Los fundamentos de este trabajo son el proveer a las autoridades de Protección Civil representaciones digitales en gráficas tridimensionales del terreno, con las

cuales se pueden tomar decisiones de protección a la población más fidedignas de la realidad.

Por todo lo anteriormente comentado, y debido al gran crecimiento de esta ciudad de Colima, tanto industrial como residencialmente, se hace imprescindible una mejora en los estudios del medio ambiente, con el aporte de modelos digitales tridimensionales dotados de una gran viabilidad en el estudio de los riesgos volcánicos, debido al carácter gráfico que presentan.

Por otro lado, se utilizan también técnicas satelitales para mejorar su interpretación visual y proceder a realizar una clasificación de los materiales del terreno que junto con la utilización de herramientas SIG, permiten hacer estudios teniendo en cuenta multitud de variables del medio, se procede al cartografiado de los diferentes materiales que hay en el medio de una manera fácil y con resultados gráficos muy óptimos.

En este caso, son los SIG, también conocido con las siglas GIS, y técnicas de teledetección espacial las que aportan una ayuda al estudio del medio en el que se vive.

Objetivo del proyecto

Diseñar y preparar un Modelo Digital del Elevaciones en el área del Volcán de Colima.

Justificación del uso de herramientas SIG y teledetección

Tal y como se ha comentado, el Estado de Colima está experimentando un gran desarrollo, tanto a nivel residencial, como industrial. Todos estos factores junto con la proximidad del volcán más activo del país ha hecho que nazca una clara necesidad de un estudio del medio ambiente, siempre necesario, pero más aún cuando se presentan situaciones como esta, con algunas alertas considerables vividas en anteriores ocasiones.

Ya se sabe la importancia que tiene hacer un buen análisis previo de la zona, a la hora de definir o aproximarnos a una correcta delimitación de los riesgos naturales, para hacer un estudio detallado, ya que si no es así, las consecuencias que puede desatar una ubicación errónea frente a estos riesgos ambientales pueden ser irreparables. La no utilización de estas técnicas o el mal manejo de las mismas puede influir en decisiones a nivel social frente a estos riesgos naturales, acarreando consecuencias irreversibles, tanto económicas como sociales.

Se requiere la realización de una gran cantidad de operaciones de análisis, para obtener una correcta clasificación, y conocer la fiabilidad del trabajo realizado, de esta manera se decidió efectuar el estudio detallado de la zona colindante al Volcán

de Colima con la utilización de un SIG, en el cual la imagen utilizada para dicho estudio tuvo que estar georeferenciada previamente, para poder posteriormente introducirle el MDE, y también poder hacer una clasificación correcta en la proyección adecuada.

Por otro lado, según la actual legislación sobre la construcción es necesario hacer un estudio de impacto medioambiental para cualquier zona que se quiera urbanizar, la repercusión que dicho estudio realizado tiene en este tema es que sirve como un estudio *a priori* para dicha evaluación de impacto medioambiental, y conocer de alguna forma la naturaleza del medio, aunque de forma poco rigurosa. Como nueva aplicación a partir de este ejemplo se puede citar el estudio de nuevas ubicaciones del uso del suelo, sirviendo a su vez como apoyo en el estudio de planificación del territorio.

Análisis de la imagen de satélite, clasificación y cartografía

En este punto es vital tener presente ciertos criterios geográficos, cartográficos y técnicos sobre la realización de dicha clasificación de la zona. En este caso se ha tenido en cuenta la diferente respuesta espectral de cada uno de los diferentes materiales de la zona.

Los programas que se han empleado en este estudio han sido:

- ArcGis v8.3, se procede a cartografiar la cobertura referente a las clasificaciones, realización del TIN (modelo vectorial), y su integración en la imagen satelital.
- Envi 4.0, con él se realiza el análisis de las regiones de interés y su posterior clasificación. Y la mejora visual mediante técnicas de corrección y realce en la imagen satelital.
- Surfer 8.0, para la realización del modelo digital de elevaciones del Volcán de Colima (modelo *raster*) y de la zona colindante.

Cartografía de partida

La información de partida proporcionada es una imagen del LANDSAT 7 (Figura 1), formada por 8 bandas espectrales, donde la mayor novedad se encuentra en esta última banda perteneciente al pancromático con una resolución de 15 m, 30 m en las bandas 1, 4, 5, y en las bandas 6.1, 6.2 y 7 una resolución de 60 m, con lo que se muestra una gran ventaja en relación costo-beneficio frente a su antecesor LANDSAT 5. Se parte de una imagen que contiene información multiespectral, que va desde el visible, infrarrojo medio y cercano hasta el infrarrojo térmico.

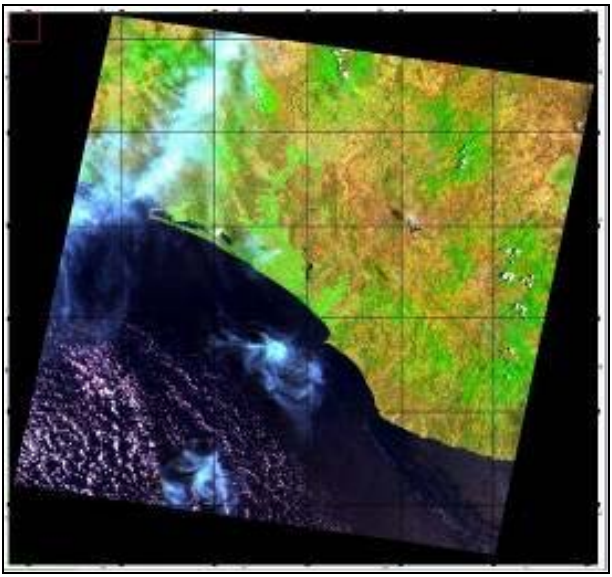


Figura 1. Imagen de la zona de estudio, obtenida por LANDSAT 7. Combinación de bandas 7, 4, 1.

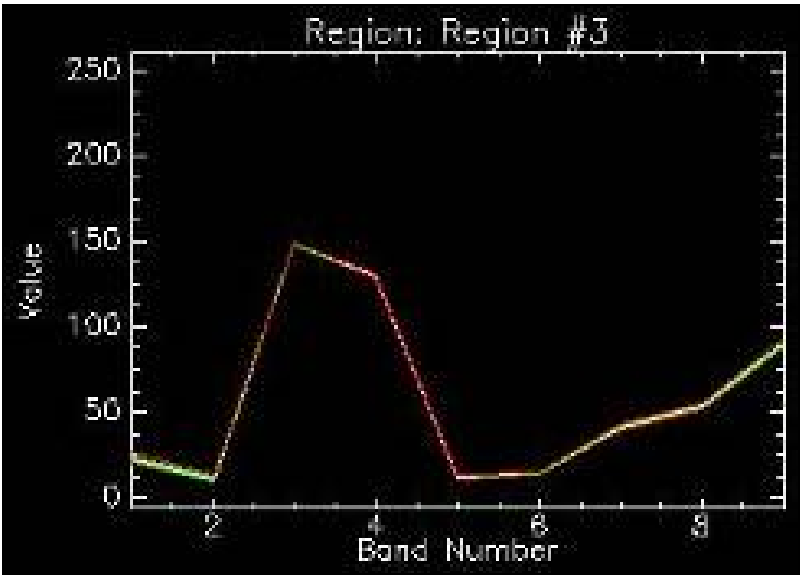


Figura 2. Gráfico de la respuesta espectral de aguas profundas en cada una de las bandas.

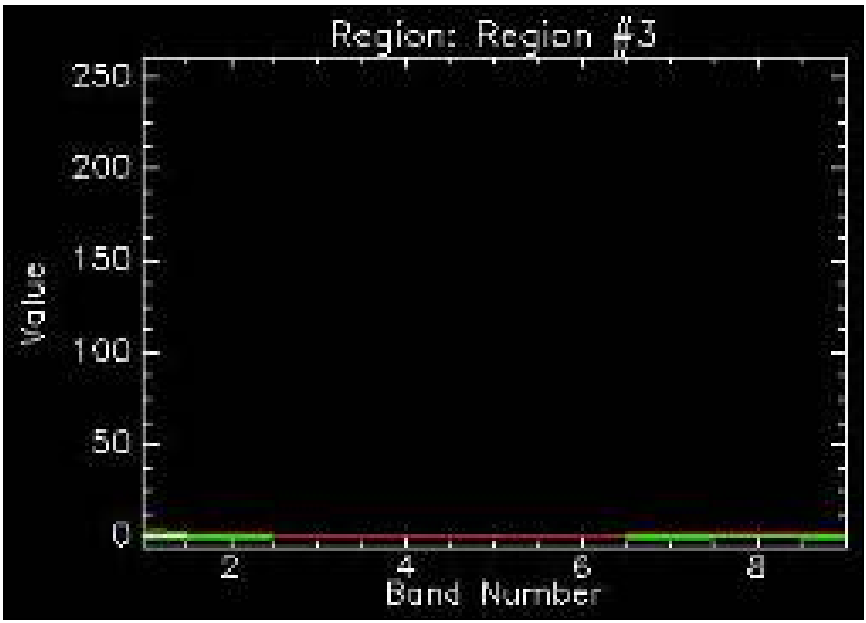


Figura 3. Gráfico donde se muestra la respuesta espectral de cada una de las bandas en zonas de aguas profundas tras haber aplicado la corrección.

