

PostgreSQL y PostGIS 2.0 aplicados al mundo de la ingeniería hidráulica y fluvial.

Vicente de Medina Iglesias⁽¹⁾, Xavier Torret Requena⁽²⁾

⁽¹⁾ Universitat Politècnica de Catalunya (Grup d'Invenstigació en Transport de Sediments) Campus Nord, Edifici D-1, 2^a planta, Barcelona - vicente.medina@gits.ws

⁽²⁾ Tècnicsassociats, Taller d'arquitectura i enginyeria, SL. Carrer Pinós, 1^a planta, Granollers (Barcelona). xtorret@tecnicsassociats.com.

RESUMEN

Una de las mejoras más importantes en el contexto de los 'Hydroinformatics' ha sido la aparición de los sistemas de información geográfica. La disponibilidad de datos geoespaciales ha generado bastantes sinergias entre los modelos hidráulicos y sistemas geográficos. A partir de los trabajos seminales desarrollados en hidrología (Tarboton 1991, 1997, Rodríguez- Iturbe 1979, 2001) y los últimos avances en 1D, 2D y modelos hidráulicos 3D la evolución es clara. Adicional la contribución de la teledetección a la información que suministran es excepcional. El trabajo presentado aquí va más allá del paradigma estándar de la hidro -herramienta con integración con GIS, y propone el uso de una base de datos como un punto de encuentro entre los modelos, datos y resultados. El GIS funciona como una base de datos de cliente dedicado a la manipulación de creación de datos y análisis de los resultados del modelo. Con este fin, ha nacido en nuestro Giswater, un proyecto de software libre que tiene el objetivo de comunicar los programas de software libre en el mundo de la hidráulica urbana y la hidráulica de ríos, como son EPANET, EPA SWMM y HEC- RAS a través de una base de datos PostgreSQL con su extensión espacial de PostGIS, con cualquier Sistema de Información Geográfica que tenga la capacidad de conectar con esta. Al mismo tiempo se ha desarrollado una pequeña interfaz de usuario independiente, que permite gobernar de forma amigable los principales parámetros en esta comunicación bidireccional con los programas SWMM, EPANET y HEC- RAS hacia PostgreSQL. Elementos como las tuberías del inventario de las redes de abastecimiento o de saneamiento, así como las secciones del terreno basadas en modelos digitales de elevaciones, se almacenan de forma natural en tablas de la base de datos. Los modelos interactúan con la base de datos de recepción de datos y proporcionar los resultados. El software GIS actúa como interfaz de preprocesador / postprocesador, mientras que todas las operaciones lógicas se pueden realizar en la propia base de datos. El trabajo concurrente o cloud computing son características intrínsecas en la tecnología de base de datos, y por lo tanto reciben se aprovecha con todas las dimensiones el trabajo que aquí se presenta.

Las características avanzadas de bases de datos como la minería de datos, manejo de datos o enlazar Sistemas de Control y de adquisición de datos (SCADA), servicios de publicación de mapas (WMS) o Sistemas de Gestión de Relación con el Cliente (MRC) son prometedoras áreas para futuros desarrollos. La posibilidad que ofrece la combinación de las tecnologías libres en estas diferentes áreas de conocimiento, representa un sustancial avance incluido por delante de las soluciones privativas mes costosas existentes actualmente en este campo. La experiencia del Grupo de Investigación GITS de la Universidad Politécnica de Cataluña, www.gits.ws, y del consultor Tècnicsassociats www.tecnicsassociats.com en el desarrollo de soluciones avanzadas de ingeniería en esta área de conocimiento, ha unido sus fuerzas pre trabajar de forma conjunta con este proyecto que pretende cambiar el paradigma del uso de Sistemas de Información Geográfica en el campo de la hidráulica urbana y fluvial. Las versiones del código son liberadas bajo LICENCIA PÚBLICA GENERAL GNU.

Página web del proyecto: www.giswater.org

Código fuente : <https://github.com/giswater/giswater>

Palabras clave: Jornadas, SIG, Agua, Drenaje urbano, Abastecimiento, Software libre, Girona.

