

## Requerimientos de un Programa de Mejora de Exactitud Posicional

Carlos López-Vázquez  
carlos.lopez@thedigitalmap.com

The Digital Map Ltda.

### RESUMEN

Un Programa de Mejora de Exactitud Posicional (ProMEP, equivalente a *PAI* por su sigla en inglés: *Positional Accuracy Improvement*) es un proceso sistemático en que se intenta mejorar la exactitud geométrica de una cartografía digital en una única operación. El objetivo final es hacerla compatible con información generada por terceras partes con tecnología GNSS corriente o avanzada. A nivel europeo se pueden citar la experiencia británica del Ordnance Survey (2001-2006) así como algo similar limitado a empresas en Alemania. A nivel internacional hay experiencias similares con archivos TIGER en los EEUU.

Las razones para un impulsar un ProMEP son similares a las de una IDE: si las coordenadas son suficientemente exactas, los datos de diferentes proveedores pasan a ser geoméricamente compatibles entre sí, bajando costos de integración para los potenciales usuarios y aumentando tácitamente la oferta de información. Las empresas pequeñas son las más beneficiadas: pueden desarrollar o generar aplicaciones de última generación basadas en GNSS y tecnologías avanzadas sin necesidad de encarar ellos mismos un ajuste de cartografía de base para que la misma sea interoperable.

En este trabajo se bosquejan los requerimientos que deberían especificarse para un ProMEP, incluyendo funcionalidad y otras características técnicas. Se establece la necesidad de disponer de abundantes datos de mayor exactitud, y se sugiere obtenerlos en forma combinada con trabajo de campo y ortoimágenes de exactitud adecuada.

Palabras clave: exactitud planimétrica, exactitud posicional, cartografía numérica, PAI

### 1. INTRODUCCIÓN

Los cambios tecnológicos recientes han afectado significativamente y en más de un sentido la hasta hace unas décadas relativamente estable industria de la información geográfica. De entre esas innovaciones es posible destacar la aparición en la década del 60 de los primeros Sistemas de Información Geográfica (SIG), capaces de realizar operaciones entre capas de información rápida y eficaz. El primer SIG (canadiense) es de 1963; ESRI e Intergraph fueron fundadas en 1969. Con los SIG pasa a ser técnicamente posible generar combinaciones de datos en la computadora que no fueron previstas por un cartógrafo profesional, cuyo producto típicamente se representaba sobre papel.

La masificación del acceso a las computadoras ocurridas a partir de los años 80, en particular con la aparición del IBM PC en 1981, más el desarrollo de software de dominio público (desde GRASS en 1982 a GvSIG en 2006, entre otros) facilitó la actividad de

investigación y popularizaron el acceso a estas tecnologías. El impacto fundamental está en que mucha más gente (con preparación adecuada o no) quedó en condiciones de procesar información geográfica y actuar en consecuencia.

Las diferentes iniciativas IDE se han justificado en parte por el desarrollo acelerado de las tecnologías de comunicaciones con la Internet y sus predecesoras que, desde 1969, permiten el acceso remoto a información en general y a información geográfica en particular.

El cambio tecnológico más significativo (en relación a este trabajo) ocurrió con la popularización del GNSS (creado a fines de los 60's con objetivos militares, y puesto progresivamente en uso público a partir de 1983 con el nombre de GPS). Este instrumento permite que cualquier técnico con capacitación suficiente esté en condiciones de a) recoger directamente coordenadas absolutas sobre el terreno y b) auditar la exactitud de la cartografía existente, desnudando sus limitaciones.

La capacidad para el usuario de combinar capas de información obtenidas de diferentes orígenes, la (desagradable) sorpresa de descubrir que la geometría no es coherente, y la confirmación (con instrumental adecuado) que los niveles de exactitud geométrica declarados por los productores no son los esperados ha provocado la necesidad de explorar soluciones técnicas para disimularlos o resolverlos.

La primera (y más obvia) es intentar operar con los datos como están, ignorando el problema (Timms *et al.* 2003). Para algunas aplicaciones y escalas ello puede ser tolerable, pero no lo es cuando el dato de base será actualizado frecuentemente con información de campo recogida con GNSS, ni cuando debe utilizarse en forma simultánea con información de terceras partes que tenga una exactitud planimétrica muy superior.

