

Aplicación de SIG en proyecto de gestión de redes hidráulicas en la República de Sudáfrica

MsC. Ing. Jorge Alfonso Ordás
Empresa Aguas de La Habana.
email: jalfonso@ahabana.co.cu

RESUMEN

En el presente trabajo se exponen las experiencias en la aplicación de técnicas de Sistemas de Información Geográfica (SIG), en un proyecto de minimización de riesgos de dolinas (sinkhole) en la República de Sudáfrica. En el mismo se demuestra, como la herramienta SIG facilitó tanto, el manejo de las redes de agua y saneamiento como la gestión de los reportes de incidencia. También se exponen las características específicas del proyecto, las fases en que se trabajó para la creación de las bases del SIG, los resultados preliminares obtenidos y las perspectivas del desarrollo futuro. Por último, se presentan algunas experiencias adquiridas en las condiciones sudafricanas y que pueden ser aplicadas en Cuba, dada la similitud de condiciones.

Palabras clave: agua, abastecimiento, dolina, saneamiento, SIG

GIS application in project management of water networks in South African Republic

ABSTRACT

The present work introduces experiences in the application of Geographical Information Systems (GIS) technologies in a risk minimization of a sinkhole project in the Republic of South Africa, where the GIS tools facilitates the handling of water and sanitation networks and the management of the incidence reports. The specific characteristics of the project are considered, the phases of the work for developing GIS databases, the preliminary results and the perspectives of development. In the same way some experiences acquired by the work under the South African conditions are presented which might be of interest to Cuba.

Keywords: GIS, sanitation, sinkhole, water, water supply

INTRODUCCIÓN

Como parte del convenio de colaboración intergubernamental entre las República de Cuba y la República de Sudáfrica, un grupo de colaboradores cubanos brindaron sus servicios técnicos por tres años, vinculados a proyectos del Ministerio de Obras Publicas Sudafricano (DPW, Department of Public Works).

Uno de los proyectos beneficiados con esta colaboración fue “ThabaTshwane: RAMP: Dolomite risk management for Thaba Tshwane and Waterkloof Military Complexes”; en el cual, la aplicación de técnicas de Sistemas de información Geográfica (SIG), permitió el ordenamiento de la base de datos existente, la identificación de zonas críticas del proyecto y el uso más eficiente de los recursos disponibles.

El objetivo de este trabajo es, exponer la experiencia de la aplicación de tecnologías SIG en trabajos de gestión y mantenimiento tanto de redes de suministro de agua como de saneamiento; de igual forma, compartir experiencias y conceptos adquiridos en tres años de trabajo en la República de Sudáfrica, como son: el funcionamiento de los Centros de Llamadas, el establecimiento de prioridades para los reportes y la implementación de penalidades al Contratista por no cumplir los plazos de respuesta a los reportes.

ANTECEDENTES DEL PROYECTO

La Base Militar ThabaTshwane se encuentra ubicada al sur de la ciudad de Pretoria (Tshwane), provincia de Gauteng en la República de Sudáfrica y fue fundada en 1905 por el ejército colonial británico, que la llamaron Colina Roberts. En 1939, estando la Unión de Sudáfrica comandada por los Bóer y con un marcado nacionalismo afrikan, se renombró como Colina Voortrekker y no es hasta el 1998, con el fin del Apartheid en Sudáfrica y el advenimiento del gobierno democrático dirigido por Mandela, que toma el nombre actual de Colina Tshwane, en alusión al nombre nativo de la ciudad de Pretoria.

Por su parte, la Base Aérea de Waterkloof fue creada en 1938 y fue ampliada durante la 2da Guerra Mundial, en ella se albergan 9 escuadrones y 5 unidades élites de la Fuerza Aérea Sudafricana. Esta Base Aérea también se encuentra ubicada al sur de la ciudad de Pretoria y al norte de la zona de Centurión.

Por otra parte, es conocida la peculiar formación geológica que presenta el área ocupada por la República de Sudáfrica, donde aparecen amplias zonas de roca Dolomita, especialmente el área de la provincia de Gauteng, donde está presente en el 25% de las tierras, incluyendo zonas densamente pobladas como Bekkersdal, Katorus, Centurion, Dobsonville, etc., la distribución de Dolomita en toda Sudáfrica se muestra en la figura 1.

La presencia de roca Dolomita está directamente relacionada con la aparición de dolinas, debido a que esta roca tiende a disolverse con el agua con el paso de los años, dejando huecos vacíos en el subsuelo, que al fallar su techo provoca oquedades en el terreno que son los llamados sinkhole, dolinas o cenotes.

Cuando en las zonas con esta formación geológica se desarrollan centros urbanos y de infraestructura, sin el debido cuidado de utilizar materiales de alta calidad, fundamentalmente en las redes hidráulicas, o por el deterioro de los materiales utilizados con el paso de los años, se facilita la aparición de salideros que lentamente lavan el terreno hasta propiciar la formación de estos fenómenos (Department of Public Works, Republic of South Africa, 2003), como se aprecia en la figura 2.