INTRODUCCIÓN AL SOFTWARE LIBRE

Una reflexión que atribuyen a Albert Einstein dice que *la crisis es la mejor bendición que puede sucederle a personas y países, porque la crisis trae progresos*. Y en tiempo de crisis como el que atravesamos en la actualidad en nuestro país, es buen momento para reflexionar, mirar hacia atrás, ser críticos con los valores que nos han llevado hasta este punto, para luego ser creativos y saber aprovechar las tecnologías que tenemos a nuestro alcance para mejorar los procedimientos y avanzar como sociedad. En este contexto nace Giswater, un proyecto de software libre basada en compartir el conocimiento como elemento de generación de riqueza, con la que se pretende mejorar la gestión del ciclo integral de agua aprovechando todo el ecosistema de tecnologías de código libre disponibles en la actualidad.

Las tecnologías de código libre son aquellas aplicaciones informáticas en que las fuentes son liberadas -solo es libre aquel software que se libera- y lo son mediante licencias que cumplan el principio de las cuatro libertades:

- *Libertad de uso.* Se puede usar una y tantas veces como se quiera durante todo el tiempo que se quiera.
- *Libertad de difusión.* Se pueden repartir a quien se quiera el número de copias que se quieran.
- *Libertad de estudio.* El código fuente está disponible. Se puede estudiar como se ha hecho y comprender su estructura en toda su totalidad.
- *Libertad de modificación.* Como se tiene acceso al código, este se puede modificar para mejoras o personalizaciones, siendo igualmente libre el código resultante.

La única restricción que impone el software libre, es que NO se puede privatizar. Destacar que hay multitud de ejemplos de software libre, desde la tecnología para servidores Apache a sistemas operativos como Linux, bases de datos como MySQL,

Postgre SQL, programas de escritorio como LibreOffice, gvSIG o Mozilla Firefox, así como otros muchas más.

Son una realidad de presente, pero más importante aún son la opción de futuro. Una opción que nos va a permitir poner esfuerzos en lo realmente importante. En este sentido el software con el que se manejará la información no será tan relevante como los datos gestionados. Sin lugar a dudas, **en el futuro, lo importante van a ser los datos.**

Como son fuentes libres y cumplen con estándares de interoperatividad, nos dan **independencia del proveedor** y de esta manera tenemos a nuestra disposición una amplia estructura profesional que nos ofrecerá siempre el mejor servicio técnico posible. Gracias a ello y a la potente comunidad internacional que pivota alrededor del software libre se puede afirmar que en el campo de la geoinformación, el mismo ha llegado ya a su **madurez tecnológica.**

Como son fuentes libres, permiten una implementación escalable, con lo que nos van a permitir migraciones no convulsas, conviviendo con modelos privativos y otorga a quien los usa **soberanía tecnológica.** Adicionalmente podremos alinear las funcionalidades al servicio necesario, con lo que vamos a tener un software adaptado a nuestras necesidades.

Como el coste en licencias es cero, el ahorro obtenido en las mismas nos permitirá cambiar gasto por inversión, posibilitando la formación de los trabajadores o la contratación de empresas y personal local consiguiendo de esta forma dar oportunidades. **El software libre da oportunidades.**

Para finalizar, vamos a apuntar unas ideas adicionales para ir rompiendo los mitos que históricamente han acompañado al Software libre:

- **El software libre es de mala calidad.** Un programa puede ser bueno o malo, depende de como se haya realizado, Esto no tiene nada que ver con que este software sea después liberado o no.

- **El software libre no es profesional.** Alrededor del software libre se genera un modelo de negocio basado en compartir conocimiento, innovar y acompañar el desarrollo e implementación del mismo. Este modelo de negocio facilita la proliferación de un tejido empresarial con un valor añadido y alta profesionalidad. Aunque esta estructura existe, no cabe duda que es difícil de medir y cuantificar. De todas maneras un ejemplo sin lugar a dudas es la Asociación gvSIG con sus más de 40 empresas asociadas haciendo negocio alrededor del ecosistema generado por el sig libre gvSIG. No solo la estructura profesional comentada en el anterior punto puede despejar esta duda, sino que además, solo hace falta inscribirse en cualquier lista de correo para comprobar que la soberanía tecnológica de ese software reside en la comunidad de miles de profesionales que están usándolo y que saltan al hilo de las dudas, convirtiéndose en el mejor servicio técnico imaginable.