La segunda alternativa es intentar reparar manualmente caso a caso la información propia o de terceros, intentando disimular las discrepancias más evidentes. Hay varios comentarios y objeciones que se pueden plantear a esta estrategia. La primera es que efectivamente esta alternativa puede resultar en alguna medida efectiva en el corto plazo. Desafortunadamente es poco eficiente: si se esperan actualizaciones de la cobertura A, todo cambio que se le haga deberá repetirse cuando llegue la nueva versión. Aún cuando no se actualice con frecuencia, cada usuario de la cobertura A tendrá el mismo problema, y si lo resuelve manualmente se generarán tantas instancias geoméricamente incompatibles entre sí de A como usuarios existan. Si además la cobertura A se usa como referencia geométrica para construir una cobertura B, las modificaciones geométricas que se realicen en A deberán replicarse (manualmente...) también en B. Esta alternativa, si bien factible, tiene demasiadas consecuencias negativas. Más adelante se propondrán otras opciones.

Es pertinente analizar lo que se ha hecho en otras latitudes en relación a estos problemas. A la fecha se pueden encontrar al menos antecedentes en Alemania, Reino Unido y EEUU (aunque Rönnsdorf, 2004 ya menciona también Australia, Francia, Suiza e Irlanda). En un primer ejemplo alemán (descrito por Rönnsdorf, 2003a) se trataba de compatibilizar una cartografía propia con la información catastral pública (base geométrica típica de la cartografía en Alemania). Rönnsdorf (2003b) describe otro ejemplo alemán de una empresa creada tras la fusión de una eléctrica y otra de gas y agua. La cartografía catastral de ambas era geoméricamente incompatible, por lo que fue necesario realizar un proceso de conciliación interno. Ambas referencias dan pocos detalles de los algoritmos utilizados, los problemas encontrados y el enfoque general utilizado, pero en ambos casos se trata de trabajos de alcance interno y por lo tanto de impacto acotado.

En el caso inglés<sup>1</sup> y americano<sup>2</sup>, la mejora fue planteada con objetivos más generales; si ciertos datos se recogen con tecnología GNSS o similar, y deben integrarse con información ya existente, la misma debe ser de una exactitud comparable. El proceso (que se describirá en detalle más adelante) incluye una modificación masiva de la geometría de la cartografía oficial (con algún trabajo de actualización realizado en simultáneo) más el suministro al público de información suficiente para modificar internamente otras coberturas que estuvieran asociadas a la cartografía oficial. La modificación era de una única etapa y contó con el concurso de proveedores privados de software para llevarla adelante.

La mejora de exactitud del dato base fue sustantiva. Para ilustrar con algunos números: Ordnance Survey redujo el error medio cuadrático de datos rurales 1:2.500 desde 2.8 m a 1.1 m. Los desplazamientos típicamente fueron menores a 2.5 m, aunque hubo casos de 10 m. En EEUU la reducción llevó a 3.8 m datos que ocasionalmente tenían errores planimétricos de 150 m (Broome *et al.*, 2003).

Llamativamente el problema del desplazamiento masivo de los objetos geográficos en una cartografía no parece haber despertado el interés de la academia. La consulta en Google Académico con los términos "*positional accuracy improvement*" da sólo 74 referencias (con comillas y una vez que se retiran aquellas relacionadas con robótica). Podría pensarse que los académicos consideran el de calidad de los datos como un problema "meramente técnico", y se concentran en el uso de los datos y no en su recolección.

Otra razón es que quizá esas no sean las palabras clave correctas; existe una línea de investigación que compartiendo aspectos científicos con un ProMEP tiene una formulación de problema diferente. La Conflación (Saalfeld, 1988) es el proceso según el cual se disminuyen las discrepancias (geométricas, semánticas, topológicas, etc.) entre dos juegos de datos de forma de poder utilizarlos conjuntamente. Ello implica transformar coordenadas, atributos, conectividad, etc. según corresponda. Bajo esa óptica, un ProMEP podría considerarse como un caso particular de Conflación, en que la realidad del terreno es uno de los juegos de datos involucrados. La consulta a Google Académico por *geographic conflation geometric -robot* arroja ahora casi 1400 resultados. Sin perjuicio de ello pocos de esos trabajos abordan el caso particular de un ProMEP, entendido como una tarea masiva y universal de transformación de las coordenadas de una cartografía.

Si bien el tema a nivel internacional ha sido poco tratado, existen antecedentes nacionales en la materia. Por ejemplo, Pérez-Rodino (2000) analizó el caso de la cartografía papel 1:50.000 del Servicio Geográfico Militar una vez que había sido vectorizada, y propuso un método para reducir el error planimétrico encontrado. Sus resultados y procedimientos se comentarán más adelante.