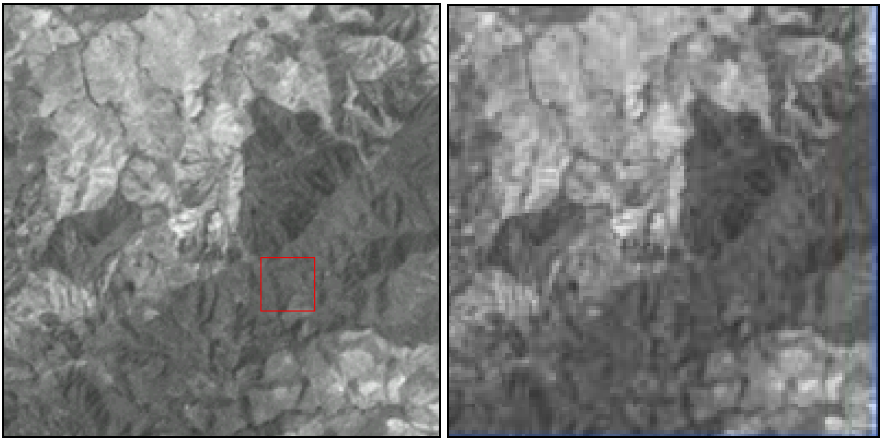


Figura 4. Imagen original e imagen resultante tras haber aplicado un filtro de media 3x3.

Análisis efectuado

Se procede a realizar a una serie de correcciones en la imagen. El estudio se realiza observando si hay pérdidas de píxeles o errores de bandeado, que en ningún momento se detectaron. Posteriormente, se le aplica una corrección producida por la transmisividad atmosférica. Para ello primeramente se escoge una zona (Figura 2) donde se sabe su respuesta espectral teórica y se compara con la respuesta espectral obtenida por el sensor.

La diferencia entre el valor teórico y el valor obtenido es el error cometido por la dispersión atmosférica. Al aplicar esta corrección el valor obtenido en cada una de las bandas en esa superficie tiene que ser 0 (Figura 3), ya que en este caso la superficie escogida son las aguas profundas debido a que se conoce su respuesta espectral y el valor teórico es 0.

Se supone que el error producido por la dispersión atmosférica afecta por igual a todas las regiones de interés, o zonas de estudio. En realidad no es así, sino que esta dispersión atmosférica afecta de forma distinta a cada una de las respuestas espectrales de las regiones de interés. Este tipo de corrección requiere de un análisis y estudio de la zona exhaustivo, y para ello es necesario conocer exactamente cual es la respuesta espectral de cada una de la regiones en campo, con ayuda de radiómetros que en este caso no se disponía de él, por este motivo, se da por válida la corrección realizada, al suponer un error constante en cada una de las zonas de estudio.

Posteriormente, se realiza una serie de técnicas de realce en la imagen, para conseguir una mayor interpretación, mediante la aplicación de filtros (Figura 4), estudiando así cual es el que mejor resultados ofrece para la imagen en cuestión, que en este caso es el filtro de media.

Regiones de interés y estudio estadístico

Se realiza una clasificación a groso modo, pues las malas condiciones ambientales que existían en el momento de la captación de la imagen por el satélite no permitían realizarlo de otra forma, pero si al menos diferenciar, en líneas generales, los materiales más predominantes de la zona (Tabla 1). Las muestras escogidas son:

Tabla 1
Muestra de las regiones de interés escogidas para la clasificación

Zonas de cultivo
Hidrografía
Zonas de montaña
Núcleo urbano
Zonas con gran nubosidad

Se procede a definir en la imagen una serie de regiones de interés y mediante su respuesta espectral se obtiene una ligera clasificación. Para ello, previamente se realiza una serie de estudios estadísticos, cuyos resultados establecen que regiones de interés están bien definidas y cuales no, así como el poder de discriminación entre unas y otras, pudiendo así determinar la bondad del trabajo realizado.

Para comprobar la fiabilidad de esta clasificación se procede a realizar un estudio estadístico (Tabla 2), cuyos resultados son los siguientes:

Tabla 2
Expresa el grado que es posible discernir entre unos elementos y otros, mediante la distancia a cada una de las bandas dos a dos, de forma que cuanto mayor separación entre las bandas, mejor discriminación y con ello una mejor clasificación

	Pair Separation
Monte_Cultivo	1.52736286
Núcleo urbano_Cultivos	1.72578184
Núcleo urbano_Monte	1.86216115
Nubes_Monte	1.99945749
Hidrografía_Nubes	1.99995362
Nubes_Cultivo	1.99998573
Hidrografía_Monte	1.99998617
Hidrografía_Cultivos	1.99999962
Nubes_Núcleo urbano	2.00000000
Hidrografía_Núcleo urbano	2.00000000

Existen otros datos estadísticos que permiten afinar más sobre los resultados obtenidos, permitiendo asegurar con que grado de aproximación se ha realizado la clasificación:

– *Fiabilidad global (Overall Accuracy):* relación existente entre el total de píxeles de test clasificados correctamente y los píxeles totales del test.
  Píxeles: 1211760 / 1258650
  Porcentaje: 96.2746%
– *Coeficiente Kappa (Kappa Coefficient):* expresa la reducción del error al aplicar la clasificación, respecto al error que se hubiera producido realizando una asignación aleatoria.
  0.9372
– *Fiabilidad del productor (Prod. Acc.):* relación existente entre los píxeles asignados a una clase y los totales realmente existentes de esa clase (probabilidad de que un píxel perteneciente a una clase dada sea clasificado correctamente).

Con estos datos que se muestran se concluye que las clases con una mayor fiabilidad en su clasificación son: hidrografía y núcleo urbano. La clase con menor fiabilidad son los cultivos.

Gracias al análisis realizado en la imagen satelital es posible, mediante las regiones de interés estudiadas, realizar una clasificación, y con ello su representación cartográfica.

Los resultados visuales *a priori* son: Figura 5.

El último paso, en este proceso de clasificación, es emplear un método llamado Class Dump (Figura 6), que permite unir todos los polígonos que tienen un mismo atributo.

Este proceso permite mejorar visualmente el aspecto de la imagen para su posterior representación cartográfica.

Cartografía

Finalmente mediante técnicas SIG se procede a cartografiar la imagen resultante (Figura 7) después de todo el proceso de clasificación realizado. Previamente la imagen tuvo que ser georeferenciada con puntos de apoyo en el terreno, que posteriormente también servirá para incorporar el MDE en ella.

Dada la cantidad de operaciones de análisis requeridas, así como de sus correcciones y técnicas para mejorar la interpretación de la imagen, y su posterior clasificación, se optó por utilizar el programa Envi 4.0, ofreciendo resultados muy satisfactorios. Para el cartografiado se utilizaron herramientas SIG con el software comercial ArcGis de la casa ESRI. Estos programas fueron ideales, ya que son herramientas informáticas capaces de gestionar y analizar una gran cantidad de datos.

Queda demostrada la gran ventaja de este tipo de tecnología para estos estudios, así como una garantía en los resultados obtenidos, factor determinante para la realización de este trabajo.

Creación del modelo digital de elevación

Se realizaron diferentes Modelos Digitales de Elevaciones de la zona del Volcán de Colima. Las coordenadas terreno fueron capturadas mediante LIDAR. Los sistemas LIDAR colectan datos de posición (x, y), y de elevación (z) en intervalos predefinidos. Los datos resultantes LIDAR son una red de puntos muy densa, en este caso los datos estaban a intervalos de 5 metros.

Para modelizar la superficie es necesario acudir a métodos de interpolación ya que no es posible medir todos los puntos de la superficie. Estos métodos de interpolación espacial permiten calcular el valor altimétrico de toda la superficie conocien-

do el valor de esta variable en otras posiciones. Los interpoladores que se utilizan son locales, operan sólo dentro de una pequeña zona alrededor del punto a interpolar, de tal forma que un cambio en un dato muestral solo afecta a una pequeña zona (los valores altimétricos serán más parecidos cuanto más cerca se encuentren los elementos entre sí). Se les denomina método exacto cuando se genera una superficie donde los datos muestrales coinciden con la altimetría.

"Krigeado"

Uno de los interpoladores utilizado es el Kriging (Longley *et al*. 2002), es un método geoestadístico de interpolación exacto, y genera superficies suavizadas. Representar la tierra, con la variación espacial tan irregular que tiene, resulta muy difícil mediante una función matemática que genere una superficie suavizada, por este motivo crea una superficie estocástica con valores probabilísticos.

Una de las ventajas a destacar es que genera un valor de error asociado a cada punto interpolado, y una estimación acerca de la varianza de la superficie, de modo que hay un rango de valores posibles para cada punto. El programa que se utilizó fue el Surfer 8, obteniendo una imagen *raster* (Figura 8), que está formada por matrices en las que celdillas de igual forma y tamaño representan una zona de la superficie terrestre con valores numéricos (cotas equidistantes que se sitúan en los centros de celdillas). Desde el punto de vista de ponderación se considera el mejor método.

Por el contrario, no permite el tratamiento de discontinuidades topográficas que supongan cambios bruscos como rupturas de pendiente, ya que genera modelos muy suavizados.

TIN

Posteriormente, y para comprobar que modelo se ajusta más a la realidad se procede a realizar otro Modelo Digital de Elevaciones mediante herramientas SIG empleando un modelo vectorial, en concreto un TIN (*Triangulated Irregular Network*). Esta red se define como un conjunto de triángulos irregulares adyacentes y no superpuestos. Este plano se ajusta a tres puntos no colineales que junto con otros planos forman un mosaico (Márquez J. 2004). La interpolación que se utiliza es también local, y exacta, asigna a cada punto a interpolar un valor que depende del que posean los tres puntos muestrales más cercanos. Estos puntos son los vértices del triángulo que lo contienen, respetando la altura de los puntos muestrales ya que son los vértices de los triángulos. Es el único que respeta la altimetría original, a diferencia del modelo *raster*.

