

Aplicación de mejoras geométricas sistemáticas a la cartografía del SGM

Informe Final. Autor: Dr. Ing. Carlos López Vázquez
Octubre de 2012

De acuerdo a la propuesta elevada en su momento, las actividades previstas en torno a la consultoría giran sobre cuatro tareas, todas vinculadas con una planificación de actividades relativas a las mejoras geométricas de la cartografía del SGM. Este informe recoge los trabajos realizados, información recopilada y procesada, así como recomendaciones. El documento se organiza en torno a las cuatro tareas previstas.

Tarea 1: Formalización de un plan de medición de exactitud planimétrica de las series del SGM, distinguiendo entre los diferentes linajes presentes

Desafortunadamente no fue posible avanzar todo lo que se hubiera deseado en este aspecto. Mediante el análisis de la documentación existente (Méndez-Baíllo y López, 2010) de la Figura 1 se determinó que hay hasta seis linajes diferentes en la serie PCN50 según el método de ajuste utilizado, a saber:

	Total de cartas	Ajuste
I	123	SIMBA (Modelo)
II	48	SCHUT (Banda)
III	49	ZARZYCKI
IV	28	Apoyo Modelo a modelo de gabinete y triangulación radial (DET y POL)
V	54	Apoyo de campo modelo a modelo y triangulación radial
VI	1	Apoyo de campo modelo a modelo total
	303	Total

Tabla 1 Tipos de ajuste y número de cartas en que se aplicaron. Hay cartas en que se aplicaron parcialmente dos criterios de ajuste distintos, por lo que habría que considerarlas por separado. (Basado en Méndez-Baíllo y López, 2010)

La *exactitud* es una medida de la discrepancia que hay entre lo indicado en el mapa y la realidad. Se la mide en metros, e idealmente debería ser cero. Según el estándar NSSDA (FGDC, 1998), no hay un valor “aceptable” de exactitud que la cartografía deba cumplir, sino que debe calcularse un valor de la misma y cada usuario de la cartografía decidirá si es o no adecuada para los usos previstos. Otros estándares más antiguos (NMAS, 1947) especificaban un nivel de exactitud posicional relacionado con la escala, y luego calificaban a la cartografía como “cumple/no cumple” resultando un procedimiento más rígido.

Idealmente, y para toda la serie del PCN50, la exactitud geométrica debería ser comparable entre sí ya que se trata de productos de la misma escala. Dada la variedad de técnicas y tecnologías que participaron en su proceso de desarrollo (que insumió desde 1966 hasta 1990) no es posible sostener a priori que ello se cumple. La hipótesis que se plantea en este trabajo es que esa exactitud es la misma dentro de cada tipo de ajuste realizado. Por lo tanto, el Plan de Medición de Exactitud (PME) debe diseñarse para estimar cada uno de esos valores, y eventualmente, confirmar o desmentir la hipótesis de uniformidad dentro del universo elegido.

Dentro de un conjunto de cartas de un mismo linaje, y estrictamente hablando, no se espera que los valores de la exactitud sean idénticos, sino que los mismos se distribuyen en una población normal de media y varianza a determinar. El que se comunicaría como valor representativo de la exactitud sería un cierto percentil de la distribución experimental, que justificaría declaraciones del estilo de “*el 95% de las cartas tiene una exactitud mejor que el valor X*”. Llegado el momento se analizará la conveniencia de utilizar algún otro percentil.