## 2. ANTECEDENTES METODOLÓGICOS

En su momento Saalfeld (1988) consideró el problema de vincular en forma armónica la información digital vectorial producida por el Servicio Geológico de los Estados Unidos con los datos de la Oficina del Censo. La calidad o exactitud geométrica era muy diferente, por lo que se debía modificar el más inexacto de forma que se alinearan sus objetos con los homólogos de mayor exactitud. Para ello Saalfeld sugirió dividir el proceso en dos etapas:

- a) identificar los objetos homólogos (en su propuesta eran puntos)
- b) realizar la transformación geométrica (en su propuesta, basada en triángulos)

Según Hope (2008) esta propuesta metodológica de Saalfeld ha tenido gran aceptación. Los trabajos posteriores en su gran mayoría se enfocan en una u otra de las etapas por él

<sup>1</sup> <http://www.ordnancesurvey.co.uk/oswebsite/pai/>

<sup>2</sup> <http://www.census.gov/geo/mod/maftiger.html>

definidas. Sin embargo, en un informe reciente (Kucera y Clarke, 2005) y evaluando con algo más de perspectiva lo que los usuarios requieren de este proceso, los autores sugieren separar las etapas requeridas en tres:

- a) identificar objetos homólogos
- b) reseñar las diferencias encontradas (de deletreo, de atributos, etc.)
- c) realizar la transformación geométrica

Ellos recomiendan que las tres etapas no tienen porqué ir juntas; hay aplicaciones que requieren sólo la primera y la segunda.

La formulación tradicional de Saalfeld está basada en la geometría, y redactada en términos de *dos mapas*. Analizando la misma es posible distinguir varios requisitos:

- criterios de medida de *exactitud*, para priorizar un mapa sobre otro menos exacto
- identificar objetos geográficos homólogos
- establecer transformaciones matemáticas que logren el resultado deseado
- establecer criterios de éxito en el resultado deseado

Con la definición de Saalfeld el problema a resolver está formulado en términos de *interpolación*. Por interpolación se entenderá que la transformación debe replicar exactamente las coordenadas de los puntos homólogos. A pesar de ser muy popular, este enfoque olvida considerar la exactitud original de cada mapa. Así, si ambos mapas tienen exactitud comparable, no sería razonable imponerle a uno la geometría del otro si no es necesariamente más correcta. Parece más razonable el enfoque que defiende Hope (2008) en el que trabaja con el concepto de *aproximación*: la transformación matemática se realiza de forma que minimiza las discrepancias. Una posibilidad sería minimizar la *suma de cuadrados* de las discrepancias, lo que nos llevaría al método homónimo. No es la única opción, y hay literatura abundante en estadística y matemática sobre otras alternativas para el tema. La formulación de Saalfeld es un caso particular, en el que se elige la transformación matemática de forma que la discrepancia final es nula.

Como se verá más adelante, el criterio definido por el Ordnance Survey tiene puntos de contacto con el anterior. Con algún procedimiento (no detallado) se identifica una gran cantidad de puntos y sus homólogos entre las dos encarnaciones de la cartografía. Para fijar ideas: en área urbana, en una zona cuadrada de 1km de lado se reportan más de 10.000 puntos homólogos. Con esos puntos como dato, y una transformación matemática (no detallada) se presume que se logra la reducción esperada de las discrepancias. Hay aspectos poco claros del proceso que se comentarán luego.

Por el interés específico se analizará con algún detalle el trabajo de Pérez-Rodino (2000), ya que parece ser el primer intento de corrección sistemática de las coordenadas de una cartografía uruguaya. El punto de partida eran las versiones vectorizadas de la cartografía papel 1:50.000 del Servicio Geográfico Militar (SGM), obtenidas como parte del proyecto SIGNAC del MTOP. El proceso de transformación de coordenadas de imagen a coordenadas geográficas está sujeto, en opinión del autor, a varias premisas: a) mantener (si corresponde) la relación entre entidades con bases de datos antes y después de la transformación b) conservar las relaciones geométricas de cada entidad y c) respetar las relaciones de ligazón entre entidades. El autor propone tomar ventaja de características de software de procesamiento de GNSS para realizar estas transformaciones.

Una vez identificados puntos homólogos en campo y en la cartografía transformada, y estando ambos expresados en el mismo sistema de referencia, las discrepancias o desplazamientos observados son lo que justifica el ProMEP (ver fig. 1 y 2). De su análisis el autor considera la presencia de desplazamientos sistemáticos, que él atribuye a errores en los parámetros de transformación aplicados. Asumiendo que las deformaciones son uniformes en cada carta, aplicó una transformación de Helmert optimizando sus parámetros y reduciendo efectivamente las discrepancias. Es oportuno señalar que otros autores (Timms *et al.* 2003) señalan que salvo regiones muy específicas, los

desplazamientos no parecen seguir un patrón sistemático en que regiones de tamaño significativo parezcan haber sido transformados con la misma regla. Su conclusión es que la transformación matemática no es simple ni sencilla. Ellos distinguen además dos situaciones diferentes: a) los objetos ingresados por los usuarios tienen coordenadas absolutas (i.e. fueron leídos directamente con GNSS) b) los objetos fueron tomados total o parcialmente directamente de la cartografía de base, y en parte fueron digitalizados tomándola como referencia. En el primer caso, la función de transformación podría ser *suave*, mientras que en aquellos casos en que hubo un *snap* la función podría tener discontinuidades.