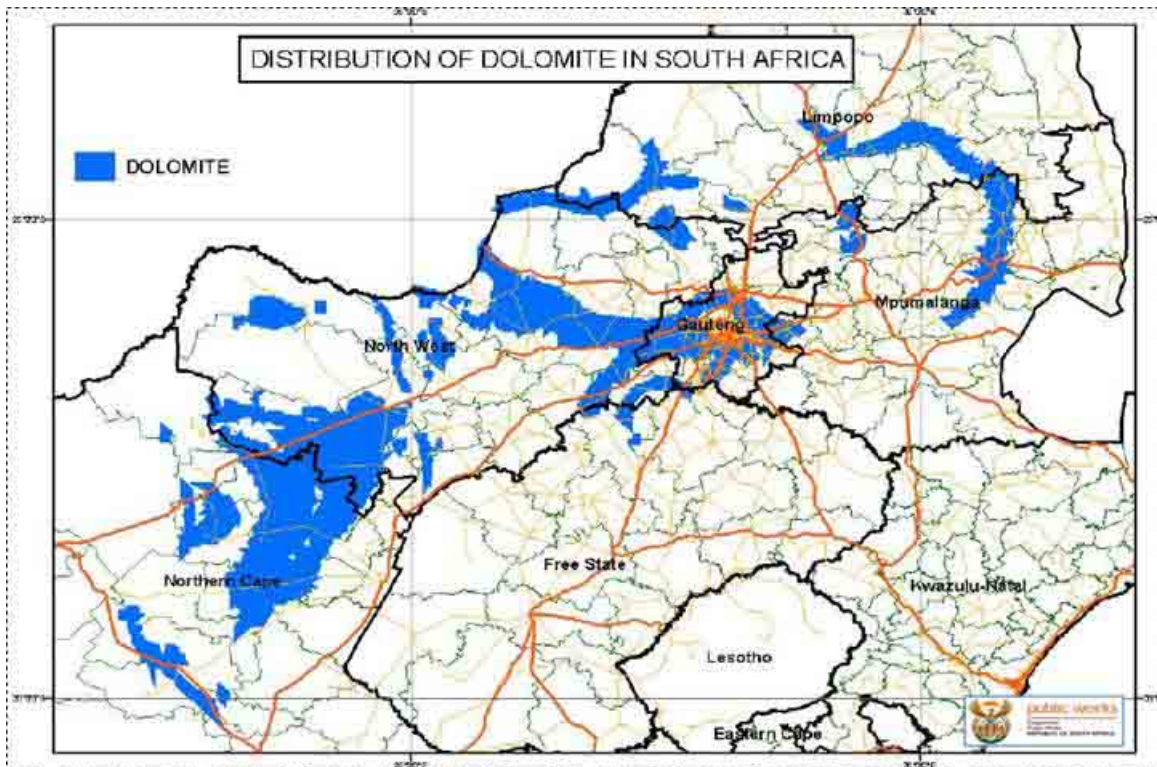


Figura 1. Distribución de roca dolomita en la República de Sudáfrica.

Fuente: PWD (Department of Public Works, Republic of South Africa, 2003).

Hasta el año 2003, habían muerto 38 personas debido a los derrumbes ocasionados por la aparición de dolinas en centros deportivos, fabricas y viviendas, con pérdidas financieras evaluadas en más de 1000 millones de Rand (142 millones de USD, según el cambio actual). Más de 1950 dolinas se han reportado en todo el país, específicamente 800 al sur de Pretoria y las áreas de Centurión y Atteridgeville (Department of Public Works, Republic of South Africa, 2003). Esto denota lo peligroso de estos eventos y justifica la atención que se le da, para evitar sus devastadoras consecuencias.

De acuerdo con las funciones que tiene el Department of PublicWork (DPW), está bajo su jurisdicción la construcción y mantenimiento de las instalaciones de los servicios públicos, incluidos los referentes al Ministerio de Defensa. Por esta razón, atendiendo a los eventos presentados y al peligro potencial que representa tener instalaciones de 100 años de antigüedad en un área de riesgo de ocurrencia de dolinas, el DPW decidió la creación del Proyecto de Reparación y Mantenimiento (RAMP por sus siglas en ingles) para el manejo de riesgos por Dolomita para el Complejo Militar de ThabaThswane y Waterkloof.