REPUBLICA ORIENTAL DEL URUGUAY

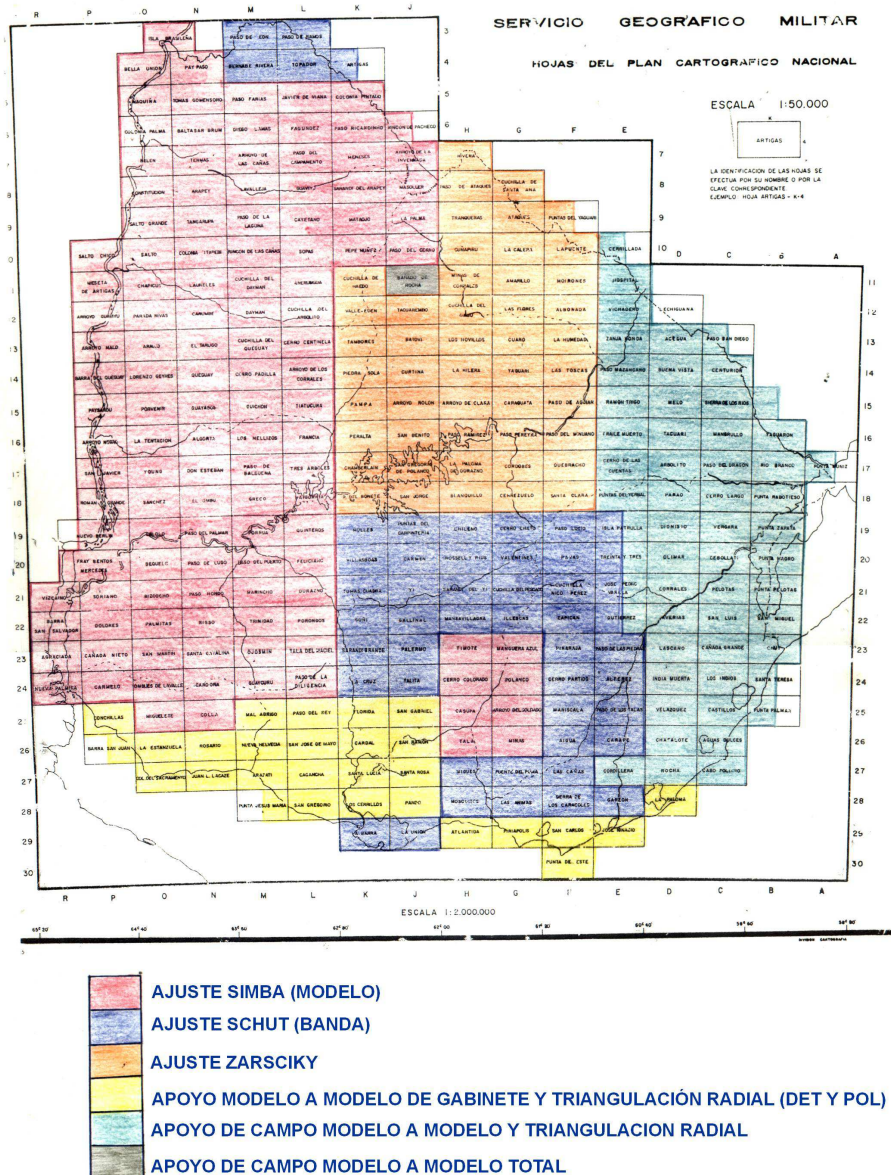


Figura 1 Linaje de las cartas papel del PCN50 (Tomado de Méndez-Baíllo y López, 2010)

Aplicar el estándar a todas y cada una de las 303 cartas de la colección es costoso, lento y probablemente innecesario. Si se aplicara el NSSDA, para cada una de las cartas habría que identificar puntos de control y obtener sus coordenadas en el campo o en alguna otra fuente de mayor exactitud. El estándar no requiere estrictamente que se proceda así; admite que, si se dan las condiciones, se asuma que la colección de cartas (o parte de ella) tiene razonablemente la misma exactitud por compartir un linaje común, y solamente requeriría ensayar una muestra de ese conjunto atribuyéndole luego la misma exactitud al total. El estándar no especifica cómo se verificarán tales extremos, ni tampoco provee indicaciones de cómo calcular el valor representativo. Para ello se sugiere utilizar procedimientos corrientes en la industria manufacturera para el control de calidad de lotes. Se asumirá que cada linaje constituye un lote independiente.

Basados en la tabla 1 queda claro que habrá que ensayar la única carta con ajuste “Apoyo de campo modelo a modelo total” pero habrá que determinar el número de muestras a extraer de cada uno de los otros tipos. Para ello puede seguirse las indicaciones recogidas en Ariza (2002) de control de calidad por muestreo, adaptándolas adecuadamente a la situación.

Según el autor existen dos posibles enfoques para el control de calidad: por atributos y por variables. El primero se aplica cuando la inspección da por resultado un “cumple/no cumple” sin importar el grado de cumplimiento. La inspección resulta en una observación discreta que toma un conjunto finito de valores. Es el procedimiento más simple y fácil de aplicar. El segundo se aplica cuando lo que se desea controlar es una variable continua (como la exactitud). Es algo más complejo que el anterior, y como ventaja principal debe señalarse que requiere muestras más pequeñas que el muestreo por atributos.

El problema podría encararse con cualquiera de las dos posibilidades. Con la filosofía de la norma NMAS, debería especificarse la exactitud admisible para la serie PCN50 y luego hacer las verificaciones para comprobar si las cartas individuales la cumplen. En este caso, para cada lote se toman muestras, se mide la exactitud de cada una de ellas, y se obtiene un listado de valores “cumple/no cumple”. Con el conteo de casos favorables se contrasta con tablas si se “acepta” el lote o no, en relación a la exactitud admisible. El estándar a aplicar sería el MIL STD 414 (1957), MIL STD 1916 (1996) u otro equivalente. Nótese que debería especificarse primero una exactitud admisible para la serie PCN50.

Como rechazar el lote no es una opción, podría intentarse estimar un valor representativo de la exactitud tomada de una muestra de cartas, y reconociéndolo luego independientemente de su valor. Si se aplica el estándar MIL STD 105E (1989) (apropiado para muestreo por atributos) con muestreo simple y considerando cada lote por separado, resultaría que (asumiendo un nivel de inspección normal) los lotes deberían ser de cierto tamaño. En la Tabla 2 se muestran tanto los valores correspondientes al muestreo por atributos (según MIL STD 105E) como por variables (MIL STD 414).