Es bien sabido que la elección de la transformación matemática no es única. Casado (2006) plantea (al igual que esboza Pérez-Rodino, 2000) una serie de condiciones matemáticas a la transformación buscada. Entre ellas están la preservación (exacta o aproximada) de: 1) los ángulos entre entidades 2) la proporcionalidad entre segmentos 3) la colinealidad de algunas entidades entre sí, como frentes de edificios 4) las relaciones topológicas (orientación del mapa, posición relativa entre entidades, continuidad de poligonales) 5) la orientación de las curvas y 6) la continuidad en la frontera entre láminas adyacentes. Estas condiciones no definen unívocamente la transformación. Si se asume una forma funcional concreta (transformación de Helmert por ejemplo) entonces puede encontrarse la misma para un cierto número pequeño de puntos de control, pero si hay puntos adicionales la relación no podrá satisfacer los desplazamientos en todos. En la práctica Timms *et al.* (2003) señalan que la transformación tiene mucho detalle, por lo que además de la dificultad en la elección de la forma de la función, el número de puntos de control deberá ser grande para poderla aproximar.



Figura 1 Datos catastrales antes y después del PROMEP. En rojo los desplazamientos disponibles en el *link file*. Tomado de Anon, 2005

Una vez definida la cartografía de base a modificar será necesario priorizar áreas geográficas. Se realizarán levantamientos de puntos de control, o utilizarán aquellos disponibles (si son adecuados) para cuantificar la situación presente, y servir de base a las transformaciones matemáticas a realizar. Las mismas requerirán de investigaciones específicas. El procedimiento adecuado para ello incluye seleccionar una o varias regiones como testigo, aplicar las técnicas y evaluar los resultados. En este artículo no se abundará sobre las herramientas de transformación, sino que se hará foco en el proceso y los requerimientos formales (y prácticos) del mismo.

### 3. EXPERIENCIAS PREVIAS

El proceso de adopción de un ProMEP va más allá de los aspectos técnicos, ya que desde el punto de vista del usuario hay que hacer un balance entre los costos y los beneficios, así como considerar la oportunidad. En este aspecto la experiencia británica es la más documentada (Timms *et al.*, 2003; Rönsdorf, 2004; Anon, 2005). Ante la necesidad de adaptar las coordenadas absolutas de la cartografía 1:2.500 a los requerimientos de datos GNSS se propuso en 2001 un plan masivo de corrección de la cartografía comercializada por el Ordnance Survey. Cada cliente recibiría una versión actualizada a medida que la producción se completara. Aunque la actualización estaba incluida en el mantenimiento (o sea: no había que pagar extra por ella) el cliente tenía varias decisiones a tomar que dependían a su vez de su propio contexto.



Figura 2 Datos catastrales antes y después del PROMEP. En celeste los datos propios y en rojo los desplazamientos disponibles en el *link file*. Tomado de Anon, 2005

Por ejemplo, incluso si utilizaba en su operativa únicamente información oficial, debía decidir si iba a migrar progresivamente a la nueva cartografía o no (Timms *et al.* 2003). No hacerlo implicaba que su cartografía oficial no sería actualizada hasta que terminara el ProMEP (cinco años). Por el contrario: hacerlo a medida que se avanzaba implicaba que habría durante un período largo inconsistencias geométricas en los bordes de algunas cartas. Pero el caso más problemático se daba cuando el usuario tenía simultáneamente información oficial y propia (o de terceras partes), cuya actualización no estaba necesariamente sincronizada con el avance del ProMEP. En ese caso, la actualización de la cartografía oficial hacía que se rompieran las relaciones topológicas existentes, como se ilustra en la figura 3. Fue claro que había que facilitar mecanismos para que los clientes pudieran transformar ellos mismos las coberturas propias, haciéndolas (idealmente) consistentes con la cartografía oficial.

Luego de algunos arranques en falso, se decidió suministrar junto con la cartografía de base modificada un conjunto significativo de parejas de puntos homólogos (en archivos denominados *link files*) con el objetivo que cada cliente pudiera (si así lo deseara) transformar sus propias coberturas de forma de hacerla coherente con la información oficial actualizada. Tal transformación se podía realizar con diversos software, existiendo una lista abierta de posibles proveedores.