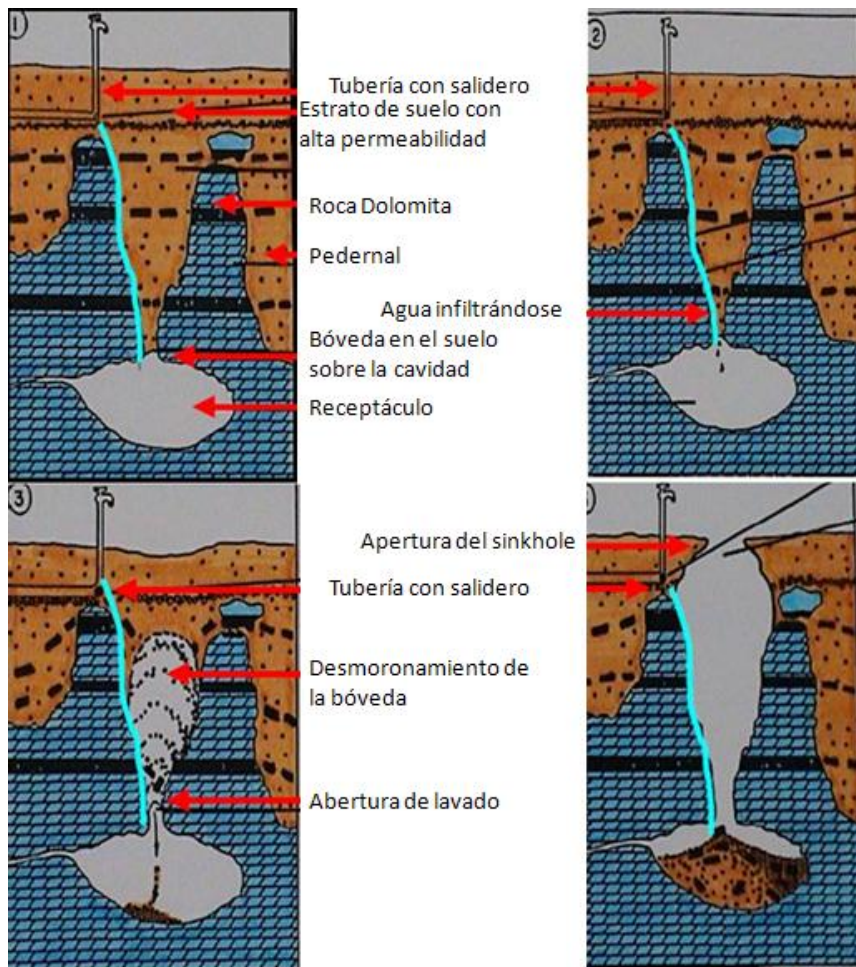


Figura 2. Proceso de formación de Dolina.

Fuente: DPW (Department of Public Works, Republic of South Africa, 2003)

CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO

El objetivo principal del proyecto es la eliminación de cualquier vertimiento sostenido de agua en el terreno, para con ello, minimizar los riesgos de formación de dolinas en su área de acción, así como la gestión de manejo y reparación de las dolinas que existen o que puedan ocurrir.

El proyecto abarca las áreas de Thaba Thswane, Base Aérea de Waterkloof, Base Aérea de Swartkop y el área de la Reserva Natural Swartkop, extendiéndose por una superficie total de 34 km² (figura 4.). Dentro de los límites del proyecto, además de las dos bases aéreas y la reserva natural, se encuentran escuelas militares, áreas de entrenamiento militar, albergue de tropas, almacenes e instalaciones de logística militar, instalaciones deportivas, cedes de instituciones militares como la Policía Militar, el Batallón Nacional de Ceremonias, la Guardia Presidencial, la División Médica del Ejército, entre otras; también están ubicados, un Hospital Militar, un campo

de golf, escuelas, iglesias, comercios y viviendas, así como otra infraestructura urbana civil, vinculada al complejo militar.



Figura 3. Dolina en el área del proyecto.

Para el cumplimiento del objetivo principal se ha montado una logística basada en tres pilares fundamentales, el Centro de Llamadas, la Oficina de Ingeniería y el Contratista.

El Centro de Llamadas (Call Center) es gestionado por el Ministerio de Defensa y está constituido por varias oficinas que se encargan de recibir los reportes de salideros, averías, tupiciones, etc., que puedan constituir vertimientos de agua al terreno.

Este centro de llamada categoriza el reporte en Emergencia, Urgente y Ordinaria; le da un código de entrada y registra la fecha y hora de recepción del reporte, así como la fecha y hora en que es atendida y solucionado finalmente, y emite una orden de reporte a la Oficina de Ingeniería y al Contratista.

La Oficina de Ingeniería (Engineer's Representative) se encuentra ubicada dentro del área del proyecto y gestiona y controla todos los reportes, velando porque los mismos sean atendidos en los tiempos establecidos: Emergencias, 1 hora; Urgencias 2 horas y Ordinarios 48 horas (Department of Public Works, Republic of South Africa, 2006).

En caso de incumplimientos, aplica penalidades al Contratista. Toda la información de los reportes se gestiona por medio de una base de datos, que es verificada constantemente con el Contratista y, mensualmente, en la reunión de coordinación, con el DPW y los representantes del Ministerio de Defensa. Otra de las funciones fundamentales de la Oficina de Ingeniería es la asesoría técnica y el chequeo de las obras ejecutadas, así como la toma de decisiones y manejo del presupuesto asignado al proyecto y la ejecución y gestión de las órdenes de pago al Contratista.