	I	II	III	IV	V	VI
Lote	123	48	49	28	54	1
105D	20	8	8	8	13	1
414	15	7	7	5	7	1

Tabla 2 Tamaño de muestra para inspección normal dentro de cada tipo de ajuste según las normas MIL STD 105D y MIL STD 414. El tipo VI es un caso especial.

Puede confirmarse que el muestreo por variables es algo menos exigente en lo que a número de muestras se refiere (48 vs. 58 cartas). El procedimiento práctico será el siguiente: para cada uno de los métodos de ajuste se determina un listado de cartas factible, y de ellas se selecciona al azar el número de muestras especificado en la Tabla 2. Una vez calculados mediante el NSSDA los valores de la exactitud de cada una de ellas se deberá comprobar si se verifican las hipótesis del muestreo por variables (normalidad de la población) y se aplicarán los métodos recogidos en los manuales especializados para declarar el valor representativo. Típicamente se acepta el promedio como representativo del valor esperado, y la varianza como representativo del cuadrado de la desviación estándar. Lo limitado de las muestras hará que haya alguna incertidumbre en los valores, pero definitivamente se tratará de una mejora frente a la situación presente.

Tarea 2: Realización de experimentos controlados, aplicando las mejores técnicas matemáticas disponibles, para mejorar la exactitud planimétrica basándose en puntos de control disponibles.

La definición de “*las mejores técnicas disponibles*” es en sí mismo un problema complejo, abordado en González y López-Vázquez (2009); López-Vázquez (2012a) y otros. En esos trabajos se ensayaron una gran variedad de métodos genéricos, capaces de interpolar los desplazamientos observados en los puntos de control. Cuando se combinan los desplazamientos en direcciones N-S y E-W esos métodos pueden dar resultados inadecuados, invirtiendo el sentido del plano o violando las restricciones topológicas. Por ello es que se ensayaron otros métodos (refinando los primeros) que sí cumplieran con esas restricciones cartográficas. Un ejemplo es el procedimiento descrito en López-Vázquez (2012a) el cual fue aplicado a la carta N-26.

Los datos de puntos de control para esa carta fueron tomados de Pérez-Rodino (2000). El autor publicó coordenadas de carta y GNSS de 83 puntos. El instrumento utilizado fue un TRIMBLE PATHFINDER XRS con corrección diferencial por código. A esas lecturas se les atribuyó una exactitud genérica de 1.5m con un nivel de confianza del 95%. De ese conjunto de puntos, se seleccionaron 20 para el cálculo de la exactitud según el NSSDA y se utilizaron los restantes 63 para el proceso de mejora de exactitud.

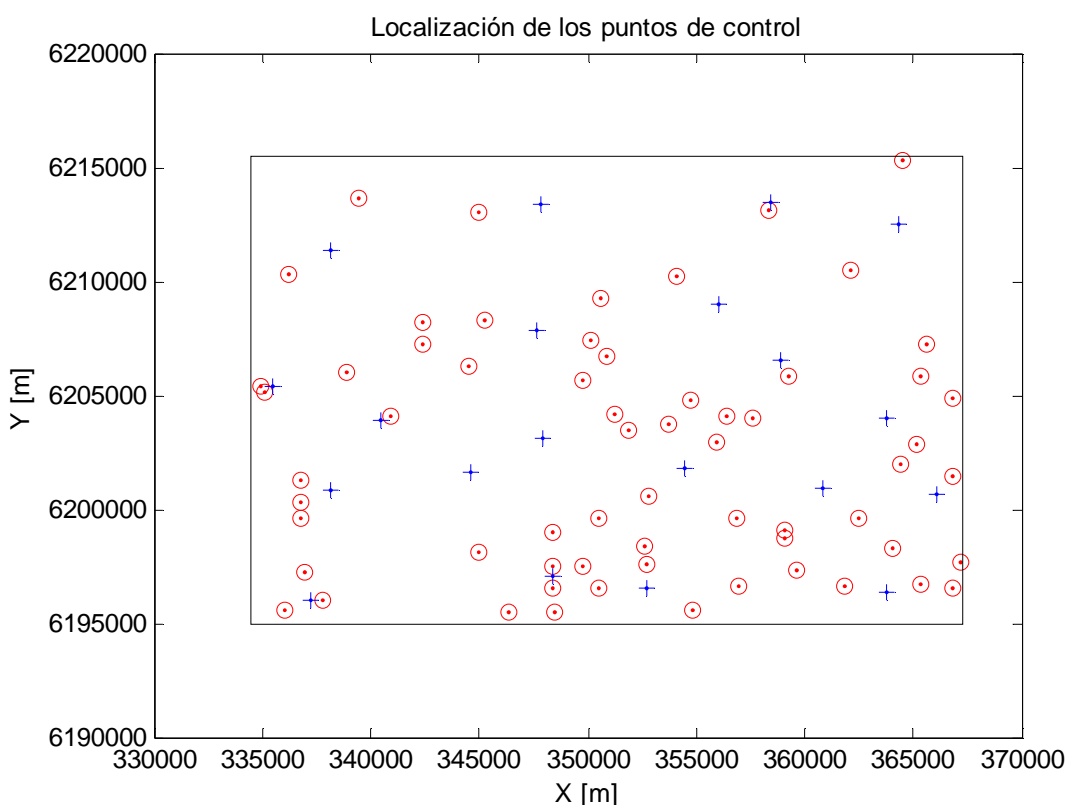


Figura 2 Localización de los 20 puntos de control (+) y de los 63 puntos auxiliares (o) en la carta N-26. Las coordenadas planas corresponden al sistema ROUSAMS