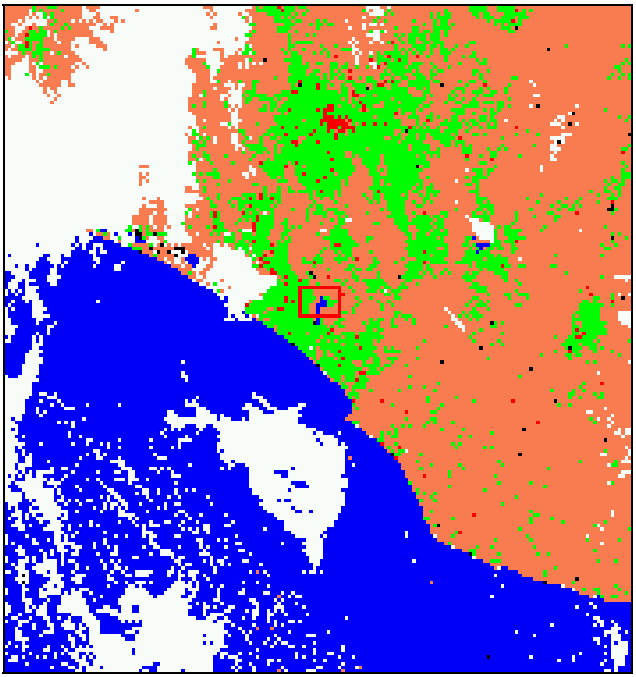


Figura 5. Imagen resultante de la clasificación supervisada.

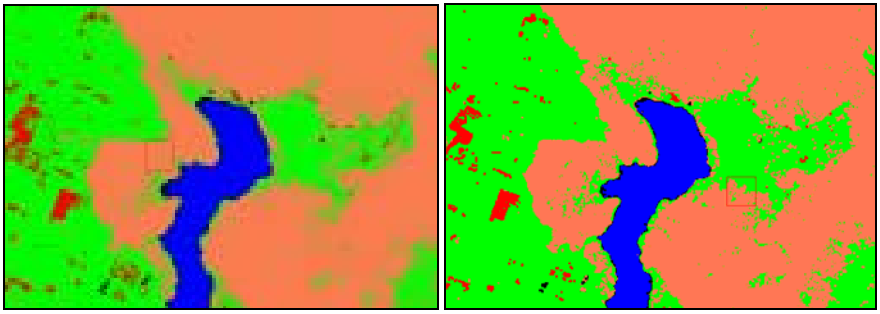


Figura 6. Diferencia entre la imagen con Clasificación Supervisada, antes y después del proceso Post Clasificación ClassDump.

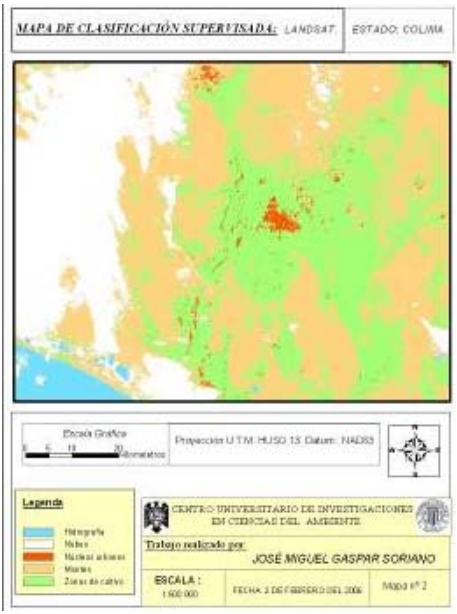


Figura 7. Cartografiado de la clasificación supervisada de la zona de estudio a partir de la imagen obtenida por LANDSAT 7.

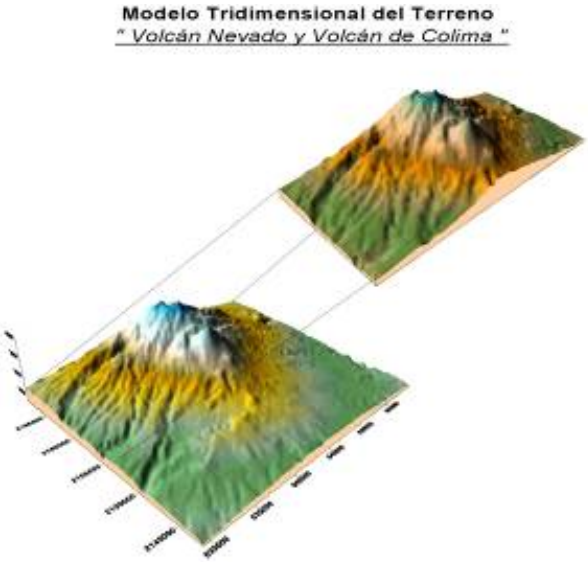


Figura 8. Modelo tridimensional del Volcán de Colima y el Volcán Nevado mediante datos LIDAR (*raster*).

Figura 9. TIN generado a partir de los datos obtenidos con LIDAR (vectorial).

Si los puntos definen bien el terreno, el TIN (Figura 9) podrá representar de forma precisa una superficie con menos puntos que otros modelos. El software empleado ha sido el ArcGis 8.3, y el algoritmo utilizado es el de Delaunay, es el método más habitual de triangulación debido a que sus triángulos intentan ser lo más equiláteros posibles. Es más rápido que realizar un *raster*, y ocupa más memoria, pero es lo más satisfactorio para superficies topográficas con fuertes discontinuidades porque se adapta a la complejidad del terreno, conformando una red de triángulos más densa allí donde es mayor el número de puntos muestrales.

El mayor inconveniente es que no tienen en cuenta la altura de los puntos que son vértices de un mismo triángulo. Tiene en cuenta la distribución de los puntos pero no la forma de la superficie que va obteniéndose. En zonas donde los nodos tienen igual cota se crean triángulos (planos), que modifican la forma de la superficie. Una de las condiciones de este método es que se conserve la equiangularidad, al producirse este hecho ya no se unen los triángulos planos con el resto, y se produce una falta de suavizado en estas zonas de la superficie.

Si la orografía del terreno es abrupta, como es este caso, y se dispone de puntos característicos del terreno entonces es muy probable que este modelo sea el que más se ajuste a la realidad de la superficie sin perder precisión planimétrica en la interpolación y respetando la altimetría original.

Creación de un GRID

Se procede a transformar la imagen TIN (modelo vectorial) a un Grid (modelo *raster*). Se utiliza de nuevo el programa ArcGis 8.3, donde existe una opción lineal que mantiene la pendiente propia de cada uno de los triángulos. Al proceder a esta transformación se observan cambios bruscos en el paso de un triángulo a otro.

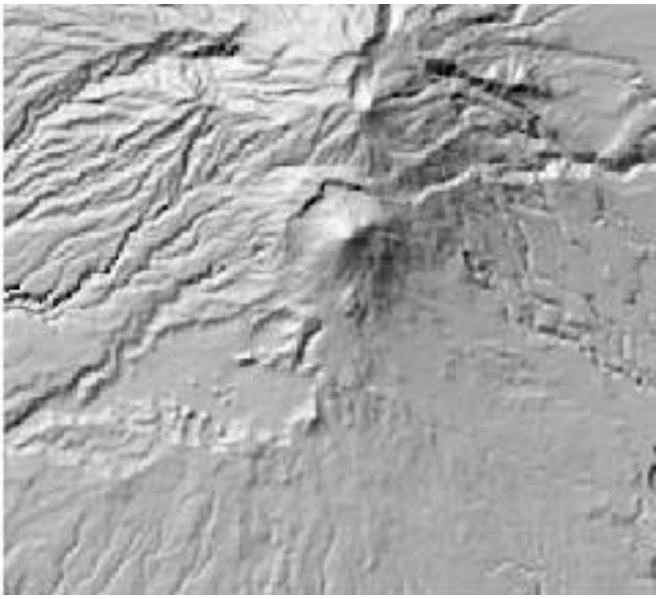


Figura 10. Imagen Grid generada a partir del TIN.

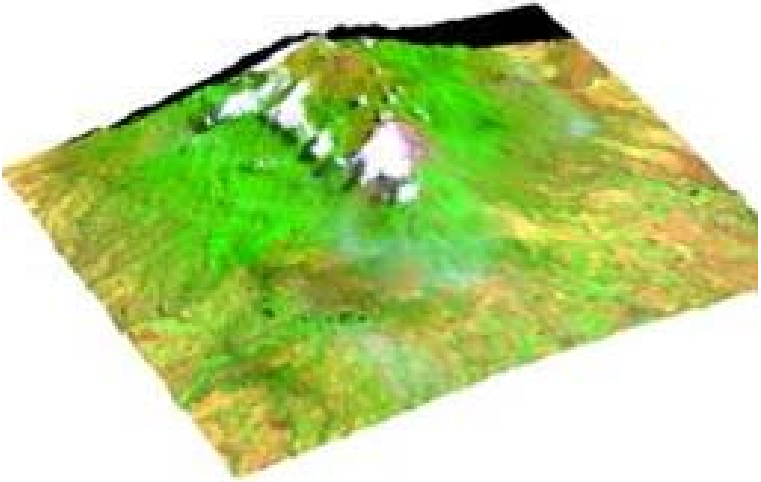


Figura 11. Integración del modelo digital de elevación en la imagen LANDSAT.