- **Con el software libre no se puede hacer todo.** Efectivamente, actualmente hay algunas aplicaciones que no son reemplazables con el nivel de exigencia y usabilidad que se les podría pedir, pero esto no nos puede privar de utilizar en libre lo que si se puede utilizar. En este sentido *lo importante es ser consciente de nuestras necesidades y sobre todo empezar* para usar cada tecnología en función de nuestras requisitos reales y objetivos que queremos conseguir.

GESTIÓN INTEGRAL DEL CICLO DEL AGUA. SITUACIÓN ACTUAL

Hasta el momento, la interacción entre el mundo de GIS libre y el mundo del agua ha sido muy fuerte en el ámbito territorial con un factor de escala de cuenca, pero el GIS libre no había tenido aún oportunidad de interactuar de forma clara en el zoom de escala del ámbito de las infraestructuras vinculadas a la gestión del agua.

La gestión de agua a nivel mundial es sin lugar a dudas, uno de los grandes retos del siglo XXI y seguramente debido al coste que significa su implementación, las tecnologías de software son actualmente unos de los limitantes en este proceso.

En el siguiente mapa se aprecia información de riesgo en el campo del agua, mediante la combinación de doce indicadores, entre ellos inundaciones, sequías o calidad de las aguas

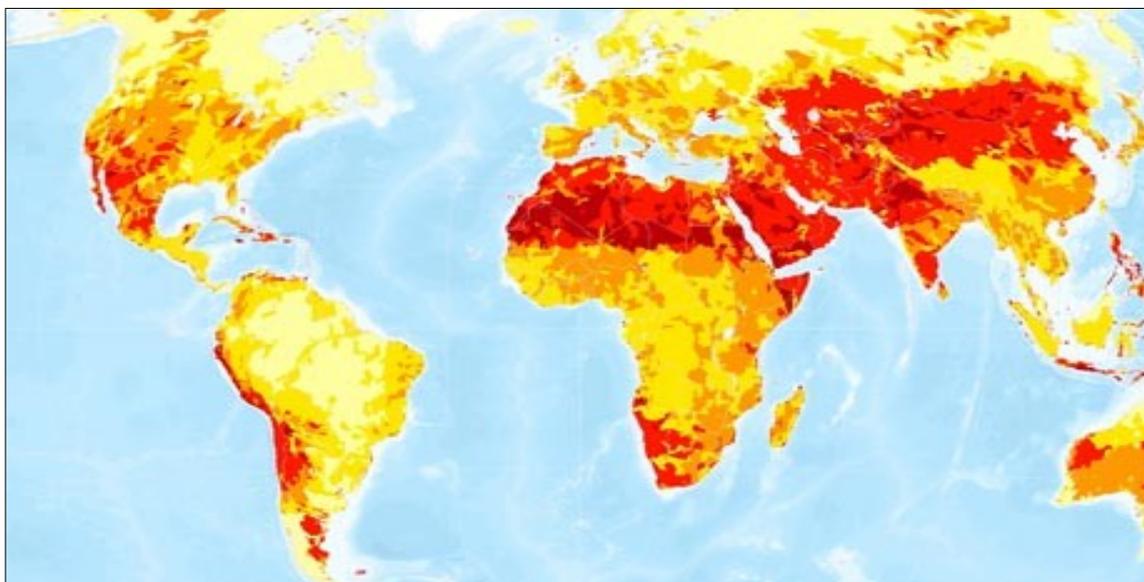


Figura 1: Aqueeduct. Mapa mundial de la situación del agua.

A la vista de lo expuesto, Giswater aparece con la voluntad de romper este paradigma y permite la gestión, diseño y análisis de infraestructuras y riesgo asociado para redes de abastecimiento, redes de saneamiento y drenaje urbano, así como permite la gestión del riesgo de inundabilidad desde la óptica de software libre.

QUE ES GISWATER?

En realidad Giswater es un conector que cose GIS con Bases de datos y modelos matemáticos de agua, con la voluntad de construir un potente ecosistema de tecnologías libres para la gestión de agua. Con ello Giswater integra en un solo ecosistema los conceptos de 'Water management', 'GIS', 'Water models', 'Database' y 'Cloud computing', ofreciendo una excelente plataforma tecnológica de gestión.

Una visualización del ecosistema de Giswater, la tenemos en la siguiente imagen, donde se pueden visualizar como pivotando alrededor de una base de datos, conviven diferentes tipos de tecnologías con potencial para la gestión.