El Contratista (Contractor Site) dispone de tres partes. El Equipo de Valoración (Assessment Team) donde se recibe la información de los reportes y se gestionan los mismos, se tramitan los pagos y cobros y se compatibiliza la base de datos con la oficina de Ingeniería.

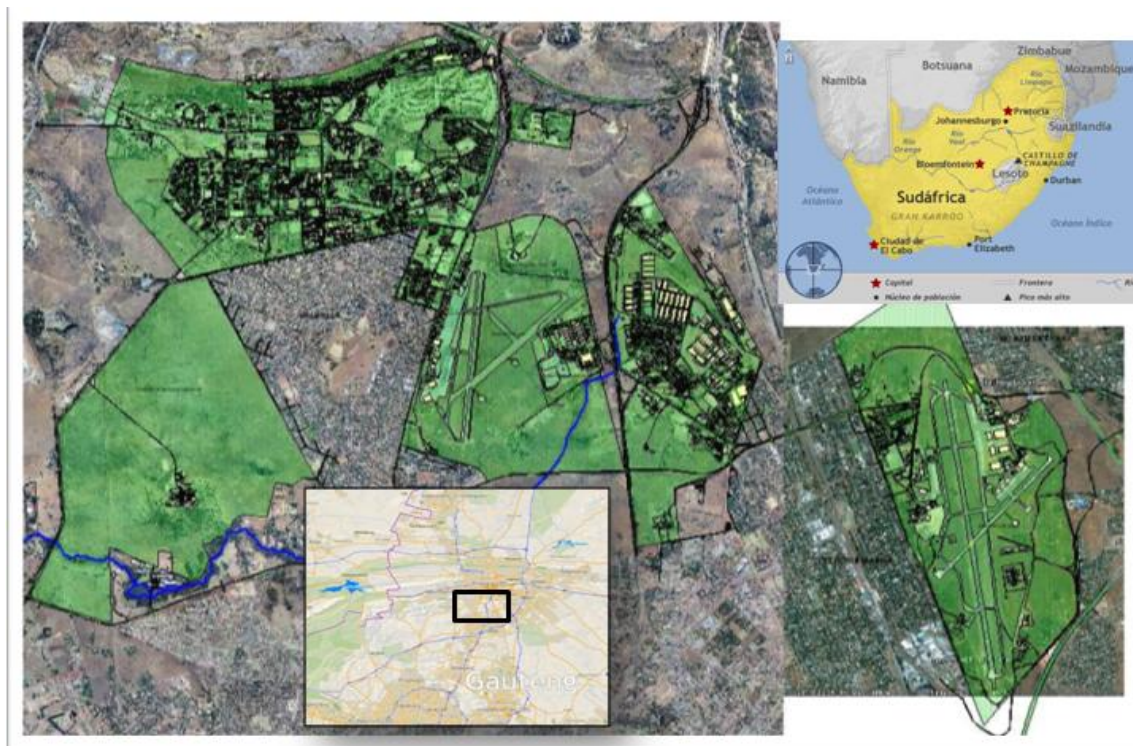


Figura 4. Área del proyecto.

La segunda parte es la Brigada de trabajo permanente (Care Team), un equipo que debe disponer de personal suficiente y capacitado para responder cualquier reporte las 24 horas del día, los 365 días del año. Esta brigada dispone de personal, herramientas, materiales y transporte para desdoblarse en dependencia de la cantidad de reportes recibidos, de forma que se garanticen los tiempos establecidos. La información de reportes la recibe mediante mensajería instantánea (sms) de la red de telefonía móvil y de la misma forma se reporta su atención y solución final.

La tercera parte es la Brigada de apoyo (Back up Team) que atiende los trabajos, que por su naturaleza o envergadura, no es posible solucionar con el Care Team, así como los trabajos de inversiones, derivados de análisis de la Oficina de Ingeniería y el mantenimiento de redes.

Al proyecto se le asigna un presupuesto de alrededor de 20 millones de Rand para un periodo de tres años. Todos los trabajos deben ser certificados por la Oficina de Ingeniería y el DPW, para su liquidación final por parte del DPW.

Como promedio, se reciben 130 reportes mensuales, de los cuales el 75% son obstrucción de tuberías de drenaje y alcantarillado y el 15% fugas de agua potable; existe un 6% de reportes que son cancelados, ya bien porque se encuentran fuera del área o porque su naturaleza no está concebida dentro del proyecto, casos estos a los que se les da seguimiento con la autoridad pertinentes, hasta su final solución.