Nótese que, implícitamente, se está asumiendo con este esquema que la transformación matemática requerida queda bien definida con la información del *link file*, pero (paradójicamente) también se admite que la misma no es única, ya que existen distintos proveedores de software para ella. No se conoce ningún trabajo comparativo evaluando

las prestaciones de esos softwares para esa tarea en términos de exactitud. Sí en cambio hay indicaciones relativas a la capacidad de procesamiento de los mismos (en términos de números de vértices procesados por hora) lo cual es significativo cuando hay que transformar masivamente juegos de datos.

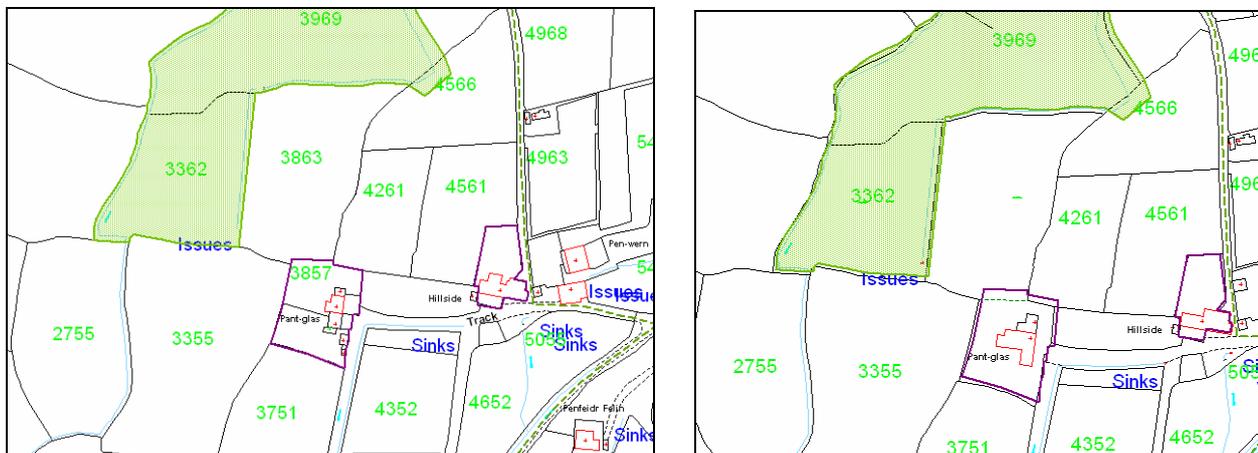


Figura 3 Geometría antes (izq) y después (der) de la aplicación del ProMEP. Tomado de Jones (2005)

De acuerdo con las conclusiones de Scheu *et al.* (2005) hay varias características significativas en el diseño de un PROMEP exitoso. La planificación previa es crucial, especialmente atendiendo a las necesidades y expectativas de los usuarios. El ProMEP no es mágico: si los datos de partida tienen problemas previos de calidad la transformación matemática los preservará y requerirán un esfuerzo significativo de edición manual. Es por ello que se recomienda acondicionar los datos antes de encarar la migración.

Típicamente no hay en las organizaciones expertos capaces de comprender (y resolver) todos los desafíos que la aplicación de un ProMEP plantea. En ese sentido puede anticiparse que se necesitará el concurso de expertos externos, lo cual puede también ser costoso y habrá que valorar. El esfuerzo de adoptar un ProMEP es grande, y la realización de sus ganancias será en muchos casos sólo notoria en el mediano y largo plazo. Ello es especialmente así en aquellas organizaciones que harán mantenimiento de datos con equipos GNSS. Un ProMEP exitoso es aquel que logra una adhesión importante, pero para convencer a los tomadores de decisión los autores recomiendan que sería conveniente la existencia de Casos de éxito, así como realizar un análisis de Costo/Beneficio en cada organización antes de comenzar.

#### 4. SITUACIÓN EN URUGUAY

Paradójicamente en algunas ocasiones la falta de recursos evita cometer errores, o al menos amplificarlos. En Uruguay existe desde hace una década suficiente cartografía digital y en su linaje (i.e. las fuentes originales) pueden distinguirse sólo dos ramas. La cartografía rural oficial, producida en papel por el Servicio Geográfico Militar en varias escalas, cuenta con cobertura nacional completa a escala 1:50.000 y menores (1:100.000, 1:250.000, etc.) y parcial a escalas mayores (1:25.000). Esa cartografía está basada en gran parte en el vuelo aerofotogramétrico de 1966-67 (!) de cobertura nacional aunque por cierto las actualizaciones (parciales) se han realizado con vuelos posteriores. La exactitud geométrica de esta cartografía ha sido evaluada parcialmente (Barbato, 1999; 2000; 2002; Pérez-Rodino, 2000; Méndez y López-Vázquez, 2010, etc.) tras su vectorización a fines de la década del 90. La versión digital de esa cartografía tradicional