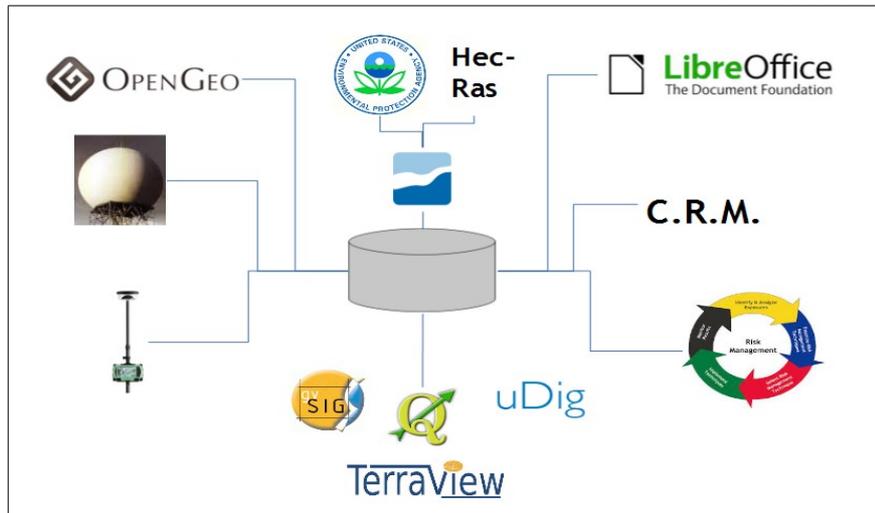


Figura 2: Esquema de integración de tecnologías

Bases de datos corporativas.

Conjunto de datos pertenecientes a un mismo contexto y almacenados sistemáticamente para su posterior uso. Permiten edición multiusuario, se les puede aplicar sentencias SQL, así como la información se almacena en formato único y de forma centralizada

Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son una herramienta de alto valor para la gestión de información vinculada al territorio. Han sido utilizados hasta la fecha en diferentes campos donde el análisis de la información espacial ha tenido especial importancia. Entre estos campos se encuentran los relacionados con el medio ambiente, temas forestales, aplicaciones socio económicas, etc.

Elementos de campo

Son aquellos dispositivos ubicados en el territorio que interactúan con el sistema, ya siendo facilitando información o siendo brazos ejecutores de algún tipo de acción. En la diapositiva se pueden observar dispositivos móviles para toma de datos, así como radar para captura de información meteorológica.

Servicio de publicaciones de mapas

Un servicio de publicaciones es una herramienta con la que conectar los datos de SIG para compartir su información con la comunidad, ya sea externamente a nuestra organización o de forma interna. Son servicios de publicación de mapas los Web Map Service (WMS) los Web Feature Service (WFS) o los Web Coverage Service (WCS).

Programas hidráulicos (EPA & HEC)

Software para el análisis de redes de abastecimiento, saneamiento, drenaje urbano así como para la evaluación de los riesgos de inundación. Los EPA son software libre, mientras que HEC-RAS solo es de distribución gratuita.

Sistemas de gestión

Con una base de datos relacional, también podemos conectar e integrar todo tipo de tecnologías de gestión como son los Sistemas de adquisición y toma de datos (SCADA) los sistemas de gestión de contenidos (CMS) los sistemas de gestión de clientes (ERP, CRM) o los sistemas de mantenimiento y gestión (CMMS)

APROXIMACIÓN TÉCNOLOGICA

4.1 Water models

EPANET es un programa para computador para el análisis de sistemas de distribución de agua potable. El programa es de dominio público y es desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos.

El programa es capaz de trabajar con períodos de simulación hidráulica así como evaluar el comportamiento de la calidad de las aguas dentro de una red presurizada, además de estar diseñada para ser "una herramienta de investigación que mejore nuestro conocimiento del movimiento y destino del agua potable y sus constituyentes en una red de aguas". Si bien fue diseñado para agua potable también puede ser utilizado para el análisis de cualquier fluido no compresible con flujo a presión. La primera versión de EPANET fue lanzada en 1993.

Realiza simulaciones en periodo extendido del comportamiento hidráulico y de la calidad del agua en redes de distribución a presión. EPANET determina el caudal que circula por cada una de las conducciones, la presión en cada uno de los nudos, el nivel de agua en cada tanque y la concentración de diferentes componentes químicos a través de la red durante un determinado periodo de simulación analizado en diferentes intervalos de tiempo.