Es una forma de aprovechar las ventajas que por un lado tiene la triangulación, y por otro la posibilidad de realizar un análisis de mallas regulares.

El problema es elegir el tamaño de celdilla de salida, problema complejo, y que en general se opta por elegir un tamaño muy pequeño de píxel. Se busca una resolución espacial que mantenga la bondad del TIN.

Destacar que no existe ningún método de interpolación mejor que otro, pues cada uno tiene un algoritmo diseñado para unas determinadas características. En función del tipo de datos de partida que se tenga, la superficie que se quiera modelizar, si es abrupta o por el contrario suave, y la precisión requerida, se elegirá uno u otro método.

Fusión del TIN con la imagen satélite

Por último, se fusiona el Modelo Digital de Elevación, un TIN con la imagen LANDSAT (Figura 11) que previamente se había georeferenciado, obteniéndose una visión más real del terreno que se corresponde con la zona de estudio del Volcán de Colima. A continuación se realiza un video de un vuelo tridimensional sobre este modelo. El resultado obtenido ofrece un aspecto visual sorprendente, si se tiene un buen Modelo Digital de Elevaciones y una imagen con una gran resolución tomada en condiciones atmosféricas óptimas.

Conclusión

La combinación de imágenes satélites LANDSAT, datos LIDAR de elevación del terreno y la utilización de Sistemas de Información Geográfica permiten obtener modelos digitales de elevación de gran precisión, y representar el terreno en 3D junto con imágenes satelitales de muy alta calidad, ofreciendo un gran potencial visual de la zona de estudio, aunque esta característica siempre dependerá de los datos de partida que se tengan. Se demuestra también la gran utilidad y validés de los datos obtenidos mediante LIDAR, cuyos datos son de gran precisión y con un gran volumen de puntos de la zona de estudio, indispensable para crear modelos tridimensionales ajustados a la realidad del terreno.

La utilidad que prestan las imágenes satélites LANDSAT en cuanto a una clasificación temática del suelo y cualquier otro tipo de estudios referente a cultivos, teniendo siempre en cuenta el correspondiente tratamiento de la imagen, diferentes correcciones, técnicas de realce, etc.

La aplicación de los resultados obtenidos permite una mejor interpretación de la orografía del terreno, útil en la toma de decisiones por los cuerpos de protección civil para prevenir y mitigar daños a la población en casos de desastre.

Bibliografía

Galindo, I., and T. Domínguez (2002), Near real-time AVHRR surveillance of the 1997-2000 activity of Volcan de Colima (Mexico) and its relationship with seismic monitoring, J. V*olcanol. & Geothermal Res.*, 117, pp. 91-104.

——— (2003), Real-time AVHRR Multispectral Thermal Monitoring and Ash Emission Detection into the Atmosphere: The Case of Colima Volcano (Mexico), in *Volcanism and the Earth's Atmosphere*, Geophys. Monograph Series, American Geophysical Union, volume 139, pp. 133-150.

Longley, P.A., Goodchild, M.F., Maguire, D.J., and Rhind, D.W. (2002), *Geographic Information Systems and Science*, John Wiley, 454 pp.

Márquez, J. (2004), *Modelos digitales de elevaciones, métodos de interpolación y parámetros morfométricos del relieve*, vol 1, tesis doctoral, Universidad de Sevilla.

Saucedo Girón, R. (1997), *Reconstrucción de la erupción de 1913 del Volcán de Colima*, tesis doctoral, UNAM, México.

Modelado de edificios a grandes y pequeñas escalas

Carlos Acevedo Pardo*

Abstract

There are different kinds of applications for 3D modelling of building, from the use in 3D city models for urban planning until the detail modelling of building in culture heritage.

In this process, we find different methods to produce the 3d models, likes automatically and semi-automatically methods for use in small scales and the very especially fine surveying in scales 1:50 and 1:100. We can classify the models in high, middle and low detail of representation. This paper shows the different methods to realize this work.

Keywords: *3D Models, DTM, Laser Scanning, Level of Detail*.

Resumen

Existe una gran variedad de aplicaciones para el modelado de edficios en tres dimensiones (3D), desde el uso en modelos 3D de ciudades enteras para planeamiento urbano hasta el modelado en detalle de edificios en la conservación de monumentos.

Para obtener los modelos mencionados, se aplican métodos muy diferentes para su obtención, como métodos automáticos de extracción para el uso en pequeñas escalas hasta el levantamiento en detalle de edificios en escalas de 1:50 ó 1:100.

Estan se pueden dividir en modelos de alto, medio y bajo detalle. En este artículo se tratará de dar una visión conjunta de los métodos usados para efectuar esta tarea.

Palabras clave: *modelos en 3D, láser escáner, modelo digital de superficies de terreno, niveles de detalles*.

Introducción

En la elaboración de modelos digitales de ciudades en tres dimensiones (3D), se hace una diferenciación entre los niveles de detalles (Level Of Detail-LOD) a representar. Estos niveles se conocen como:

* Dipl.-Ing. Carlos Acevedo Pardo, HafenCity Universität Hamburg, Hebebrandstrasse 1, 22297 Hamburgo, Alemania, correo electrónico: carlos.acevedo@hcu-hamburg.de

- *Nivel 0*: Modelo regional en el que solo se define el modelo como la superficie de la región o ciudad, sin diferenciar esta en sus distintos componentes como árboles, calles, edificios, etc. (Figuras 1 y 2).
- *Nivel 1*: Está basado en el modelo de 3D de la superficie del terreno (DTM: Digital Terrain Model), en el cual los edificios estan representados como bloques en la forma real de su planta, pero sin la forma del techo (se conoce también como modelo de bloques).
- *Nivel 2*: Este modelo esta basado igualmente en el modelo 3D de la superficie del terreno. Los edificios están representados en su planta y con su forma del techo real, las fachadas con texturas reales del objeto por medio de fotografías rectificadas.
- *Nivel 3*: Sobre el modelo digital del terreno, los edificios estan representados por modelos arquitectónicos con todos sus detalles.
- *Nivel 4*: Este nivel incluye el modelo del nivel 3 con los edificios a todo detalle, además de la representación de sus interiores como salas, muebles, etc.

Modelo de la superficie del terreno

El método más usado para el modelado de la superficie en lo últimos años es LIDAR (Light Detection And Ranging), debido a su exactitud y a la rapidez de cubrir grandes áreas en corto tiempo y obtener modelos de gran variedad a partir de los datos adquiridos.

El sistema LIDAR

LIDAR es una tecnología para la detección de obstáculos desarrollada en Alemania desde el año 1984, por la compañía Dornier GmbH, Friedrichshafen.

Consiste en un escáner múltiple, con una frecuencia de medida desde 55 KHz hasta 125 Khz dependiendo del modelo (Harrier 56/LR o Falcon I, II o III). El ángulo de apertura es de 14° hasta 30° en los modelos Falcon y de 45° hasta 60° en los modelos Harrier de la compañía TopoSys GmbH, Biberach (compañía derivada de la Dornier GmbH). En los escáner modernos, la frecuencia de medida es variable y el alcance varía desde 30 m hasta 2,500 m. La cantidad de puntos por m² medidos depende de la altura de vuelo y del tipo de vehículo aéreo, variando desde 10 puntos hasta 40 puntos por m².

En combinación con el escáner múltiple, se usa un escáner linear RGB/NIR (Red Green Blue/Near InfraRed) para la toma simultánea de imágenes. Esta combinación permite generar ortofotos “verdaderas” (true-orthophotos) de la superficie, las cuales poseen una mejor calidad geométrica que las ortofotos generadas por medio de la fotogrametría aérea (Figuras 3 y 4).

Algunos problemas se presentan en regiones de densa vegetación, LIDAR podrá solamente medir la superficie de esta y no la superficie del terreno. Por motivo del láser usado, en algunas superficies (como agua, asfalto, nubes) la cantidad de energía reflejada es muy baja o igual a cero. Otro problema es la gran cantidad de datos adquiridos, para ello se necesitan computadores con capacidad extraordinaria y cartas gráficas especiales para representar los resultados.

Tipos de modelo de la superficie del terreno

Modelo de la superficie en el Nivel 0

Primeramente se puede generar un modelo a partir de los datos LIDAR de la superficie del terreno (DEM – Digital Elevation Model), en una cuadrícula requerida. Este modelo se deriva de los resultados del primer y último eco reflejados desde la superficie. Las cuadrículas pueden ser desde 20 cm hasta varios metros, dependiendo de la altura de vuelo al efectuar el levantamiento y de la exactitud requerida. Al calcular el modelo con el primer y el último eco reflejado, se obtiene este con los puntos más altos y más bajos de la superficie, así se genera el modelo sobre árboles, edificios, carreteras, puentes, etc., sin diferenciación (véanse Figuras 1 y 2).

Modelo de la superficie en el Nivel 1

En la segunda fase, se genera un modelo digital del terreno de los datos adquiridos por LIDAR, en el cual se procesará solamente el último eco registrado. La cuadrícula se puede especificar de acuerdo al uso propuesto del modelo desde por ejemplo 20 cm hasta 2 m, en terrenos planos de poca pendiente, se puede simplificar a 10 m ó 20 m. Este tipo de modelo es llamado DTM (Digital Terrain Model) y se refiere solamente a la superficie, sin edificios, árboles y otras construcciones (Figura 5).