Los resultados para esta carta muestran una significativa mejora en la exactitud. Antes de la corrección, el valor dado por el NSSDA era de 116 m y luego de aplicarla resultó

de 48 m. En ambos casos, los puntos utilizados para valorar la exactitud no participaron en el resto de los cálculos, por lo que puede considerarse como testigos independientes. Otros métodos (ver abajo) muestran resultados numéricamente mejores, alcanzando hasta los 31 m pero ignorando las restricciones cartográficas mencionadas. Además, trabajos posteriores (López-Vázquez, 2012b) han mostrado que es necesario realizar experimentos adicionales para asignarle un nivel de confianza a la elección de uno u otro método, por lo que la aplicación a gran escala de esta técnica requerirá una población mayor de puntos de control y de cartas.

Volviendo a la carta N26, las correcciones en la posición fueron de magnitud variable, que en ciertas zonas alcanzaron valores próximos a los 90 m. Para valorar la bondad del ajuste debe considerarse el linaje de las cartas del PCN50 (y, en particular, de la carta N-26). Esas cartas pasaron por un proceso de producción en papel, y posteriormente uno de vectorización. Para la etapa en papel vale la regla del "1/4 mm a la escala", por lo que la exactitud *no podía ser mejor* que 12.5 m. Por lo tanto el resultado debe valorarse en relación a tal magnitud: puede decirse que se mejoró la exactitud desde un valor próximo a 10 veces el mínimo que puede lograrse, hasta otro que es cuatro veces, lo cual en opinión de este consultor es un resultado remarcable.

Se intentó realizar un procesamiento similar en otras cartas, pero no fue posible recuperar el suficiente número de puntos de control. Sin perjuicio de ello, se reseñan los resultados obtenidos con las cartas O22, N23, N26 y K27 utilizando datos tomados de Pérez-Rodino (2000). Los resultados de la N26 fueron los analizados al detalle anteriormente.

N23	O22	N26	K27	
18	14	20	20	Número de Puntos de Control utilizados
43.5	55.9	116.2	131.2	Estadístico NSSDA inicial
40.5	48.1	48.4	87.6	Poisson+RK (ajustado con LMS)
48.9	52.0	34.6	83.3	Solo RK (ajustado con LMS)
53.5	59.7	36.0	83.8	GRIDFIT con valores por defecto
54.5	62.3	37.8	88.4	GRIDFIT con "regularizer=laplacian"
53.2	59.1	34.9	83.9	GRIDFIT con smoothness =2
51.7	58.6	37.7	81.9	GRIDDATA con opcion V4
48.3	49.9	32.6	64.9	GRIDDATA con valores por defecto
48.9	56.6	31.3	91.4	IDW con exponente dos

Tabla 3 Resultados obtenidos procesando las cartas analizadas por Pérez-Rodino (2000). En negrita el resultado de la aplicación del método descrito en López-Vázquez (2012a)

Los resultados para las cartas N23 y O22 son muy pobres, pero hay que poner en perspectiva los mismos ya que los puntos de control utilizados fueron insuficientes y mal distribuidos en la carta (aspecto no tratado en detalle aquí). Ello inhibe de aceptar como válidos los cálculos del NSSDA. Los otros dos casos (N26 y K27) muestran una significativamente peor exactitud inicial (excediendo los 100 m) pero en ambos casos obteniendo mejoras importantes.

La aplicación masiva de alguno de estos métodos a la cartografía del PCN50 requerirá la identificación en carta de cierto número mínimo de puntos de control (entre 30 y 40), la medida en campo con instrumentos de una exactitud del orden del metro y el procesamiento de todas y cada una de las coberturas involucradas. El resultado final será una cartografía transformada; como resultado intermedio se tendrán dos archivos en formato raster cuyas celdas tendrán en un caso los valores de desplazamiento en la dirección E-W y en el otro en la dirección N-S. Este resultado intermedio podrá utilizarse para procesar posteriormente otras coberturas elaboradas por terceras partes, geoméricamente consistentes con el PCN50 pero que no fueron procesadas conjuntamente. Esta característica es muy importante ya que dado su amplia diseminación, hay múltiples usuarios con información propia montada sobre el PCN50 que requerirán de un servicio que haga coherente la misma con la versión modificada del PCN50.