Además del conocimiento de la concentración de diferentes componentes químicos, es posible determinar el tiempo de permanencia del agua en las tuberías, así como estudios de la procedencia del agua en cada punto de la red. Asimismo EPANET puede servir de ayuda para la evaluación de diferentes estrategias alternativas de gestión de los sistemas de distribución encaminadas todas ellas a la mejora de la calidad del agua dentro del sistema. Esto incluye:

- Utilización alternativa de las fuentes de suministro en sistemas que disponen de múltiples fuentes de abastecimiento,
- Variación de los esquemas de bombeo y de llenado y vaciado de los depósitos.
- Uso de técnicas de tratamiento satélite, tales como la recloración en determinados depósitos de almacenamiento.
- Determinación de conducciones que deben ser limpiadas o sustituidas.

Por otro lado, el Modelo de Gestión de Aguas Pluviales - SWMM, de la EPA es un modelo dinámico que simula la lluvia-escorrentía cantidad y calidad de la escorrentía, sobre todo en las zonas urbanas que puede ser utilizado para simular un solo evento de lluvia o bien durante una simulación de largo plazo. Se desarrolló por primera vez en 1971, habiendo sufrido desde entonces varias actualizaciones. Es ampliamente utilizado en diversas partes del mundo para la planificación, el análisis y diseño de sistemas de drenaje de aguas pluviales urbanas, diseño de sistemas de recolección de aguas residuales, con muchas aplicaciones también en áreas no urbanas.

La edición actual, que es la quinta versión del programa es un código completamente reescrito desde ediciones anteriores. Corriendo bajo plataforma Windows, EPA SWMM 5.0 proporciona un entorno integrado que permite la entrada de datos para el área de estudio, simulando el comportamiento hidrológico, el comportamiento hidráulico y de calidad del agua así como visualizar los resultados de la modelización en una amplia variedad de formatos.

EPA SWMM considera diferentes procesos hidrológicos que producen escorrentía procedente de las zonas urbanas. Entre estos están los que se enumeran en el siguiente listado:

- Precipitación tiempo variable
- Zonas de evaporación del agua.
- La acumulación y derretimiento de la nieve.
- Intercepción de las lluvias por el almacenamiento en depresiones.
- Infiltración de la lluvia hacia las capas del suelo no saturadas.
- Fugas de agua infiltrada en las capas de los acuíferos.
- Intercambio de flujo entre el acuífero y el sistema de drenaje.
- Modelado de flujo superficial a través de almacenamientos no lineales.
- Captura y retención de las precipitaciones y la escorrentía de varios dispositivos de bajo impacto.

La variabilidad espacial en todos estos procesos se obtiene dividiendo el área de estudio particular en las zonas de captación de agua, más pequeñas y homogéneas llamadas subcuencas, cada una con su propia fracción de permeable e impermeable.

Por otra parte, SWMM dispone de un conjunto versátil de herramientas de modelado hidráulicas que se utilizan para dirigir el flujo resultante de la escorrentía y el flujo de entrada externa, a través de una red de conductos, canales, dispositivos de almacenamiento y gestión de agua y otras estructuras.

Para finalizar, vamos a dar unos apuntes sobre el tercer modelo: HEC-RAS. Se trata de un programa de ordenador que los modelos de los hidráulicos de flujo de agua a través de los ríos naturales y otros canales desarrollados por el Departamento de Defensa de EE.UU., concretamente por el Hydraulic Engineering Corps. (HEC). El programa es unidimensional, lo que significa que no hay modelado directo del efecto hidráulico de cambios en la forma de sección transversal, curvas, y otros aspectos de dos y tres dimensiones de flujo. El modelo dimensional de energía le permite:

- Simular vastas extensiones de ríos con un solo modelo.
- Velocidad de cálculo elevada, con lo que puedes repetir un cálculo con facilidad. La simplificación de flujo turbulento tridimensional para un flujo unidimensional es relativamente aceptable para grandes escalas (ríos y quebradas)
- La libertad geométrica es muy grande, es una gran ventaja sobre otros programas mucho más estrictos en este aspecto.
- Características geométricas: la creación, modificación y edición de geometría entorno visual, rápido y muy cómodo.
- Gran capacidad de importar y exportar datos. Entorno Windows para el procesamiento posterior de los resultados y la presentación.
- Ampliamente utilizado: gran número de usuarios experimentados de todo el mundo, siendo hasta la fecha, un software sin coste de licencia de uso.
- HEC-RAS no es un modelo de turbulencia, y en este sentido, la ecuación de la energía y siempre distribuciones de presión hidrostática.
- HEC-RAS tiene limitaciones en las grandes inundaciones en las llanuras de inundación, debido a su falta de 2D o 3D.
- Modelado único de ríos y quebradas con pendientes de menos de 10°, donde la componente vertical del peso de la columna de agua no se utiliza.
- Saltos y obstáculos no se reproducen correctamente, así que en HEC-RAS no funciona el equilibrio de fuerzas.
- El resultado está altamente condicionado por consideraciones geométricas tomadas. El programa elige la menor altura de serie.
- El programa ofrece siempre una solución por defecto, es decir, HEC-RAS nunca omite resultados. Debido a esto, es necesario ser crítico de los resultados numéricos.

A la vista de lo expuesto con los tres modelos matemáticos, así como su trayectoria, uso masivo en todo el mundo y fiabilidad contrastada en el cálculo son un buen referente de software de hidráulica a los que realmente les faltaba todo lo que Giswater le aporta.

4.2 Almacenamiento de la información

Sin lugar a dudas, el gran objetivo de Giswater es habilitar el máximo número de posibilidades de almacenaje de la información. En este sentido la herramienta nace en su versión 1.0 con la posibilidad de almacenaje en formato DBF así como también en formato base de datos tipo PostgreSQL.

Para posteriores versiones de la base de datos, está previsto que también sea posible realizar conectar otras bases de datos tipo ORACLE, MSServer o Spatialite.

El objetivo de diversificar los tipos de formato de almacenaje de información es conseguir que cualquier GIS pueda conectar y gestionar la información. En este sentido los GIS que leen archivos Shape File son todos, y los GIS que se conectan a una base de datos tipo PostgreSQL son precisamente los que más funcionalidades y potencial disponen.

4.3 Sistema operativo

El único sistema operativo soportado hasta la fecha por Giswater es Windows. Ello es debido a la imposibilidad por el momento de mantener más de una versión de S/O a la vez que HEC-RAS no está diseñado bajo entorno Windows. De todas maneras, el hecho que Giswater se haya desarrollado bajo un entorno multiplataforma como es Java y el hecho que los programas de la EPA si que es posible de tenerlos bajo sistema operativo LINUX hacen prever la posibilidad que en un futuro se puedan desarrollar versiones de Giswater con las funcionalidades de los EPA bajo este entorno de trabajo tan interesante como es LINUX.

4.4 Estructura de la base de datos

Es sin lugar a dudas la clave de la aproximación tecnológica de Giswater. Hay diversos motivos que merece la pena destacar, entre los cuales:

- Robustez de la base de datos, con relaciones entre elementos (claves primarias y claves foráneas) que permiten otorgar coherencia a la información introducida, a la vez que una cierta flexibilidad con los datos que son introducidos.
- Arquitectura basada en la topología arco-nodo, lo cual permite garantizar la coherencia topologica necesaria para el modelo matemático así como habilitar las posibilidades de otro tipo de algoritmos para la gestión. En este sentido cabe destacar la extensión PGrouting, que seguramente puede ser de mucha utilidad en el análisis de redes urbanas y que en un futuro próximo Giswater pueda interactuar con él.
- Escalabilidad del modelo de datos. Gracias a que el modelo de datos pivota sobre las tablas de arco y nodo, es posible vincular a ellas más información como por ejemplo datos necesarios en la gestión. Cabe destacar que al modelo se le pueden incorporar tantas tablas de datos como se considere necesario, desde tablas de información de estado de conservación de los elementos de red, niveles de sedimentos u otro tipo de información no necesaria para el modelo matemático pero muy interesante para la gestión.
- Uso de funciones geoespaciales. PostGIS dispone de más de ochocientas (+800) funciones geoespaciales tanto para ráster como para vector, con las

que es posible hacer cualquier tipo de análisis espacial. Sin lugar a dudas, el GIS ya está dentro de la base de datos.