ha sido distribuida desde el ClearingHouse<sup>3</sup> en la última década, y está en uso activo aunque no se la ha actualizado. Por otra parte, con la misma base fotogramétrica de 1966-1967 se construyó independientemente una cartografía catastral sin mayores pretensiones dimensionales, que ha servido de base a varios productos derivados, que aún está en uso y actualizada, y que ha sido evaluada recientemente (Barreto *et al.* 2010). En el área urbana las actualizaciones han sido más frecuentes, existiendo cartografía oficial relativamente reciente a escala 1:10.000 con exactitud adecuada para uso de GNSS y que además está en amplio uso. No parece haber allí un problema prioritario para considerar en un ProMEP.

Por lo expuesto, una estrategia factible de corrección para los datos rurales de Uruguay requeriría la recolección de datos de campo, la identificación de objetos presentes en las *dos* familias principales (ClearingHouse+Catastro) y la implementación de *dos* ProMEP separados para atender a cada rama por separado. Al terminar el proceso ambas familias serían interoperables (en los aspectos geométricos) permitiendo así su integración, hoy imposible.

## 5. REQUERIMIENTOS DE UN PROMEP

Teniendo en cuenta la experiencia existente y las objeciones metodológicas que pueden plantearse, es posible establecer requerimientos para un ProMEP en términos de resultados y servicios. Un ProMEP debería lucir como un servicio WEB público que, ingresando un archivo pre-ProMEP (con un linaje bien identificado), fuera capaz de procesarlo moviendo todos los puntos y objetos geográficos con una función de transformación única. Al ser única y centralizada se facilitaría además la aplicación de ulteriores transformaciones en el futuro, con nueva información de coordenadas aún más exactas si las hubiere. En la experiencia inglesa ello no fue así, quizá debido a que se hicieron simultáneamente una transformación geométrica y una actualización, conjunto que claramente no podía ser modelado simplemente como una transformación. Para la correcta operativa podría ser además importante poder “marcar” el archivo indicando que ya ha sido transformado, evitando así errores.

El ProMEP debería producir datos con una reducción sensible del error en relación al GNSS. Ello podría estar medido con métricas estándar del estilo de las descritas por el FGDC (1998) o en función de otras no estándar (desplazamiento máximo, percentil 95%, etc.). La transformación matemática debería ser ampliamente publicitada con fines de auditoría y para eventualmente habilitar el concurso de múltiples proveedores de software que la implementen. No tiene porqué tomar ninguna expresión en particular; podría ser analítica o derivarse de una solución numérica. Su caracterización debería ser objeto de investigación específica.

Al igual que en el caso inglés, para definir la transformación debería (en la medida de lo posible) suministrarse las coordenadas de un conjunto grande de objetos y sus homólogos, convenientemente catalogado con metadatos estandarizados. Estos objetos podrían ser puntos (como en el caso inglés) o incluir también poligonales o polígonos. En la descripción de linaje debería estar indicado el procedimiento de captura o generación, el nivel de exactitud que se espera de las coordenadas finales así como toda otra información que se requiera en el estándar. En el caso de Uruguay, para la obtención de los miles de puntos homólogos será conveniente utilizar ortofotos de alta exactitud y escala adecuada, hoy no disponibles. Será necesario también investigar algoritmos para la generación de puntos *pseudo-homólogos* en aquellas zonas rurales o suburbanas en

---

<sup>3</sup> <http://www.clearinghouse.gub.uy>

que la presencia de objetos geográficos discernibles simultáneamente en campo y en cartografía no es suficiente.

Según indica Hope *et al.* (2006), siguiendo la línea de la norma ISO19113, el sistema debería además ser capaz de producir también una cobertura que describa la variación espacial esperada de la exactitud geométrica, con el fin de orientar al usuario sobre las limitaciones de la transformación aplicada. Timms *et al.* (2003) señala lo útil que hubiera sido disponer de información relativa al error de las coordenadas del objeto de partida, ya que ello afecta a la función de transformación local. Es por ello que una etapa temprana del trabajo debería ser una caracterización fina del error inicial existente en la cartografía de referencia, del estilo de lo descrito para Montevideo por Barbato (2004).