Desafortunadamente no hay disponibles otras cartas con un número *suficiente* de puntos de control de campo *independientes*. Aquellos recogidos en las Monografías del SGM probablemente participaron en la creación de las propias cartas, por lo que no pueden utilizarse salvo que se confirme caso a caso lo contrario. Además, la exactitud de sus coordenadas no ha sido corroborada sistemáticamente, lo cual tal vez es un inconveniente menor. La extensión prevista de la red REGNA ROU facilitará la tarea de recolección de puntos de control, así como la eventual verificación de los vértices monumentados.

Tarea 3: Realización de experimentos controlados, aplicando las mejores técnicas matemáticas disponibles, utilizando información de trazas de GNSS disponibles en el CDP (Conjunto de Datos Provisorio) de la IDE de Uruguay u otros equivalentes

En el CDP existen registros de trazas GNSS tomadas en conjunto por la Dirección Nacional de Topografía del MTOP y en menor medida por el SGM. Los datos carecen de metadatos; no se documentó el procedimiento seguido, el instrumental utilizado, quién hizo qué parte del trabajo y menos aún la exactitud prevista para el producto final. Sin perjuicio de ello es un conjunto de datos interesante, ya que, incluso si se comprobara que sus características técnicas (exactitud, procedimiento de medida, instrumental, etc.) no fueron adecuadas sería relativamente sencillo realizar de nuevo el relevamiento.

Para evaluar la potencialidad de estos datos se desarrollaron trabajos sobre imágenes tomadas de la colección de fotos de escala 1:40.000 del vuelo de 1966-67 disponibles en la Dirección Nacional de Recursos Renovables (RENARE) del MGAP. Esas imágenes son parte del mismo vuelo que se utilizó para la confección del PCN50 y el parcelario de CONEAT. RENARE está en un proceso de obtener un parcelario con exactitudes planimétricas sensiblemente mejores al existente, utilizando los mismos polígonos CONEAT. Una posibilidad es digitalizar y procesar las fotos existentes creando ortofotos, y luego vectorizar parcelas y límites de polígonos nuevamente. Ello tiene varios inconvenientes prácticos que no es del caso detallar aquí. La otra alternativa podría ser intentar transformar geoméricamente las fotos de forma de acercar las trazas de las rutas visibles en las fotos a sus coordenadas relevadas en campo. En la Tarea 2 se utilizaron exclusivamente puntos de control tradicionales; en este caso se adiciona información en forma de poligonales (*poligonales de control*) dadas por las trazas de las rutas. Como bien señalan en su trabajo López-Vázquez y Manso (2013), los métodos de interpolación habituales no pueden manejar datos en forma de poligonales, por lo que hay únicamente una opción para considerar y es la que fue propuesta en ese trabajo. Una vez determinada la función de deformación de la foto, se podrán digitalizar los polígonos CONEAT nuevamente sobre la “pseudo-ortofoto” así obtenida.

Se dispone de tres de las fotos de la colección del MGAP, identificadas con los números 39028, 39030 y 39032. Con el único fin de evaluar la bondad del ajuste geométrico fueron digitalizadas en un escáner de mesa corriente, y georreferenciadas utilizando únicamente dos vértices. Eso garantiza que la imagen estará libre de distorsiones propias del proceso de registro. Se utilizó el sistema ROUSAMS, y el trabajo se realizó en RENARE con software de ESRI. Si se asume que la imagen de partida es de escala 1:40.000, considerando la regla del $\frac{1}{4}$ mm. las coordenadas planas no pueden leerse con un error menor a 10 m.

Sobre la imagen en formato GeoTIFF se procedió a vectorizar la caminería existente, capa que fue exportada a formato SHAPE y que en lo sucesivo se denominará como caminería CONEAT.

Paralelamente, del sitio de la IDE se obtuvieron las trazas GNSS recogidas en el proyecto UNA-ONU. Las mismas representan los ejes de ruta con una exactitud no especificada, pero presumiblemente comparable con la de un GNSS de mano. Considerando la densidad de la red REGNA al momento de la captura de la información, y asumiendo algo razonable sobre el instrumento, se concluye que el error puede ser estimado en 10 m. En lo que sigue se la denominará como caminería UNA-ONU.

En la sección de Cartografía del SGM se dispone de monografías con información de puntos notables del terreno correspondiente a cada una de las tres imágenes. Para cada

uno de esos Puntos de Control de Campo (PCC) la información disponible incluye una descripción literal del entorno así como las coordenadas geográficas medidas en campo. El linaje de esa información es variado; algunos técnicos del SGM estiman que puede genéricamente atribuírsele un error mejor a 1 m, mientras que otros opinan que ello es posiblemente optimista.