- Uso del lenguaje PLSQL para programación de funciones y triggers necesarios. Se trata de un lenguaje que incorporan las bases de datos más importantes y que permite llegar más lejos con programación que el propio lenguaje SQL estándar. Gracias a ello es posible de realizar funciones complejas como los disparadores con cardinalidad n-2 de la tabla arco.

En la siguiente figura se puede observar un esquema del modelo de datos para saneamiento y drenaje urbano (EPA SWMM).

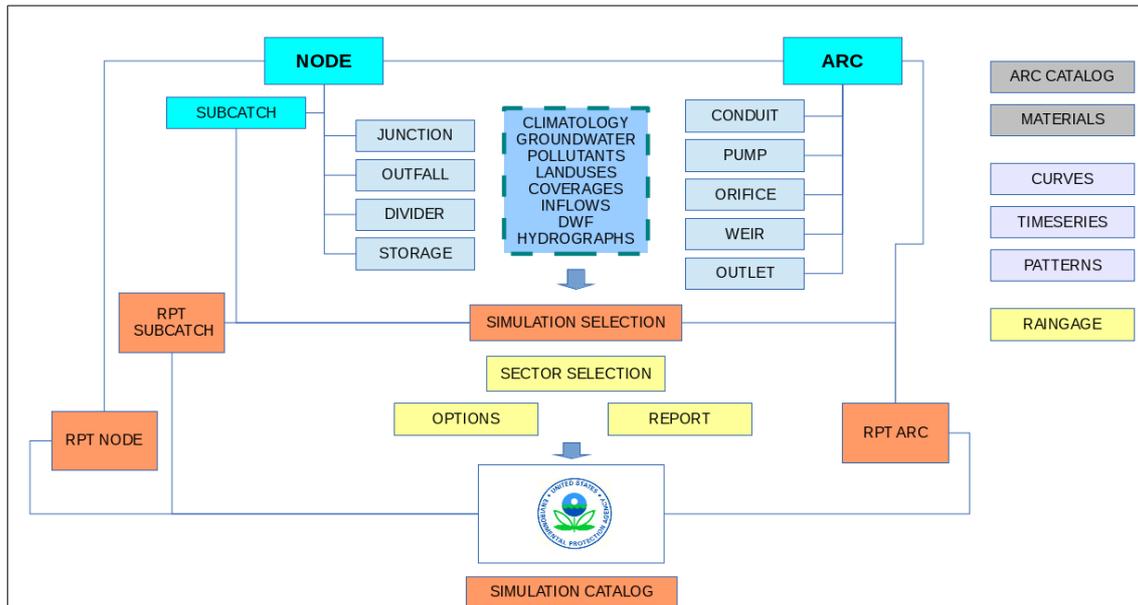


Figura 3: Arquitectura de la base de datos (para el caso de EPA SWMM)

4.5 Comunicación bi-direccional

Una de las funcionalidades que incorpora Giswater, es la capacidad de escribir y leer en archivos de texto, mediante los que se comunica con los programas de modelado matemático.

Es importante mencionar que los programas con los que Giswater tiene habilitada esta funcionalidad de lectura/escritura son por el momento los dos de la EPA: EPANET y EPA SWMM. Para el caso de HEC-RAS la comunicación solo es unidireccional. Esto significa que solo se realiza de forma parcial de la base de datos hacia el modelo matemático, y no en sentido contrario. En un futuro se preveen ir añadiendo funcionalidades en una dirección, y el equipo de trabajo de Giswater está valorando la posibilidad de leer los datos de la simulación o no. De momento, esta funcionalidad no está habilitada.

Para el caso de los EPA la comunicación se produce de la siguiente manera:

1. Cada tipo de información es almacenada en tablas diferentes con el objetivo de optimizar el almacenaje de los datos. En este sentido, hay tablas de almacenaje de información para todos los tipos de datos que gestionan tanto EPANET como EPA SWMM, como pueden ser datos de modelo de calidad, aguas subterráneas, patrones, curvas o series temporales entre otros.
2. Mediante una selección establecida con la tabla SECTOR_SELECTION, se seleccionan aquellos sectores de red cuyos datos quieran ser exportados.