Modelo de la superficie en los Niveles 2, 3 y 4

Los modelos digitales en los Niveles 2, 3 y 4 son calculados también de los datos LIDAR, solo que en este caso, la cuadrícula es mucho más pequeña y diferenciada. El terreno en estos niveles está representado con todas sus formas (Figura 6).

Modelado de edificios

Modelo de edificios en el Nivel 1

Para obtener el modelo de 3D de los edificios es necesario vectorizar los datos LIDAR. En caso de modelos para el Nivel 1, se procederá a una vectorización simple de los datos, creándose así estos en forma de bloques con techos planos (Figura 7).

Modelo de edificios en el Nivel 2

El Nivel 2 requiere una diferenciación más alta de los edificios, como la forma real de su planta y techo, además de la textura de la fachada, que se tiene que obtener a través de fotografías digitales. Estas deben ser rectificadas antes de poder aplicarlas al modelo (Figura 8).

Debido al método de adquisición de datos por medio de vehículos aéreos, no es posible generar exactamente la planta de edificios. Los datos adquiridos de esta manera, representan una vista areal en la cual las fachadas (paredes) no son visibles, las paredes se adaptarán a la vertical del vértice del techo correspondiente (Figura 9).

Este problema también se puede observar en la extracción de edificios por medio de la aereofotogrametría.

Extracción de edificios por medio de la aereofotogrametría

Otro método también empleado en los últimos 10 años, es la extracción automática o semiautomática de edificios por medio de la aerofotogrametría. En distintos proyectos de investigación en diversas universidades en Europa, se han aplicado varios métodos para la extracción de edificios de manera automática o semiautomática, también en combinación con otros datos como plantas de edificios de datos de catastro. La calidad de los modelos así extraídos se puede comparar con los modelos generados (vectorizados) de datos LIDAR en el nivel 2 (Figura 10).

Extracción de edificios por medio de fusión de datos

Otro método usado en la extracción automática de edificios es por medio de datos LIDAR y fotografías aéreas con resultados bastante satisfactorios.

En general, la extracción automática de edificios concluye en una cuota de acierto bajo el 80%, especialmente en áreas con densa edificación, lo que ha justificado el uso de programas (por ejemplo inJECT, inpho GmbH, Stuttgart), en el cual el operador va actuando interactivamente en su reconocimiento.

Modelo de edificios en el Nivel 3

Los modelos requeridos en el Nivel 3, son modelos arquitectónicos de gran resolución con un grado de detalle muy alto. La exactitud requerida del modelo es de unos pocos centímetros, en general de 1 a 2 cm.

Por este motivo, es necesario utilizar otro tipo de técnicas que puedan cumplir con esta tarea.

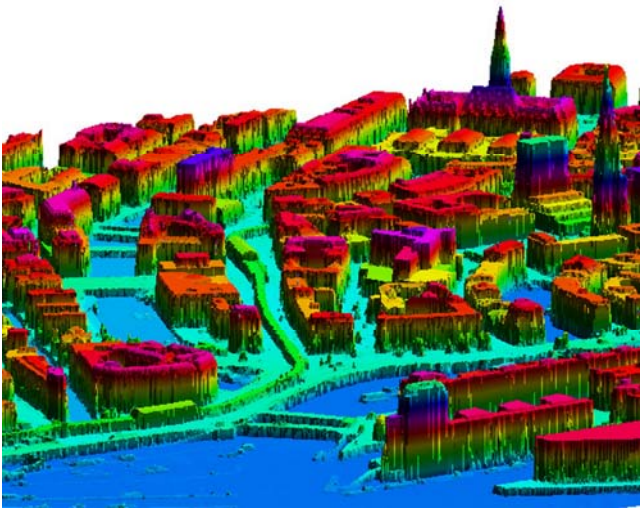


Figura 1. Modelo regional de la ciudad de Hamburgo en Nivel 0, color a través de elevación.
© Landesbetrieb Geoinformation und Vermessung, Hamburg.

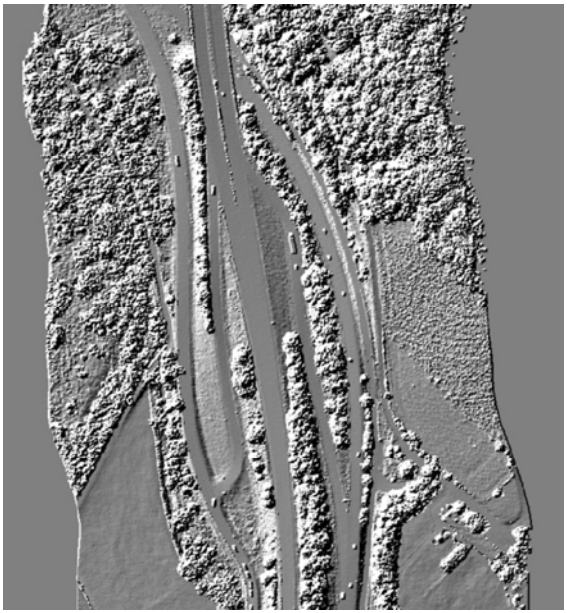


Figura 2. Modelo Nivel 0, sin colorear.
© TopoSys GmbH, Biberach.

Figura 3. Ortofoto LIDAR.
© TopoSys GmbH, Biberach.

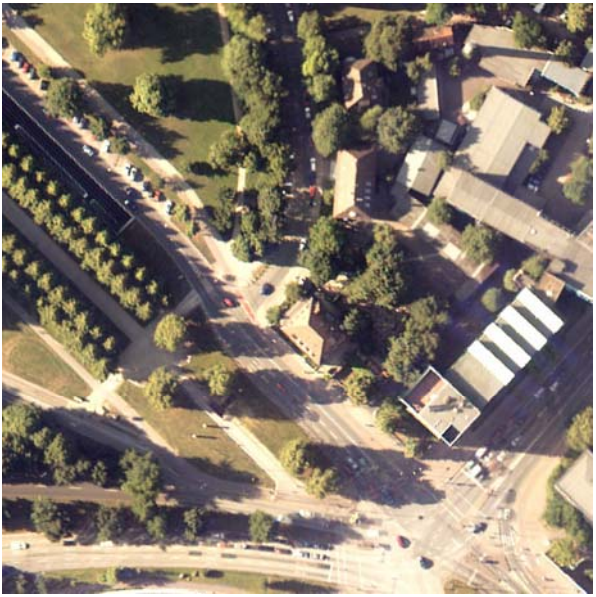


Figura 4. Ortofoto LIDAR.
© TopoSys GmbH, Biberach.

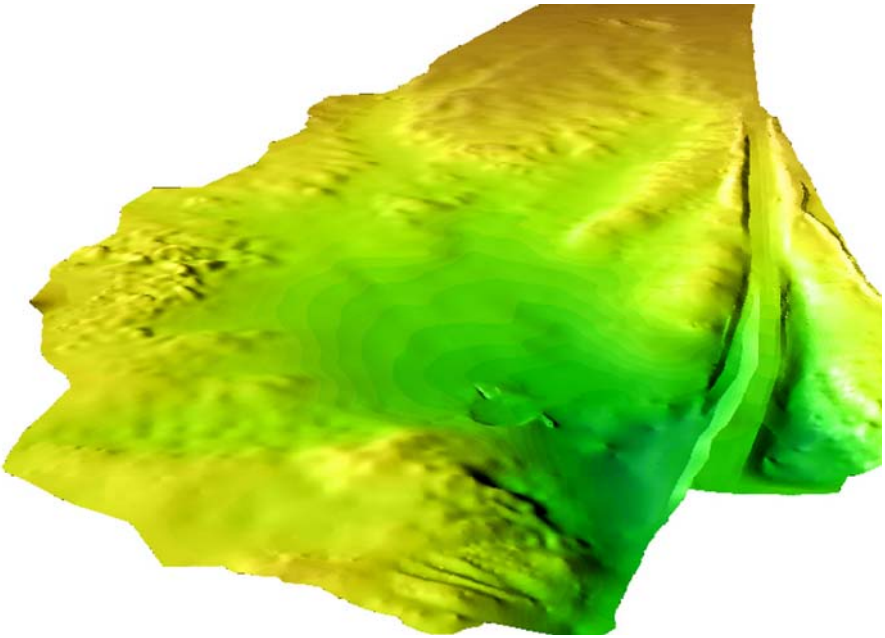


Figura 5. Modelo de la superficie en el Nivel 1.
© Stadt-Land-Fluss-Ingenieurdienste GmbH, Hannover.

Figura 6. Modelo de la superficie en el Nivel 3 y 4.
© Stadt Stuttgart.

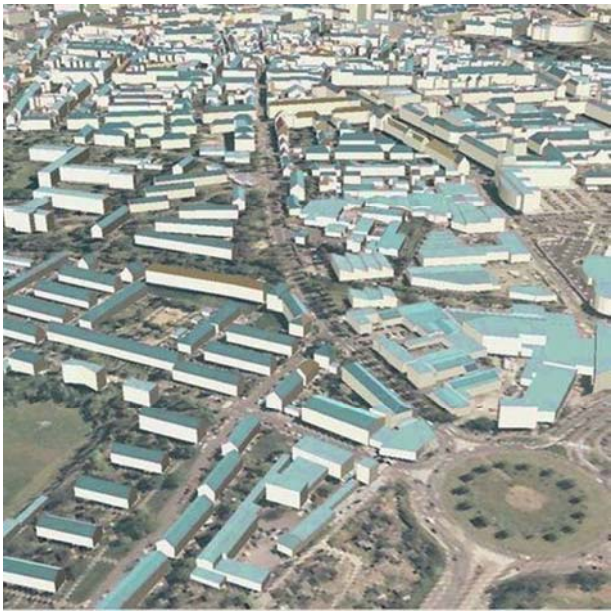


Figura 7. Edificios en el Nivel 1, Bonn.
© Stadt Bonn.