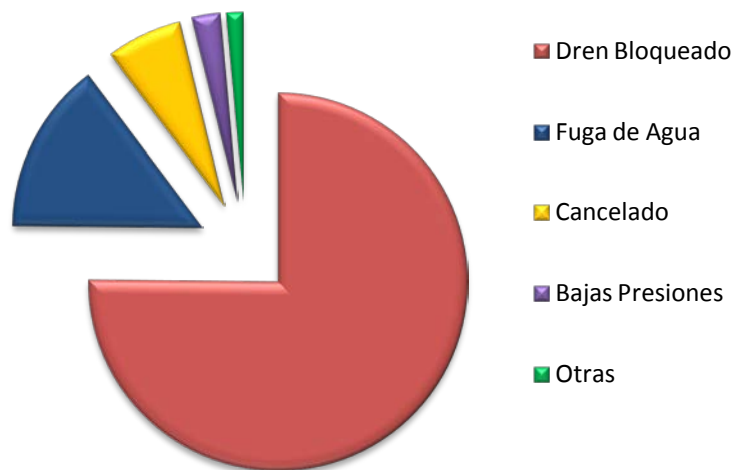


Figura 5. Características de los reportes.

PECULIARIDADES Y CONCEPTOS SIGNIFICATIVOS DENTRO DEL PROYECTO

Algunos aspectos resultan interesantes para comprender el funcionamiento de este proyecto. El hecho que constituya un proyecto de reparación y mantenimiento, con necesidad de presencia de personal permanente y contra un presupuesto fijo, obliga al Contratista a dimensionar sus fuerzas constructivas, de forma tal que garanticen el buen desenvolvimiento del trabajo de la forma más económica posible.

La categorización de los reportes y la fijación de tiempos máximos para ser atendidos y solucionados, con riesgo de penalizaciones monetarias, garantiza que se minimicen los tiempos de derrame de agua en la zona.

La existencia de Oficina de Ingeniería garantiza el manejo ordenado del presupuesto asignado, hace cumplir los tiempos establecidos y garantiza la calidad de los trabajos y las soluciones, constituyendo la contraparte del Contratista.

El concepto de Centro de Llamadas permite la concentración de la información en un solo punto, así como una sola autoridad para abrir y cerrar reportes. La utilización de la telefonía móvil garantiza la velocidad de las respuestas a la vez que deja una traza del reporte que puede ser verificada.

La base de datos del proyecto recoge, minuciosamente, todos los reportes abiertos con sus fechas y horas de entrada, atención y cierre, así como la naturaleza del mismo, prioridad asignada, dirección física, entre otros aspectos; sin embargo, resulta difícil determinar puntos o zonas con reincidencia de reportes, debido a que las direcciones, único aspecto que puede ayudar a agruparlas, no siempre se escribe de la misma forma, por lo que resulta imposible efectuar búsquedas automáticas de reportes coincidentes en un lugar y para detectar zonas críticas es necesario recurrir a la experiencia de los técnicos.

APLICACIÓN DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Desde su aparición por los años 70 del siglo pasado, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) han seguido un continuo desarrollo, y cada vez es más común su aplicación en la vida cotidiana. Aunque existen múltiples formas de conceptualizar esta herramienta informática, todos coinciden en que constituye una base de datos con referencia geográfica, o sea, que puntos, líneas, polígonos o sectores están relacionados con datos específicos (Moreno, et al., 2002).

El éxito de estas tecnologías se basa en que permite centralizar, organizar, actualizar, normalizar y controlar grandes bases de datos geográficas, para conseguir que lleguen a los lugares de trabajo, investigación y de decisión política de la forma más fácil y adecuada. Los SIG, por lo tanto, son reflejo funcional de las necesidades de la Sociedad de la Información, al convertirse en una interface modélico-gráfica muy eficaz en los DSS (Decision Support System, Sistemas Soporte de toma de decisiones), dentro de los MIS (Management Information Systems, Sistemas de Información para la Gestión y el Planeamiento) (Universidad de Alicante, 1999). Sus bondades en el campo de las redes hidráulicas es conocida y entidades, como Aguas de La Habana, las vienen desarrollando y explotando con éxito desde hace más de 8 años.

Ante la dificultad que representaba identificar los puntos con incidencias reiteradas y zonas con problemas, se hizo la propuesta de desarrollar un SIG en el área del proyecto y evaluar, en primera instancia, su factibilidad con vistas a ampliar su alcance.

Las primeras dificultades presentadas consistieron en no disponer de software especializados ni de cartografía digital de la zona. La empresa consultora accedió a facilitar una versión limitada del ArcView 3.2 de ESRI, con vistas a desarrollar las bases del trabajo y analizar sus beneficios, y de esta forma, realizar un estudio de factibilidad de adquisición de este u otro software.

La ausencia de una cartografía digital de la zona y los elevados costos de su compra a empresas especializadas, llevo a la decisión de generar una cartografía propia, que aunque adoleciera de una alta precisión, permitiera la creación de las bases del trabajo. Para ello se contó un 4 fotos satelitales de alta resolución, de la zona de Thaba Thswane y Swartkop; la zona de Waterkloof requirió la captura de imágenes de Google Earth; todas ellas fueron georeferenciadas y unificadas como primer paso. Seguidamente se acometió la digitalización de toda la zona de interés, siguiendo una normalización de la información de forma que, la infraestructura de carreteras, ferrocarriles, inmuebles, límites de propiedad e hidrología, quedaran en capas independientes. Posteriormente se realizó la normalización los tramos de calles y números de inmuebles, que consistió en la generación de un tema con todos los tramos de calles del área y su vinculación a sus respectivos nombres, de igual forma se vincularon los polígonos de inmuebles con sus respectivos números o nombres en el caso necesario.