## 6. CONCLUSIONES

En un proceso de implementación de una IDE del siglo XXI hay que considerar mecanismos para acondicionar los datos existentes de forma de permitir la completa interoperabilidad. Los problemas geométricos son uno de los más notorios, pero también existen otros. En la práctica no hay alternativas mágicas: no es posible descartar toda la información existente y recopilar otra nueva, ni tampoco es posible ignorar la existencia de instrumental GNSS capaz de dar coordenadas absolutas con errores sólo reservado en el pasado a expediciones geodésicas. Tampoco la corrección manual caso a caso es una alternativa, ya que debe mantenerse la consistencia entre las coberturas.

Son escasas las experiencias internacionales, y la documentación existente es poco profunda. Hay muy poca investigación específica. Sin perjuicio de ello puede establecerse que: a) hay que proveer mecanismos para que los usuarios tomen decisiones informadas b) hay que ofrecer información y asistencia técnica para la migración de las coberturas propias c) es necesario el concurso de expertos en la organización d) no deben subestimarse las dificultades. Numerosos aspectos del proyecto requerirán el concurso de expertos de fuera del área (matemáticos, estadísticos, etc.) y de investigaciones específicas lo que tomará tiempo y deberá planificarse.

Tomando ventaja de la experiencia previa, parece imprescindible ofrecer servicios públicos gratuitos para asistir a la aplicación de la transformación geométrica, uniformizando así los resultados. Ello permitirá además ulteriores ajustes y refinamientos. El ProMEP debe diseñarse en etapas, abordando primero la caracterización de las coberturas de referencia básica (errores, fecha de actualización, linaje, etc.), la generación previa de una cobertura de ortoimágenes de alta exactitud (con "alta" en relación a la cartografía de referencia), la generación de los *link files* o equivalentes con poligonales y polígonos, la investigación en la forma funcional de la transformación matemática, la capacitación y difusión del proyecto y finalmente la implementación de los servicios web.

## 7. REFERENCIAS

Anon, 2005 "Interactive PAI demo" Presented at the *EuroSDR workshop Achieving Geometric Interoperability of Spatial Data, 8-9 June 2005, Munich*. 923 Kb. ([http://www.eurosd.net/km\\_pub/no49/html/PAI2/pai.htm](http://www.eurosd.net/km_pub/no49/html/PAI2/pai.htm), accedido 20100812)

Barbato, F. 1999 "Determinación de Parámetros de Precisión Cartográfica en Sistemas de Información Geográfica (G.I.S.)" *Revista de la Asociación de Agrimensores del Uruguay* AAU 14 pp.

Barbato, F. 2000 "Modelling Errors and Accuracy in Cartography Base of Geographic Information Systems (GIS)" *Proceedings of the 4th International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resource & Environmental Sciences:*

Amsterdam, July 2000, Delft Univ Press. ISBN-10: 9040720851, ISBN-13: 978-9040720857, 8 pp.

Barbato, F. 2002 "Error analysis in Cartographic Data with Application to the Geographic Information Systems" *ISPRS Symposium on Geospatial Theory, Processing and Applications, Ottawa, 2002*, 12 pp.

Barbato, F. 2004 "Control de precisión posicional de la Cartografía Base de la Intendencia Municipal de Montevideo – Uruguay" Presentado en la 4ª Asamblea Hispano-Portuguesa de Geodesia y Geofísica. Figueira da Foz (Portugal) ([http://intgis.montevideo.gub.uy/sit/data/otros\\_doc\\_y\\_proy/MRGMVD2004\\_barbato\\_qc\\_ca\\_rtog.pdf](http://intgis.montevideo.gub.uy/sit/data/otros_doc_y_proy/MRGMVD2004_barbato_qc_ca_rtog.pdf) accedido 20100910)

Barreto, L.; Bermúdez, H.; Blanco, D.; Di Leoni, A.; Faure, J.; Méndez, R.; Pérez-Rodino, R. y Sánchez, M. 2010 "Evaluación de la calidad de la exactitud geométrica absoluta del parcelario rural digital vectorial del Departamento de Lavalleja". *I Congreso Uruguayo de Infraestructura de Datos Espaciales*, 25-26 Oct. 2010, 10pp.