Figura 8. Edificios en el Nivel 2, Hamburgo.
© Landesbetrieb Geoinformation und Vermessung, Hamburg.

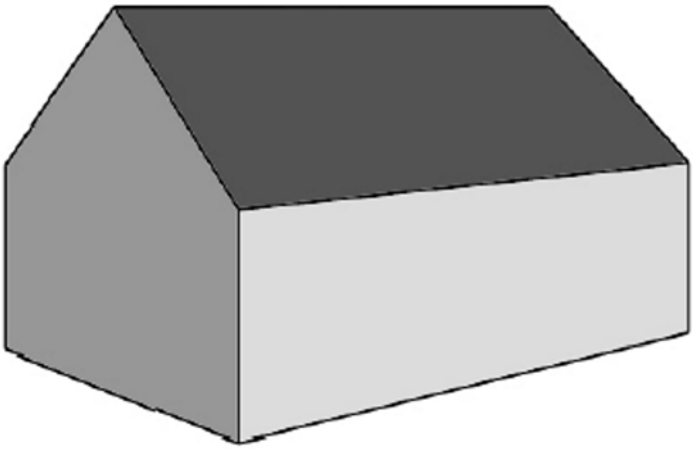


Figura 9. Extracción de edificios en la aerofotogrametría.
© HCU, Department Geomatik, Hamburg.

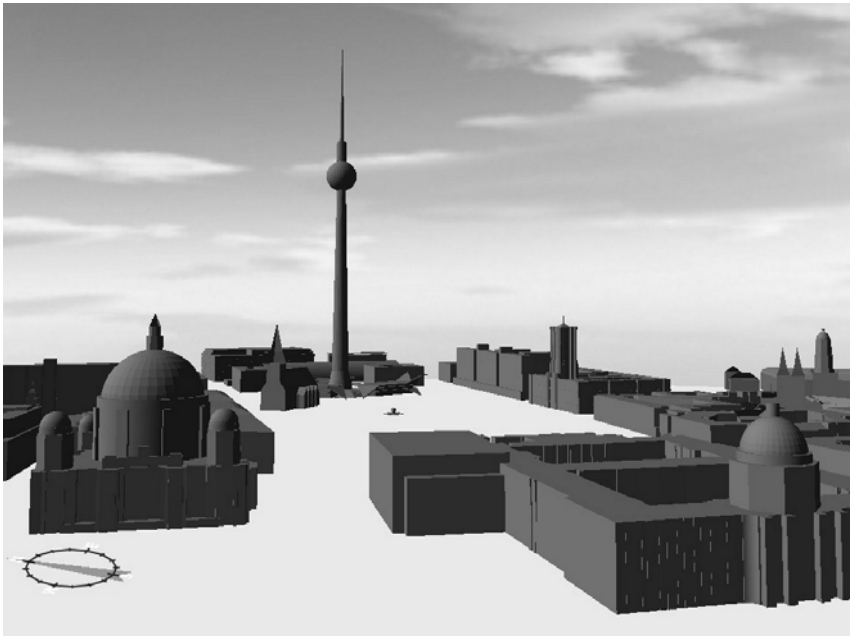


Figura 10. Extracción de edificios en la aerofotogrametría.
© Technische Fachhochschule Berlin.

Extracción y construcción de edificios por medio de datos de láser escáner terretres

La técnica de láser escáner ha sido evolucionada en los últimos años y han aparecido en el mercado una gran cantidad de láser escáner terrestres, con distintos alcances para distintas aplicaciones. Existen láser escáner para levantamientos de corto alcance de unos varios decímetros (Minolta VIVID 910) hasta escáner con alcance de más de un kilómetro (Optech ILRIS 3D y RIEGL). La mayoría de los escáner terrestres poseen un alcance desde algunos metros hasta los 200 metros, como por ejemplo: FARO LS800, Leica ScanStation II, Trimble GS 100 y GS 200, Zoller+Fröhlich Imager 5006 (Figura 11).

Esta nueva técnica esta predestinada para el levantamiento de edificios y monumentos de cualquier forma y proporción. Con esta tecnología se abrió un nuevo campo en el cual las aplicaciones son muy diversas y casi inagotables.

Al existir así datos LIDAR (aéreos) y terrestres de láser escáner, es posible reconstruir los edificios en su totalidad. Ya hemos visto que es posible vectorizar la forma de los techos de los datos LIDAR, ahora por medio de los datos de láser escáner terrestre se pueden vectorizar las fachadas.

Extracción de edificios desde datos de láser escáner terrestres y datos LIDAR

En un proyecto de investigación efectuado en la Universidad de Hannover, se han extraído los techos de datos de LIDAR y las fachadas de datos de láser escáner terrestres. En este proyecto se identifican cantos y áreas, los cuales tienen que ser procesados en un programa de CAD para la reconstrucción total del edificio (Figuras 12 y 13).

Construcción de edificios por medio de la combinación de datos de láser escáner terrestre y fotogrametría de corto alcance

Otro método empleado es la combinación de estos dos procesos, los datos adquiridos a través del láser escáner terrestre se combinarán con las fotografías tomadas del objeto. Estos dos tipos de datos se complementan mutuamente.

Después de efectuar la orientación de las imágenes, se procede a combinarlos con los datos del láser escáner terrestre. Es indispensable que las coordenadas de los sistemas estén referidas a un sistema de coordenadas común. Esta combinación permite aumentar el detalle de información y facilita la interpretación al construir el modelo 3D del edificio. Un programa que combina estos datos es por ejemplo: PHIDIAS, PHOCAD Ingenieurgesellschaft mbH, Aachen (Figura 14).

Figura 11. Láser escáner FARO, Leica, Optech, Trimble, Imager5006.
© FARO, Leica, Optech, Trimble, Z+F.

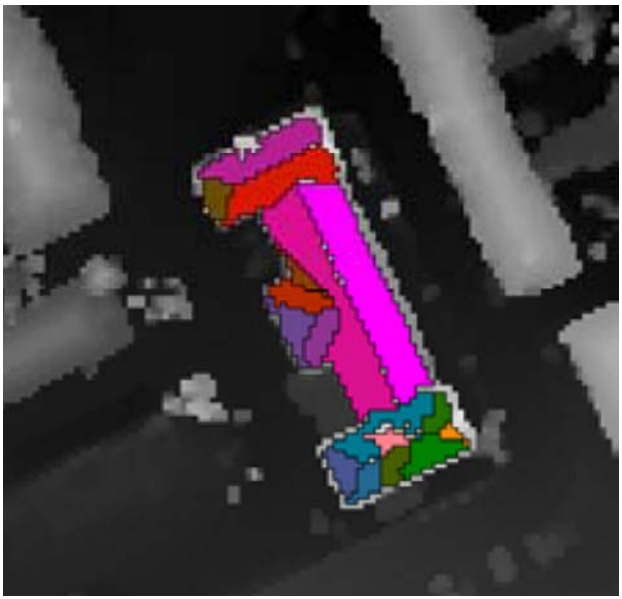


Figura 12. Extracción de edificios de datos LIDAR.
© IKG, Universität Hannover.

Figura 13. Extracción de edificios de datos de láser escáner.
© IKG, Universität Hannover .

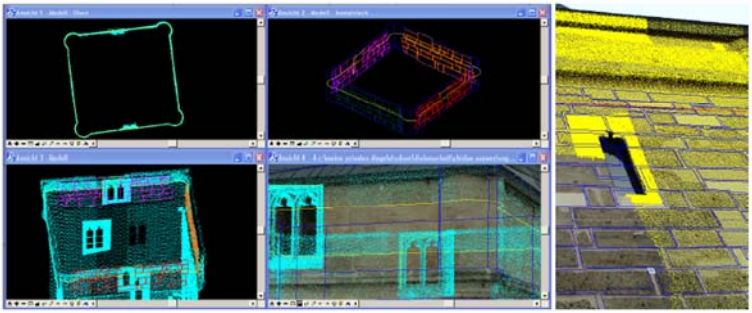


Figura 14. Construcción de edificios por fotogrametría y láser escáner en el programa PHIDIAS.
© PHOCAD, Ingenieurgesellschaft mbH, Aachen.

Figura 15. Edificio levantado con láser escáner.
© HCU, Department Geomatik, Hamburg.

Figura 16. Malla 3D de una cúpula y textura real.
© JRC 3D Reconstructor, Brescia, Italy.

Figura 17. Puntos de referencia en las fotografías.
© HCU, Department Geomatik, Hamburg.

Figura 18. Medida de puntos en el modelo fotogramétrico.
© HCU, Department Geomatik, Hamburg.

Figura 19. Edificio en el nivel 3, Jenischhaus, Hamburgo.
© HCU, Department Geomatik, Hamburg.

Figura 20. Edificio en el nivel 3, Schloss Celle.
© HCU, Department Geomatik, Hamburg.

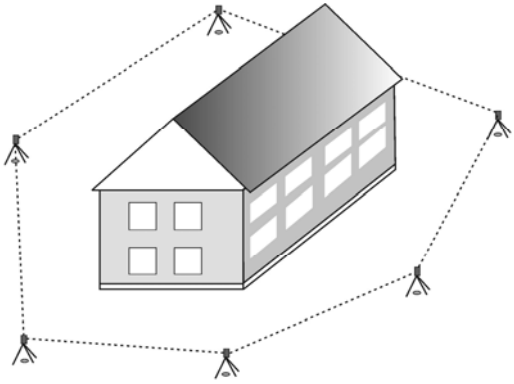


Figura 21. Poligonal alrededor del edificio a modelar.
© HCU, Department Geomatik, Hamburg.