Para este trabajo se consultaron planos de carretera, pero en su mayor parte, sobre todo en el caso de números de casas, fue necesaria la recolección de información en el terreno, para lo que se utilizaron técnicas de Gestión Geográfica Distribuida, que será explicado más adelante. Con posterioridad, se vincularon los temas de tramos de calles y números de inmuebles, y de esta forma, se habilitó el localizador de direcciones. El localizador de direcciones es una Herramienta SIG que ubica, automáticamente, una dirección específica a partir de la intersección de calles o de la calle y el número de casa; resulta de mucha ayuda para explotar planos callejeros, cuando no se tiene total dominio de la zona o para zonas grandes.

De la misma forma se creó un tema de áreas, siguiendo la subdivisión que se aplicaba con anterioridad y que permitió la caracterización de cada una de las áreas según su tamaño, perímetro, uso de suelo, edad, principales problemas presentados, etc.

Disponiendo ya de una base cartográfica digital, sobre la que se podía trabajar, se acometieron trabajos de recopilación de la información de redes existente. Como es usual en estos casos, esta información no se encuentra disponible, en este caso ni por la Municipalidad, ni el Ministerio de Defensa, ni el DPW; solo se encontró parte de la información de redes de abastecimiento, en una empresa consultora que había trabajado en el área, algunos años atrás, pero que no acreditaban la veracidad de la información, debido a que solo realizaron los proyectos y no siguieron el proceso constructivo, por otra parte, en la mayoría de los casos, venía la información de las redes existentes antes de su análisis, unida a las nuevas redes propuestas, sin tener certeza de cuales fueron sustituidas y cuáles no.

Como quiera que sea, esta información fue útil para tener una idea del problema que manejábamos, y concientizar al DPW de la necesidad de disponer de esta información y sobre todo, realizar el seguimiento de las inversiones que se ejecutan, para disponer al final, de la información necesaria para la explotación del sistema.

Con la precaria información disponible, se procedió a la recolección y verificación de información en el terreno. Para esto se aplicaron técnicas de Gestión Geográfica Distribuida (GGD). Las técnicas de GGD constituyen herramientas que, haciendo uso de hardwares y softwares especiales, redes de comunicación y GPS, permiten la recolección y verificación de datos en el terreno y su actualización inmediata en la oficina central (Pulido, 2006).

En este caso específico, su utilización fue limitada por la no disponibilidad de GPS ni comunicaciones. Específicamente se utilizó una PDA (computadora de bolsillo) donde se cargó la información digital disponible haciendo uso del software ArcPad de ESRI y con estas herramientas se acometió el recorrido de campo, recogiendo la información de números de casa y nombres de calle primero y de hidrantes, válvulas, registros, ventosas, y tuberías visibles en un trabajo posterior, en estos últimos se registraba su ubicación, en caso de no disponerla y sus datos. Una vez en la oficina, se sincronizaban la PDA con la computadora, actualizándose automáticamente todos los registros existentes y creándose los nuevos.



Figura 6. Utilización de GGD para la recolección de datos de campo.

Con la utilización de estas técnicas GGD, se disminuyeron considerablemente los tiempos de recopilación de información en el terreno, debido a que constaba con una guía de trabajo y se agilizaba la entrada de información alfanumérica al SIG; de la misma forma, se ganó en calidad, porque se eliminan los errores característicos de una entrada de datos.

Cabe destacar que la mejora de las bases de datos de cartografía y redes hidráulicas, se mantienen en un constante proceso de actualización, en la medida que se profundiza en el conocimiento del área de trabajo. El chequeo de los trabajos realizados, también constituye una importante fuente de información de primera mano, dado que contribuye a la retroalimentación del sistema. Otra importante fuente de información es el vínculo con las brigadas, que por su experiencia, permiten obtener datos en lugares inaccesibles o de difícil acceso para el resto.

Una vez creada la base elemental para el SIG, se procedió a la ubicación de zonas ya previamente identificadas como de críticas, por la reincidencia de reportes y que hasta este

momento eran reflejadas en un mapa impreso del área del proyecto. De la misma forma, se comenzó el trabajo de ubicación y asentamiento de los reportes diarios dentro del SIG, identificándolos con el código del reporte que es asignado por el Centro de Llamadas, y de esta forma, se estableció una clave de entrada que permitía vincular, la base de datos existente, con el SIG de forma automática.