Broome, F.R., La Macchia, R.A. and Trainor, T.F., 2003 "Enhancing the U.S. Census Bureau's MAF/TIGER Database" In *Proceedings of the 21st International Cartographic Conference (ICC) Durban, South Africa, 10 - 16 August 2003*, ISBN: 0-958-46093-0, pp 676-685

Casado, M. L. 2006, "Some Basic Mathematical Constraints for the Geometric Conflation Problem", In *Proceedings of the 7th International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Sciences*, M. Caetano and M. Painho (eds), 264-274

FGDC 1998, "Geospatial Positioning Accuracy Standards; Part 3: National Standard for Spatial Data Accuracy", *Federal Geographic Data Committee*, FGDC-STD-007.3, Washington, D.C. 28 pp. (<http://www.fgdc.gov/standards/projects/FGDC-standards-projects/accuracy/part3/chapter3> accedido 20090414)

Hope S 2008, 'Integration of Vector Datasets', *PhD Thesis*, Dept. of Geomatics. University of Melbourne, Australia, pp. 1-314

Hope, S; Kealy A., and Hunter, G. 2006 "Improving positional accuracy and preserving topology through spatial data fusion" *7th International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Sciences*. Edited by M. Caetano and M. Painho. 10 pp.

Jones, M. 2005 "The Impact of Ordnance Survey's Positional Accuracy Improvement Programme on Local Government Authorities". Personal communication.

Kucera, G and Clarke, B 2005, "Accelerating Conflation Capability for the US government", *National Technology Alliance TR-001-120804-128*, 53 pp.

Méndez, R. y López-Vázquez, C. 2010 "Evaluación de exactitud posicional horizontal y vertical de la Cartografía Oficial a escala 1:50000" *I Congreso Uruguayo de Infraestructura de Datos Espaciales*, 25-26 Oct. 2010, 10pp.

Pérez-Rodino, R 2000. 'Métodos Sencillos de transformación y ajuste de cartografía digital vectorial', *COBRAC 2000 - Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário*, UFSC, Florianópolis, 15-19 de Octubre (<http://www.fing.edu.uy/ia/deptogeo/proyectos/Metodos.pdf> accedido 20100312)

Rönsdorf, 2004, "Positional Integration of Geodata" 8pp. EuroSDR publication N° 48

Rönsdorf, C. 2003a "German experience with PAI: E-On Bayern AG example" ([http://www.ordnancesurvey.co.uk/pai/pdfs/German\\_experience\\_E-on\\_Bayern.pdf](http://www.ordnancesurvey.co.uk/pai/pdfs/German_experience_E-on_Bayern.pdf) accedido 20100902)

Rönsdorf, C. 2003b "German experience with PAI: DEW example" ([http://www.ordnancesurvey.co.uk/pai/pdfs/german\\_experience\\_DEW.pdf](http://www.ordnancesurvey.co.uk/pai/pdfs/german_experience_DEW.pdf) accedido 20100902)

Saalfeld, A 1988, 'Conflation: Automated Map compilation', *International Journal of Geographical Information Systems*, vol. 2, pp. 217–28.

Scheu, M.; Stößel, W.; Bray, C. and Rönsdorf, C. 2005 "Workshop Report" The EuroSDR workshop *Achieving Geometric Interoperability of Spatial Data*, 8-9 June 2005, Munich. ([http://www.eurocdr.net/km\\_pub/no49/html/PAI2/report.htm](http://www.eurocdr.net/km_pub/no49/html/PAI2/report.htm), accedido 20100812)

Timms, T.; D'Souza, G. and Kalra, R. 2003 "Positional Accuracy Improvement: what it means and what to do" *GI News* January/February 2003. 52-56

#### Reseña biográfica:

Carlos López nació en Montevideo en 1961, habiéndose graduado en Ingeniería Industrial en 1987 por la Universidad de la República (Uruguay). Su formación académica se complementa con un título de maestría en Mecánica de los Fluidos Aplicada (1993), y uno de doctorado relativo al control de calidad de datos geográficos, obtenido en 1997 en Estocolmo, Suecia. Es Docente Estable del programa de Doctorado en Agrimensura de la Universidad de Catamarca desde 2004, y del programa de Doctorado en Topografía de la Universidad Politécnica de Madrid también desde 2004. En su actividad profesional ha tenido a cargo la implementación del ClearingHouse Nacional de Datos Geográficos (Uruguay) así como la formulación del proyecto de la IDE de Uruguay para 2010-2020. En su actividad académica trabajó en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República desde 1986 hasta agosto del 2000 donde dictó cursos y dirigió varios proyectos (académicos y de investigación) así como grupos de trabajo. Fue director del Centro de Cálculo entre 1997 y 1999. Fue catedrático de Cálculo Numérico en el Universitario Autónomo del Sur desde 1998 hasta 2010. Actualmente está a cargo de la dirección del Laboratorio de Geomática en la Universidad ORT del Uruguay. Es Investigador Nivel I de la Agencia Nacional de Investigación e Innovación de Uruguay, y director de la empresa The Digital Map Ltda. El CV completo, forma de contacto así como copia de sus tesis y la mayoría de sus publicaciones puede encontrarse en <http://www.thedigitalmap.com/~carlos>