Construcción de edificios por medio de datos de láser escáner-terrestre

Para construir los modelos de edificios en 3D, es necesario tener todos los escaneados (que son primeramente una nube de puntos sin referencia) en un sistema de coordenadas conjunto (Figura 15).

Existen diferentes métodos para cumplir con esta condición. Durante la toma de datos se posicionan puntos de referencia en forma de placas con superficies reflectantes o simples y/o esferas, los cuales tendrán coordenadas en un sistema común. Estos puntos de referencia aparecen en la nube de puntos y serán reconocidos por el programa respectivo, a través de ellos se transformarán las coordenadas de los puntos restantes. Otra posibilidad es transformar las nubes de puntos una a una, por medio de "puntos marcantes" conocidos, como por ejemplo: esquinas de ventanas, etc. Después de la transformación, se obtiene el modelo completo del edificio, el cual está compuesto solamente de puntos, de manera que los datos se deben procesar por medio de programas para vectorizar el objeto, como RealWorks, Trimble. El proceso en este tipo de programas es interactivo, el operador extrae por medio del programa la geometría del edificio, como cantos o esquinas del edificio, superficie de la fachada, ventanas, etc. La construcción final vectorizada se efectuará con más facilidad en un programa de CAD. Otro tipo de proceso para nubes conjuntas de puntos, es generar una malla en 3D del objeto, como por ejemplo: JRC 3D Reconstructor, Brescia (Figura 16). La textura de la fachada se obtendrá de fotografías rectificadas tomadas del edificio.

Construcción de edificios por medio fotogrametría de corto alcance

El avance general en el desarrollo de hardware, también ha permitido también el desarrollo de programas sofisticados en el campo de la fotogrametría digital. Hasta hace algunos años, era necesario conocer todos los parámetros de una cámara fotogramétrica para obtener resultados correctos. Con la introducción de cámaras digitales al mercado, se ha abierto un amplio campo de aplicaciones en esta ciencia, en la cual el cálculo de algoritmos sofisticados, no es ningún problema con los avanzados procesadores existentes.

Al igual que en todo levantamiento, es necesario posicionar puntos de referencia en el objeto a medir, antes de tomar las fotografías con la cámara digital (por ejemplo: Fujifilm FinePix S1, S2, Nikon D70). Estos puntos se utilizarán más tarde para efectuar todos los cálculos referentes a la calibración de la cámara y referenciar las fotografías. Dependiendo de la magnitud del objeto, se necesitará una gran cantidad de fotografías, generalmente entre 100 y 200, tomadas a distintos ángulos y alturas. Las fotografías se importarán al programa de proceso, en el cual se miden (semi- o automaticamente) todos los puntos de referencia y se procede al cálculo simultáneo

de todos los parámetros de orientación de las fotografías y la calibración de la cámara (por ejemplo PICTRAN, Technet GmbH, Berlín).

Realizada la orientación, se puede extraer (manualmente) cualquier punto de las fotografías, las coordenadas en 3D serán almacenadas y pueden exportarse a cualquier programa de CAD para la reconstrucción del edificio. La exactitud de los modelos generados de esta manera, depende primeramente de la calidad de los puntos de referencia, alcanzando normalmente de 1 a 2 cm (Figuras 17 y 18). Los modelos construidos por este método, están representados en las Figuras 19 y 20.

El levantamiento de edificios a través del método polar de taquimetría

El levantamiento de edificios a través de taquimetría, es el método de menor coste a ejecutar. Se necesita solamente un taquímetro de medida de distancia sin prisma y un computador con programa de CAD para efectuar el modelo en tres dimensiones.

El levantamiento de un edificio requiere de una red topográfica de puntos a su alrededor, este puede ser una poligonal cerrada para mayor exactitud o puntos de una red geodésica anteriormente establecida (Figura 21).

Este método consiste en obtener las coordenadas de puntos que determinen la forma del objeto a levantar y que permitan su posterior reconstrucción en el programa CAD. De manera de ahorrar tiempo y realizar el proyecto a un coste menor, se pueden generalizar algunos detalles del objeto, dependiendo de la escala requerida.

Las coordenadas de los puntos representativos se obtendrán a través de la medida de los elementos polares (ángulos horizontal y vertical, distancia inclinada), por un taquímetro electrónico de medida de distancia sin prisma. Las esquinas de los edificios son difíciles de obtener debido a que el rayo láser no se reflecta completamente, sino que solo una parte de la energía será reflectada no pudiendo medir la distancia (Figura 22). Este problema se puede evitar midiendo estos puntos desde dos estaciones y utilizando para el cálculo de sus coordenadas solamente los ángulos horizontales y verticales, creando así las coordenadas por una intersección de los rayos (Figura 23).

En los levantamientos a mayor escala (por ejemplo 1:100 o superior), se necesita para la reconstrucción total un mayor número de puntos. En el caso de ventanas similares, estas se pueden medir en detalle por medio de cintas de medir y posteriormente introducirlas a su lugar adecuado. Para ello se determinaría la posición de la ventana en el edificio con un solo punto (por ejemplo: el punto izquierdo abajo de la ventana), para mayor seguridad se pueden medir dos puntos, como por ejemplo el vértice izquierdo de la ventana, arriba y abajo.

El modelo de tres dimensiones del edificio se realizará en base a las coordenadas obtenidas en un programa de CAD.

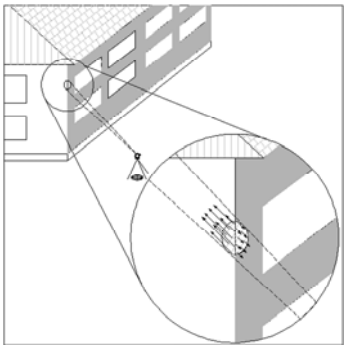


Figura 22. El rayo láser en la esquina del edificio.
© HCU, Department Geomatik, Hamburg.

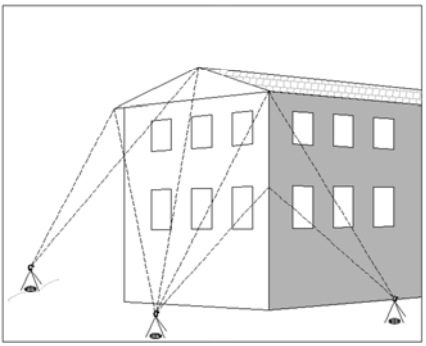


Figura 23. Método de medida de puntos críticos.
© HCU, Department Geomatik, Hamburg.

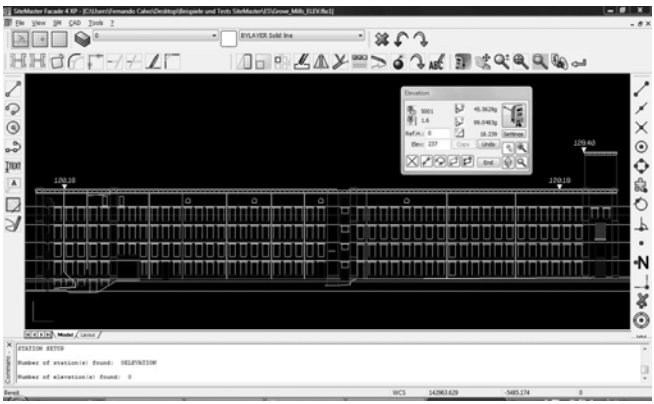


Figura 24. Levantamiento de una fachada con el programa SiteMaster Building.
© Site Master Building.

Figura 25. Edificio en Nivel 4, Landdrostei Pinneberg, entrada principal.
© HCU, Department Geomatik, Hamburg.

Figura 26. Edificio en Nivel 4, Landdrostei Pinneberg, entrada principal e interior.
© HCU, Department Geomatik, Hamburg.

El levantamiento de edificios a través del método polar de taquimetría combinado con programas de CAD

Este método al igual que el anteriormente explicado, consiste en principio a lo mismo, con la diferencia que el computador con el programa de CAD para el levantamiento de edificios o fachadas, se conecta al taquímetro por medio de un puerto serial o USB. El programa asume el control de todos los comandos del taquímetro y el observador solamente tiene que apuntar al punto a levantarse, al definir el punto a medir, envía el comando al taquímetro y los datos requeridos serán enviados al programa. Aquí se procesarán los datos y las coordenadas del punto se mostrarán en la pantalla. Si es una ventana o un vértice, el programa dibujará la línea adecuada.

El programa conduce y apoya al observador durante todo el levantamiento, los requerimientos al levantamiento son exactamente iguales al levantamiento por el método polar. La construcción del modelo en dos dimensiones (2D) se efectúa instantáneamente en la pantalla, de manera que el levantamiento se va controlando al mismo tiempo y la posibilidad de olvidar algunos tramos queda descartada (Figura 24).

La construcción del modelo en 3D se efectuará posteriormente. Para ello es necesario decidir si será un modelo de áreas de tres dimensiones o de cuerpos de 3D, dependiendo de la forma o complejidad del modelo.

Modelo de edificios en el Nivel 4

Los métodos anteriormente presentados en el nivel 3 de representación, son aptos para su representación en el nivel 4, sólo es necesario añadir el interior.