3. La exportación se realiza a ficheros de texto tipo INP, según formato estandar de la EPA para que el software pueda leer la información que se le entrega.
4. Se ejecutan los programas de la EPA desde linea de comando, sin necesidad de abrir la GUI de Windows, mediante los cuales se genera el archivo de resultados RPT.
5. Se leen los resultados del archivo RPT y se almacenan en tablas vinculados a arco y nodo (tablas RPT).
6. La visualización de los resultados se puede realizar desde los GIS que conectan y visualizan la información geoespacial, puesto que los resultados están vinculados con los arcos y nodos sobre los que han sido generados.

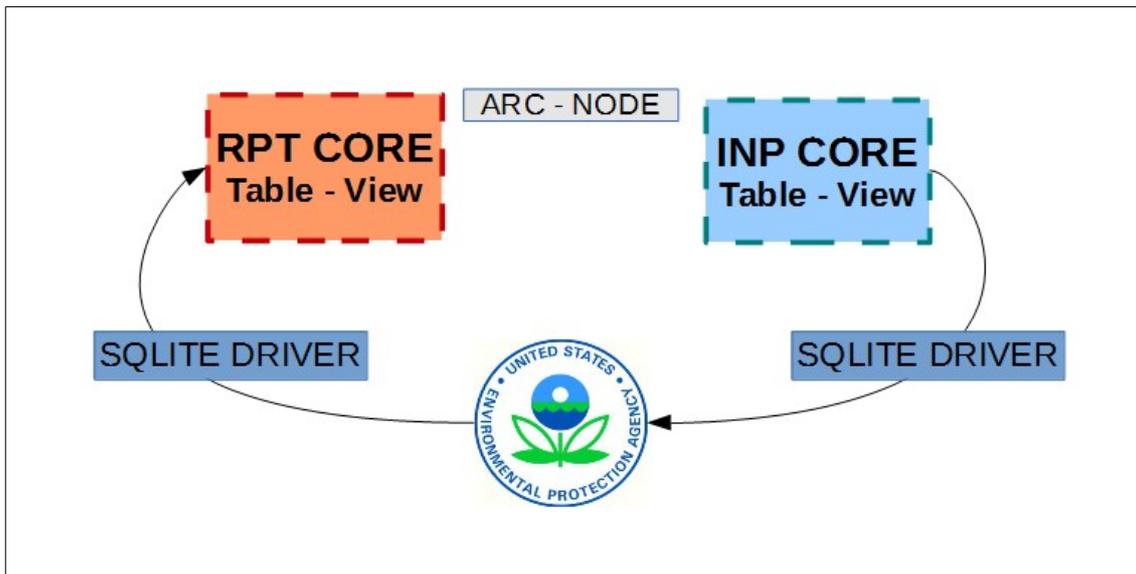


Figura 4: Figura representativa del modelo comunicativo de Giswater con los 'EPA'.

CONCLUSIONES

El presente texto pretende transmitir una primera toma de contacto de que es Giswater y cuales son los objetivos que se persiguen. Con este proyecto, esperamos contribuir al desarrollo mundial aportando nuestro grano de arena como es una herramienta libre de gestión en el campo del "Water management". Para más información www.giswater.org

AGRADECIMIENTOS

El proyecto es una realidad, gracias a un ecosistema de personas que lo han hecho posible. Desde estas líneas nuestro más sincero agradecimientos a Carlos López, David Erill, Josep Lluís Sala, Jordi Yeter, Sergi Muñoz, Andreu Rodriguez, Gemma García, Allen Bateman, David Escala, Joan Cervan y Lluís Gili

REFERENCIAS.

- ◆ Xavier Torret Requena y Carlos López Quintanilla (ed. 2011), “Diseño y explotación de redes de saneamiento y drenaje urbano en combinación con EPA-SWMM. Un caso práctico en la corona metropolitana de Barcelona”. Granollers, España.
- ◆ Lewis A. Rossman. (ed. 2010) Water Supply and Water Resources Division National Risk Management Research Laboratory, Cincinnati, OH 45268, EPANET 2 USERS MANUAL.
- ◆ Lewis A. Rossman. Water Supply and Water Resources Division National Risk Management Research Laboratory, Cincinnati, OH 45268, EPASWMM 5 users manual
- ◆ Hydraulic Engineering Corps. HEC-RAS 4.1 Users manual
- ◆ Localret (ed. 2010), “Sistemes d'informació geogràfica i programari lliure a l'Administració Local” Barcelona. España.
- ◆ Localret (ed. 2009), “El programari lliure a les administracions locals”, Barcelona, España.