El ensayo realizado requirió identificar tramos homólogos de la red vial de la caminería CONEAT en la caminería UNA-ONU. En los dos casos la única información disponible era la geométrica, careciendo ambos conjuntos de otros atributos (como tipo de camino, nombre del mismo, etc.). Como tarea previa fue necesario editar la caminería UNA-ONU de forma de limitar las poligonales a tramos comprendidos dentro de las imágenes. A continuación se identificaron tramos homólogos en la caminería CONEAT. Una vez que cada poligonal tuviera un homólogo geoméricamente válido, fue necesario corregir problemas topológicos. Entre ellos, puede señalarse que:

- Lo que era una única poligonal en un juego de datos debía ser también una única poligonal en el otro. Ello implicó unir poligonales visualmente consecutivas pero lógicamente disjuntas.
- Dentro de cada poligonal, no deberían existir tramos formando 0 grados con el consecutivo (retrocesos).
- No deberían presentarse vértices duplicados
- El sentido de digitalización de una poligonal debía ser el mismo que en su homóloga

La edición se realizó con la ayuda del software EasyDEM®. A continuación se elaboró un programa apropiado en el ambiente Matlab 2011 para leer las imágenes, las poligonales de la caminería CONEAT, sus homólogas, así como para procesar el conjunto. El procesamiento consistió en la determinación de una transformación matemática que, dado un vértice en coordenadas planas correspondiente a la imagen de partida, generara una nueva coordenada plana más ajustada a los valores de campo que la primera.

La transformación aplicada está descrita en López-Vázquez y Manso (2013). La misma toma como punto de partida un conjunto de poligonales homólogas, construye una cobertura raster conteniendo los valores de desplazamiento E-W (y otra para N-S) y luego aplica esos desplazamientos al conjunto de píxeles o vértices que se desee. Como el cálculo es muy pesado cuando hay muchas poligonales homólogas, los datos raster intermedios se guardan para poder aplicarlos en ulteriores procesamientos. Como se ha indicado antes, ello permitiría operar posteriormente con otros juegos de datos que estén asociados a las mismas imágenes de base. En el trabajo realizado se definió la geometría de una imagen “destino”, se recorrió ordenadamente cada uno de los píxeles de la misma y se determinó el pixel correspondiente en la imagen de partida tomando el vecino más cercano.

En el artículo mencionado se detalla que los desplazamientos son calculados como la suma de dos términos, donde el primero logra que tras la transformación las poligonales coincidan exactamente con sus homólogas. El segundo término corrige al primero, y si la distorsión del plano excede cierto rango de valores, la suaviza logrando una transformación que satisface *aproximadamente* el requisito de transformar las homólogas y *estrictamente* que la distorsión geométrica esté acotada. Por distorsión geométrica se entiende expansión o compresión de áreas. La transformación final coincide con el primer término (que admite una expresión analítica) si la distorsión es adecuada; en ese caso, el segundo término será idénticamente nulo. Por detalles se remite al lector al artículo mencionado.

La bondad del procedimiento fue evaluada mediante el uso de los PCC disponibles en el SGM. Para ello, se los identificaron visualmente en las imágenes crudas (ya georreferenciadas) y en la versión transformada de las mismas. Si bien la resolución del pixel no era demasiado buena, fue posible leer coordenadas en ambos juegos de imágenes. Por tratarse de una zona rural no se dispone de un conjunto significativo de PCC, por lo que no es posible aplicar el estándar NSSDA de exactitud geométrica; las conclusiones de este trabajo son por lo tanto mayormente cualitativas.

El registro de la foto de partida se hizo con únicamente dos puntos, por lo que es razonable asumir que su exactitud en los PCC no sería demasiado buena. Tras la transformación, las rutas de la imagen y sus homólogos deberían coincidir (o acercarse mucho) y es allí donde las discrepancias deben medirse y valorarse. Los datos de caminería UNA-ONU tienen errores posicionales debido al método de captura y al instrumento utilizado (no especificado en los metadatos) pero puede suponerse que excede fácilmente de 10 m RMSE. Las poligonales obtenidas tras un proceso de digitalización con fotos de escala 1:40.000 tienen un error planimétrico mínimo de 10 m, por lo que se concluye que la caminería utilizada no empeorará las cosas. La exactitud de las coordenadas de los PCC tampoco es la ideal para estos fines; los estándares requieren que los PCC tengan coordenadas con error menor a un tercio del dato a ser evaluado (aspecto que se debe comprobar luego del cálculo). En este caso, tras las consultas realizadas no ha habido unanimidad en el SGM en relación a la exactitud de los puntos monográficos, indicando que no se han hecho evaluaciones sistemáticas con instrumental moderno de esa información. En lo que sigue se tomó como válida la hipótesis de que la exactitud de las coordenadas absolutas de los PCC es submétrica.

Para los PCC los resultados se resumen en la siguiente tabla:

	Foto original			Foto transformada		
	Módulo	E-W	N-S	Módulo	E-W	N-S
A (1-141.021-2)	116	5	116	101	9	101
B (1-141.023-1)	75	47	58	85	61	59
C (0-041.157-2)	116	70	92	29	29	3
D (0-041.152-1)	22	21	8	43	43	3
E (I - Coronilla)	0	0	0	0	0	0

Tabla 4 Discrepancia entre las coordenadas de los puntos de las monografías y los homólogos en la foto original y transformada. La medición fue realizada por personal del SGM.