El levantamiento del interior de un edificio, puede ser llevado a cabo por métodos tradicionales de medida, como por ejemplo con cinta de medir. Es necesario registrar la geometría de cada sala para poder reproducirla en un programa de CAD. Otra posibilidad es realizar el levantamiento por medio de programas especiales para este caso. Por medio de la taquimetría, es posible medir cualquier punto deseado, además al generar puntos de referencia, se traslada el sistema de coordenadas al resto de las salas hasta así completar el edificio. El modelo del interior, se va generando a medida que el levantamiento avanza (por ejemplo: TachyCAD, Kubit GmbH, Dresden; m², UDS GmbH, Hamburg; SiteMaster Building, PowerCAD, Figuras 25 y 26.

Conclusión y vista futura

Modelos de ciudades en 3D se emplean en estos momentos en el planeamiento urbano, en el planeamiento de redes de telecomunicación, en turismo, en la comercialización de inmuebles, en estudios del tránsito, en estudios para el medio ambiente, en estudios de propagación de inmisiones, en la protección civil, en estudios de geología y en muchas aplicaciones más.

En combinación con sistemas de información geográfica, se tiene a disposición una herramienta aún más poderosa, de este modo se abren nuevas perspectivas en el uso de modelos en 3D. El primer paso en la estandarización de datos en modelos de este tipo, ha sido el desarrollo de CityGML (City Geography Markup Language, OGC conforme), por medio de un equipo formado por instituciones gubernamentales y privadas situadas a través de toda Alemania. Este nuevo estándar permite el traspaso interoperable y la visualización de modelos regionales y de ciudades en 3D, permitiendo la integración de datos procedentes de otros sistemas. Este estándar permitirá al mismo tiempo, la integración del planeamiento en grandes áreas así

como también en modelos detallados en los niveles 3 y 4, en infinitos tipos de aplicaciones.

Bibliografía

Acevedo Pardo, C. (2005), "Modellieren und Visualisieren mit AutoCAD, Autodesk Landdevelopment und VIZ", en *Festschrift zur Verabschiedung von Prof. Dr. h.c. J. Zastrau, Fachbereich Geomatik, Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg*.

Brauschke, M., Schuster H.-F. y Förstner, W. (2006), "Detectability of Buildings in aerial images over scale space", *Symposium of ISPRS*, commission III, Photogrammetric Computer Vision PCV '06, Bonn, September 2006.

Brenner, Cl. y Dold. Chr. (2004), "Gebäudeextraktion aus Luftgestützten und Terrestrischen Scandaten", en http://www.ikg.uni.hannover.de/publikationen/publikationen/2004

Gröger, G., Kolbe, Th. M. y Plümer, L. (2003), "Zur Konsistenz bei der Visualisierung multiskaliger 3D-Stadtmodelle", en www.igg.tu-berlin.de/uploads/tx_ikgpublication/AgA2003_Groeger_Kolbe_Pluemer.pdf

Gülch, E., Müller, H y Hahn, M. (2004), "Semi-automatic object extraction - Lessons learned", *XXth International Congress of Photogrammetry and Remote Sensing*, Istanbul, 2004, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume XXXV, 2004.

Jansen, J. y Stanek, H. (2003), "Ableitung von Stadtmodellen aus Laser-Scanner-Daten-, Grundrissplänen und photographischen Aufnahmen", en www.ipf.tuwien.ac.at/publications/VGI%204_2003/Jansa_Stanek.pdf

Kersten, Th. y Acevedo Pardo, C., (2002), "3-D Objektaufnahme von historischen Gebäuden durch digitale Architekturphotogrammetrie für Visualisierungsaufgaben und für Facility Management", en *Photogrammetrie und Laserscanning: Anwendung für As-Built-Dokumentation und Facility Mnagement*, Th. Luhmann (Hrsg.), Wichmann Verlag, Heidelberg, pp. 42-56.

Kersten, Th., Acevedo Pardo, C. y Lindstaedt, M., (2004), "3D Acquisition, Modelling and Visualization of north German Castles by Digital Architectural Photogrammetry", en *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. XXXV, Commission V, Part B2, pp. 126-132, presented paper at the XXth ISPRS Congress, Istanbul, July 2004.

Kersten, Th., Biebermann, M. y Schneider, M. (2006), "3D-Erfassung und Modellierung des Duderstädter Westerturmensembles durch Kombination von digitaler Architekturphotogrammetrie und terrestrischem Laserscanning", en *Photogrammetrie, Laserscanning, Optische 3D-Messtechnik, Beiträge der Oldenburger 3D-Tage 2006*, Luhmann/Müller (Hrsg.), Wichmann Verlag, Heidelberg, pp. 254-263.

Kramer, S. (2005), "Verbindung von photogrammetrisch ausgewerteten Luftbildern mit terrestrisch gemessenen Laserscandaten", Diplomarbeit: Fachhochschule Stuttgart, Hochschule für Technik, Studiengang Vermessung & Geoinformatik.

Mayer, H. y Reznik, S. (2004), "Building Façade Interpretation from Image Sequences", en *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* (36) 3/W24, pp. 55-60.

Memoria de la Universidad de Ciencias Aplicadas de Stuttgart: http://www.htf-stuttgart.de/VermessungGeoinformatik/diplom/ws2004/index.html/ VermessungGeoinformatik/diplom/ws2004/dip_Kramer

Mohl, M. (2004), Diplomarbeit: "Semiautomatische Gebäudeextraktion zum Aufbau eines 3D-Stadtmodells-Testgebiet Eichenau", en http://www.ipk.bv.tuw.de/fpf/doc/DA_Mohl.htm

Pflug, M., Rindle, P. y Katzenbeisser, R. (2004), "True-Ortho-Bilder mit Laser-Scanning und multispektralem Zeilenscanner", en *Photogrammetrie-Fernerkundung-Geoinformation, 3/2004*, E. Schweizerbort'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, pp. 173-178.

http://www.phocad.de u.v. octubre, 2007.

http://www.gdi.de u.v. octubre, 2007.

http://www.toposys.de u.v. octubre, 2007.

http://gdi.uo-gmbh.de u.v. octubre 2007.

Edición del
Instituto Panamericano de Geografía e Historia
realizada en su Centro de Reproducción
Impreso en CARGRAPHICS
RED DE IMPRESION DIGITAL
Av. Presidente Juárez Nº 2004
Col. Fracc. Industrial Puente de Vigas
Tlalnepantla C.P. 54090
Edo. de México
Tels: 5390-9709 5390-9711
2008

E S T A D O S M I E M B R O S
DEL
INSTITUTO PANAMERICANO DE GEOGRAFÍA E HISTORIA

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 IPGH, SUS FUNCIONES Y SU ORGANIZACIÓN

El Instituto Panamericano de Geografía e Historia fue fundado el 7 de febrero de 1928 por resolución aprobada en la Sexta Conferencia Internacional Americana que se llevó a efecto en La Habana, Cuba. En 1930, el Gobierno de los Estados Unidos Mexicanos construyó para el uso del IPGH, el edificio de la Calle Ex Arzobispado 29, Tacubaya, en la ciudad de México.

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.

Las actividades y proyectos que desarrolla el Instituto se conjugan en tres programas que cumplen los fines ya señalados:

1) Dirección y Administración
2) Publicaciones
3) Asistencia Técnica

Solamente los Estados Americanos pueden ser miembros del IPGH. Existen también las categorías de Observador Permanente y Socio Cooperador del IPGH. Actualmente son Observadores Permanentes: España, Francia, Israel y Jamaica.

El IPGH se compone de los siguientes órganos panamericanos:

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

Cartografía	(Santiago, Chile)
Geografía	(Aguascalientes, México)
Historia	(Sao Paulo, Brasil)
Geofísica	(Denver, CO, EUA)

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.

80 Aniversario 1928-2008

IPGH

Edición conmemorativa

A PAIGH Program that Connects Geography and Cartography **Richard R. Randall** • Un Programa del IPGH que une Geografía y Cartografía **Richard R. Randall** • La docencia universitaria sobre Infraestructuras de Datos Espaciales **Miguel A. Bernabé, Miguel A. Manso y María Ester González** • Cartografía de Redes y Mapas de Flujos: educación geográfica más eficiente **Osvaldo A. Muñiz Solari** • Experiencias en la enseñanza de nuevas tecnologías: el Centro de Geomática de la Universidad de Talca **Carlos Mena Frau, Jaime Latorre Alonso, John Gajardo Valenzuela, Yony Ormazábal Rojas y Yohana Morales Hernández** • On the Computation of Rigorous Orthometric Height **David Avalos-Naranjo y Antonio Hernández-Navarro** • La Componente Posicional de los datos geográficos: análisis crítico de los métodos de evaluación y reporte en Hispanoamérica **Francisco Javier Ariza López, Alan D. James Atkinson Gordo, Marcelo Antonio Nero y Jorge Pimentel Cintra** • Aplicaciones del Mapa Global de las Américas **Jean W. Parcher, Edwin Hunt, Anna Lucia Barreto de Freitas, Zachary D. Wilson y Robin H. Gary** • Applications of the Global Map of the Americas **Jean W. Parcher, Edwin Hunt, Anna Lucia Barreto de Freitas, Zachary D. Wilson y Robin H. Gary** • Modelo Digital del terreno y Cartografía del Volcán de Colima (México) utilizando imágenes Landsat y un Sistema de Información Geográfica **José Miguel Gaspar Soriano e Ignacio Galindo Estrada** • Modelado de edificios a grandes y pequeñas escalas **Carlos Acevedo Pardo**

ISSN 0080-2085