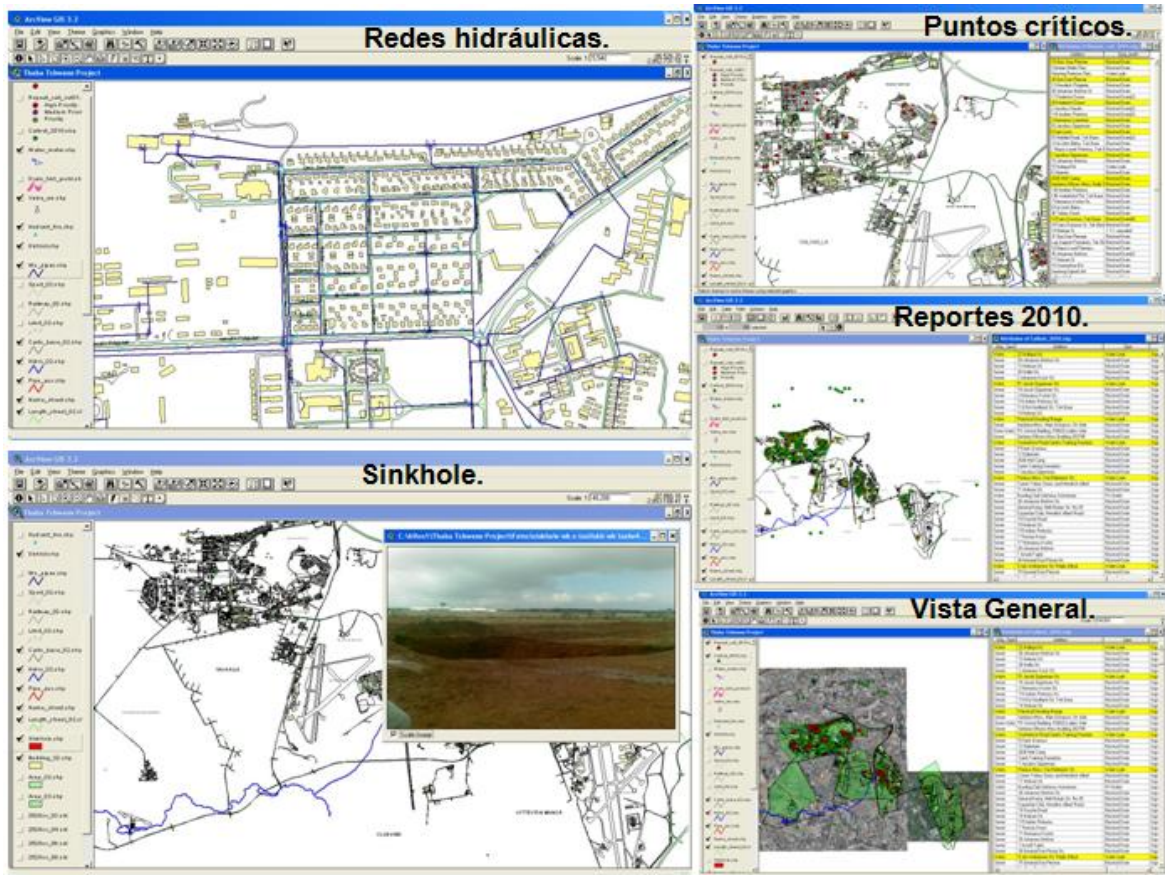


Figura 7. Vistas del SIG ThabaThswane Project.

En la medida que se fueron introduciendo registros, se comenzaron a identificar puntos de incidencia, los cuales fueron registrados en un tema especial para su posterior análisis.

Otro tema creado fue el de la ubicación de las dolinas reportadas en el área, los cuales fueron asociados a sus características principales y relacionados con fotos de los mismos, lo que permite analizar su distribución geográfica y facilita el proceso de presentación de trabajos.

RESULTADOS PRELIMINARES DE LA APLICACIÓN DEL SIG

Desde el comienzo de los trabajos, la aplicación del SIG al proyecto ha constituido un paso de avance, ya que derivado de sus trabajos previos, permitió la creación de un plano digital de la zona, y la recuperación y unificación de información de diferentes fuentes, sobre las características e historia de las diferentes áreas. Otro aspecto importante es la adopción de la información de redes hidráulicas, que si bien aún continúa siendo insuficiente, significa una

información muy valiosa y facilita el trabajo de verificación de los datos existentes y el de búsqueda de los inexistentes.

El análisis de los puntos con reincidencia de reportes, nos permite ver que de los 38 lugares reconocidos como críticos, se pasó a 64 luego del análisis con el SIG, evidenciando que existían lugares sin la debida atención. De igual forma se detectaron lugares donde las incidencias siguen un ciclo en el tiempo y que requieren del análisis de la situación específica para determinar sus causas. En otros lugares, por el contrario, se reportaron muchas incidencias en un corto período de tiempo, lo que evidencia un mal trabajo en su solución.

Un aspecto interesante es la ocurrencia de reportes seguidos en lugares aledaños, lo que puede manifestar que el problema se ha pasado de un lugar a otro, pero no se ha solucionado completamente y requiere el análisis de su causa para precisar falta de calidad de las acciones de la brigada o vencimiento de la red en cuestión, lo que lleva a un análisis técnico para su rehabilitación o sustitución. Casos típicos de esta situación es el reporte de bloqueo de drenes en la dirección del flujo del conducto, o la aparición de salideros próximos a una reparación de tubería de agua potable.