Los errores en la *foto original* podrían ser arbitrariamente groseros; la imagen fue georreferenciada únicamente por dos de sus vértices, y no se pidió a RENARE un esfuerzo especial en ello. La *foto transformada* en cambio debería reflejar mucho mejor la realidad del terreno. El hecho de contar únicamente con cinco PCC para tres imágenes ilustra la dificultad de extraer conclusiones. Hay un punto que no muestra discrepancias con las coordenadas de la monografía ni en la foto original ni en la foto transformada, lo cual es llamativo. El punto A estaba a 116 m y tras la transformación terminó a 101 m. Sin embargo, si se analiza en la Tabla 4 los desplazamientos por separado, puede verse que la discrepancia inicial era esencialmente en dirección N-S. El punto C tuvo una sensible mejoría, tras corregir la deformación en dirección N-S. El punto D en cambio empeoró la componente E-W, lo cual puede ser debido a que las rutas disponibles para el ajuste no dieran información relevante en esa dirección si es que corren en la dirección E-W.

Tarea 4: Formular recomendaciones sobre procesos de mejora sistemática a nivel de datos, a nivel de organización y a nivel de procesamiento de los mismos en el ámbito del SGM para su aplicación masiva a toda la cartografía.

El proceso de mejora sistemática de exactitud posicional de una cartografía nacional reconoce pocos antecedentes. Hasta donde el autor conoce, solamente ha sido encarado en esas condiciones por el Servicio Cartográfico Inglés e identificado como PAI (*Positional Accuracy Improvement*). Hay sin embargo noticias de esfuerzos parciales en EEUU, Alemania, etc.

Un Programa de Mejora de Exactitud Posicional (ProMEP en lo que sigue) constituye un esfuerzo importante, tanto para el productor como para el usuario. Los cambios geométricos que pudieran introducirse en la cartografía oficial difieren de aquellos que se hacen en una actualización. En estos casos los cambios son acotados, y reflejan situaciones nuevas en el terreno que es bienvenido se incorporen. En cambio, los cambios de un ProMEP son masivos; alteran totalmente (en mayor o menor medida) la localización de todos los objetos geográficos independientemente de su actualización. Para un usuario que no tiene datos propios (por ejemplo, un gestor de flotas), la migración al nuevo PCN50 no tendrá ninguna complicación. Si hiciera un zoom significativo podría comprobar que las rutas comunicadas por los equipos GNSS en los móviles ahora coinciden mejor con las indicadas en la cartografía. El problema se plantea cuando el usuario ha generado coberturas con información propia (por ejemplo, un catastro rural). Al trasladar las coberturas oficiales del PCN50 a nuevas posiciones debe preverse un mecanismo para que también sean arrastradas (y de la misma forma) todas las coberturas disponibles. Caso contrario, se manifestarán inmediatamente errores topológicos inadmisibles: parcelas cortadas por rutas, parcelas parcialmente en el mar o cortadas por un límite departamental, etc. Todos estos aspectos de sentido común han sido considerados en López-Vázquez (2010).

La afortunada circunstancia de estar en negociación la ampliación de la red REGNA ROU, la realización de un nuevo vuelo aerofotogramétrico nacional y la construcción de nueva cartografía a escala 1:25.000 ofrecen una oportunidad de ejecutar un ProMEP utilizando información a recolectar para otros fines. En particular, la producción de ortofotos o la evaluación de su exactitud requerirán nuevos puntos de control de campo, los cuales podrán ser medidos más rápida y eficientemente que en el pasado con el apoyo de la red REGNA ROU. Si bien no hay garantías que todos esos puntos sean a su vez identificables en las fotos de 1966, es muy probable que una fracción significativa aparezcan también allí. Ello abre la puerta para ejecutar un ProMEP con la cartografía PCN50 una vez que se hayan tomado los PCC. Usándolos en conjunto con los datos de trazas GNSS se podría aplicar el procedimiento mencionado en la Tarea 3, el cual se espera sea muy eficiente en términos del número de PCC requeridos. En contrapartida, ellos no podrían estar localizados sobre rutas y caminos (típicamente en bifurcaciones o cruces) ya que suministrarían información redundante.

Si los proveedores de las ortoimágenes lograsen una exactitud suficiente en su producto los PCC podrían ser leídos en gabinete de las mismas, y los homólogos identificarse en la cartografía PCN50. En ese caso la exactitud planimétrica que puede lograrse estaría acotada por las de las nuevas ortoimágenes, que al ser adecuadas para producir cartografía 1:25.000 tienen requerimientos más estrictos que los de la PCN50. La

facilidad o dificultad de identificar puntos de la PCN50 en las ortoimágenes es un aspecto que deberá ser abordado en su momento.

La necesidad masiva de PCC (de la fuente que sean) plantea nuevos desafíos al SGM en algunos productos específicos. En particular, las monografías. En el futuro el valor de las mismas para los usuarios tal vez decrezca; con un GNSS adecuado es posible hoy obtener coordenadas absolutas de cualquier punto del territorio, y no es requerido apoyarse en la red geodésica de primer, segundo o tercer orden y las monografías de sus puntos para obtener una coordenada conocida. Sin embargo hay aplicaciones en las que es aún necesario contar con coordenadas fiables, especialmente en cota, ya que los GNSS dan cotas elipsoidales y los puntos de la red geodésica cuentan (en muchos casos) con cotas ortométricas. Para muchas aplicaciones usar unos u otros es indiferente; para otras, un modelo geoidal más el GNSS dan resultados adecuados. Pero hay un importante grupo de usos que aún requiere de cotas ortométricas por lo que las monografías no podrán desecharse.

La puesta en valor de las monografías debe incluir un trabajo sistemático para evaluar su exactitud, incluyendo la generación de metadatos en formatos estandarizados *para cada uno de ellos*. Deberá considerarse la posibilidad de gestionar dos conjuntos diferentes: aquellos administrados y gestionados por el propio SGM, y aquellos aportados por la comunidad de usuarios del SGM. Ello constituirá un cambio cultural en el SGM, consecuencia del avance tecnológico. En el pasado, la determinación de coordenadas absolutas de un punto monumentado requería de un significativo trabajo de campo (que se podía medir en años) y de cálculos sofisticados realizados por especialistas. Era impensable que un privado pudiera hacer un trabajo comparable sistemáticamente y a escala nacional; si lo hacía, no había forma sencilla de diseminarlo ni de valorar su exactitud. La realidad tecnológica del presente es muy diferente. Los equipos GNSS del presente logran exactitudes de las coordenadas absolutas comparables con las de las redes geodésicas de antaño *para todos los puntos medidos*. Por añadidura, la capacidad de cálculo de las computadoras hacen sonreír frente a las demandas de procesamiento del pasado (tal vez innecesarias al obtener directamente coordenadas absolutas) y la Internet con sus redes sociales hacen el resto para permitir la diseminación de la información recogida. En opinión del consultor, el SGM debe liderar el proceso conformando una comunidad de usuarios que (con el tiempo) suministrará no solamente PCC nuevos de exactitud variada, sino que colaborará en la tarea de inspección de los puntos geodésicos monumentados de la red oficial. El resultado neto será una comunidad mejor atendida desde el SGM, tanto con puntos de linaje garantizado oficialmente como por otros de características tal vez menos controladas pero que el uso pondrá en valor.

Agradecimientos

En los trabajos se han utilizado datos no publicados suministrados por la Ing. Agr. Cecilia Petraglia y Martín Dell'Acqua del MGAP, y otros disponibles en la IDE-UY.

Referencias:

- Anon., 1998. "Geospatial Positioning Accuracy Standards Part 3: National Standard for Spatial Data Accuracy" *Federal Geographic Data Committee*, 28 pp.
- Anon., 1947. "United States National Map Accuracy Standards", *U.S. Bureau of the Budget*, 1 pp.

- Anon., 1957. "MIL STD 414: Sampling procedures and Tables for Inspection by Variables for Percent Defective" *U.S. Department of Defense, Government Printing Office*, Washington D.C. 118 pp.
- Anon., 1989. "MIL STD 105D: Sampling Procedures and Tables for Inspection by Attributes". *U.S. Department of Defense*, Washington D.C., 68 pp.
- Anon., 1996. "MIL STD 1916: DoD Preferred Methods for Acceptance of Product", *U.S. Department of Defense*, 33 pp.
- Ariza, F.J. 2002. "Calidad en la producción Cartográfica". *Ed. Ra-Ma*, Madrid, España. ISBN 84-7897-524-1. 389 pp.
- López-Vázquez, C. y Manso Callejo, M. A., 2013. "Point and Curve-Based Geometric Conflation". *International Journal of Geographic Information Science*, 27, 1, 192-207
- López-Vázquez, C., 2010. "Requerimientos de un Programa de Mejora de Exactitud Posicional" *Anales del I Congreso Uruguayo de Infraestructura de Datos Espaciales*, 25-26 Octubre de 2010, Montevideo, Uruguay. 11 pp
- López-Vázquez, C., 2012a. "Positional Accuracy Improvement using Empirical Analytical Functions" *Cartography and Geographic Information Science (CaGIS)*, 39, 3, 133-139
- López-Vázquez, C., 2012b. "On the interpolation algorithm ranking". *Spatial Accuracy 2012 July 10-13th Florianópolis, Brazil*, 6 pp
- Méndez-Baílo, R. y López, C., 2010. "Evaluación de exactitud posicional horizontal y vertical de la Cartografía Oficial a escala 1:50.000" *Anales del I Congreso Uruguayo de Infraestructura de Datos Espaciales*, 25-26 Octubre de 2010, Montevideo, Uruguay. 8 pp.
- 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 Oct., 17 pp.