Otro tema que ha sacado a relucir la utilización del SIG, es la distribución geográfica de las incidencias, de acuerdo al uso de suelo de las diferentes áreas. Como era de esperar, las zonas residenciales, que ocupan el 10% del área, reportan el 63% de los reportes, para un promedio de 292 reportes por km² al año, mientras que el resto de las zonas, exceptuando la reserva natural, reportan el 37%, ocupando el 71% del área, para un promedio de 24 reportes por km² al año.

Sin embargo, es interesante resaltar que las zonas residenciales presentan el 71% de los puntos críticos, este análisis permite enfocar el uso de recursos de mantenimiento en estas zonas, fundamentarme a trabajos de mantenimiento de redes de alcantarillado y drenaje, donde se reporta el 75% de las incidencias, también el 94% de los puntos críticos han presentado al menos 2 reportes de tuberías bloqueadas. Producto de estos análisis, se realizó una propuesta de zonas a priorizar, y se aprobó la utilización de 0.45 millones de Rand para la contratación de dos carros de alta presión y una brigada especializada que acometieron trabajos de desobstrucción y limpieza de tuberías, canales, rejillas y registros en estas zonas.

Existen algunos aspectos a tomar en cuenta a la hora de implantar el SIG definitivamente, y es el caso de la ubicación de la incidencia dentro de la parcela propiamente dicho, de forma que se pueda determinar si esta es en el patio, el jardín o dentro del inmueble, esto es importante para determinar la influencia en la incidencia, de algún problema en la red.

Otro punto es la conveniencia de implantar una versión limitada del SIG en el Centro de Llamada y con esto evitar incidencias canceladas por reportes fuera del área del proyecto o por direcciones mal recepcionadas; incluso, en una etapa más adelante, el centro de llamada pudiera ubicar el punto exacto del reporte, de acuerdo a los datos proporcionados por el cliente y de esta forma, desde el primer momento la oficina de Ingeniería y el contratista, pudiera saber el historial de ese punto e incluso apertrecharse con herramientas específicas para el caso.

CONCLUSIONES

Después de 6 meses para la creación de las bases y 12 meses de explotación y mejora del sistema, se realizó la recomendación de la extensión del uso del SIG para el proyecto. La argumentación de esta recomendación, se basó en los beneficios que representa el empleo de esta técnica, desde el punto de vista técnico y organizativo, para el manejo eficiente del proyecto; así como las ventajas en la mejor utilización del presupuesto, con su uso en los lugares más necesitados (Department of Public Works, Republic of South Africa, 2010).

Producto de esta recomendación, el DPW encomendó a la Compañía Consultante a cargo de la Oficina de Ingeniería, que realizara un informe detallado de los costos que representaría la implantación del SIG en el proyecto, así como recomendará las compañías con mejores posibilidades de ofrecer el software necesario y la cartografía digital de alta calidad, para la implantación del SIG. Este requerimiento constituye el primer paso para solicitar la asignación de un presupuesto especial al proyecto, para la implantación del SIG.

Durante el trabajo se han señalado algunas experiencias de gestión, propias del sistema económico sudafricano y de su experiencia de trabajo, pero que bien pudiera aplicarse en nuestras condiciones actuales, buscando con ellas la mayor eficiencia en los mecanismos de gestión de los proyectos, la aplicación de control y penalidades por el incumplimiento de tiempos convenidos de los servicios o trabajos deficientes, o como la aplicación de tecnologías sencillas para mejorar el manejo de un proyecto, como es el uso de la telefonía móvil y la implantación de los centros de llamadas.

REFERENCIAS

- Department of Public Works, Republic of South Africa. (2003).** Appropriate development of infrastructure on dolomite: Guidelines for consultants. Pretoria : DPW, 2003.
- Department of Public Works, Republic of South Africa. (2006).** Thaba Tshwane: RAMP: Dolomite risk management for Thaba Tshwane and Waterkloof Military Complexes. Project Specification. Pretoria : DPW, 2006.
- Department of Public Works, Republic of South Africa. (2010).** Thaba Tshwane: RAMP: Dolomite risk management for Thaba Tshwane and Waterkloof Military Complexes. Closing Report. Pretoria : DPW, 2010.
- Moreno, Pilar, Molina, Iñigo y Ormeno, Santiago. (2002).** Sistemas de Información Geográfica. Madrid : UPM-CEPADE, 2002.
- Pulido, Simon José. (2006).** Gestión Geográfica Distribuida. Murcia : Comisión 3ra AEAS - Aguas de Murcia, 2006.
- Universidad de Alicante. (1999).** Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica y Cartografía Automatizada. [consultado en línea] 1999. www.ua.es/secretaria.gral/es/memoria/1998_99/iv5.htm.