

El valor del cálculo en los sistemas de ayuda a la toma de decisiones en ingeniería

The Value of Computation in Engineering decision Support Systems

Eugenio Oñate Ibáñez de Navarra. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
E.T.S Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona. onate@cimne.upc.es

Resumen: El artículo reivindica el valor de los métodos de cálculo que se enseñan en las Escuelas de Ingeniería, como herramientas indispensables en los nuevos sistemas de ayuda a la toma de decisiones (SAD). Los SAD integran base de datos, métodos de cálculo y módulos de inteligencia artificial, y su utilización se extiende cada día más para ayuda al diseño y gestión de infraestructuras y servicios de ingeniería. En el texto se describen varios desarrollos y aplicaciones recientes de SAD en ingeniería civil. El artículo acaba con una reflexión sobre los límites de los SAD.

Palabras Clave: Cálculo, Métodos Numéricos, Sistemas de Apoyo a la Decisión

Abstract: The article stresses the value of computational methods taught at engineering faculties as indispensable tools in the new decision support systems (DSS). The DSS integrate databases, computational methods and artificial intelligence modules and are being increasingly employed as support in the design and management of infrastructures and engineering services. The paper describes recent DSS developments and applications in civil engineering and concludes with an appraisal of the limits of DSS.

Keywords: Computation, Numerical Methods, Decision Support System

Pese a la intensidad y calidad de la formación en métodos de cálculo en las Escuelas de Ingeniería, y en particular en las de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, lo cierto y verdad es que durante muchas décadas la actividad de "calculista" no ha sido de las más reconocidas en el ámbito profesional. Sin embargo, en los últimos años esta situación está cambiando radicalmente al reconocerse el valor de los métodos de cálculo como herramientas indispensables para cuantificar la solución de los problemas más diversos de forma rápida y precisa. En ese sentido, bien puede decirse que vivimos un renacimiento de los métodos de cálculo y los números vuelven así a reivindicar su papel central en la vida cotidiana del ingeniero.

Mirando hacia atrás con cierta perspectiva observamos que, de hecho, las relaciones del hombre y los números se entrelazan con el desarrollo de prácticamente todas las ciencias. Para el ingeniero que debe proporcionar respuestas tales como qué dimensiones debe tener una estructura, cuánto resistirá un determinado material y cual será el coste de fabricación de un nuevo producto, los números forman una parte consustancial de su actividad profesional. Sin llegar a la máxima pitagórica de que "los números lo son todo", sí

que podemos percibir de forma cada vez más nítida que, parafraseando a Platón, los números iluminan nuestras vidas, y que la lucha del hombre por mejorar su existencia pasa por influir en toda una serie de circunstancias que le rodean que, además de sus aspectos subjetivos, tienen otros de tipo cuantitativo claramente identificables.

La toma de conciencia del papel fundamental de los números en la evolución de las ciencias durante el siglo pasado llevó a Bertrand Russell a exclamar que «lo que hay de más asombroso en la ciencia moderna es su retorno al pitagorismo». Estas palabras, pronunciadas hace casi cincuenta años, tienen todavía más vigencia hoy en día. Los recientes progresos espectaculares en todos los campos de la ciencia y la tecnología han ido de la mano de los avances de los métodos de cálculo, también denominados métodos numéricos, mediante los cuales pueden extraerse respuestas cuantitativas de las ecuaciones matemáticas que rigen los problemas de la naturaleza.

«Si no posees la capacidad de cálculo, entonces, serás incapaz de especular sobre los placeres del futuro y tu vida no será la de un ser humano, sino la de una ostra o la de un pulmón marino». Este consejo de Platón a Sócrates en los

diálogos del Filebo (o Del Placer), con otras palabras, y quizás con menos retórica se oye frecuentemente en nuestras Escuelas de Ingeniería, cuando animamos a los alumnos a profundizar en las técnicas de cálculo sobre las que se basarán muchas de sus actividades profesionales.

La búsqueda de nuevos métodos numéricos para la obtención de respuestas concretas a los problemas de la naturaleza y a las formas de modificar esta para beneficio de la humanidad, son tareas que ocupan cotidianamente a muchos ingenieros y científicos de todo el mundo.

Esta realidad no excluye el hecho de que el proceso de cálculo, realizado con medios únicamente manuales, además de limitado, puede ser fastidioso y por ello pesado e impopular. El fastidio proviene de su carácter frecuentemente repetitivo, lo que consume cantidad de tiempo y energía, y, lo que es peor, es una fuente de errores. El desánimo de los primeros grandes calculistas de finales del siglo diecinueve se resume en las palabras pronunciadas en 1884 por el ingeniero de estructuras y militar Luigi F. Menabrea: «¡Cuántas observaciones preciosas son inútiles para los progresos de las ciencias y de las técnicas, porque no hay fuerzas suficientes para calcular los resultados de las mismas! ¡Cuántos desánimos no infunde la perspectiva de un largo y árido cálculo en el hombre de genio que sólo pide tiempo para meditar y se ve privado de él por el material de las operaciones de un sistema inadaptado! Y, sin embargo, debe llegar a la verdad por la vía laboriosa del análisis. Pero él no puede seguirla sin guiarse por los números, ya que, sin los números, no existe la posibilidad de levantar el velo que oculta los misterios de la naturaleza».

Afortunadamente las dificultades de Menabrea y de tantos y tantos otros calculistas las han resuelto, como es bien sabido, los modernos ordenadores. Gracias a ellos y a las crecientes posibilidades de la informática y las Tecnologías de la Información y Comunicaciones (TIC), favoreciendo la utilización de cientos (o miles) de procesadores en redes locales o vía internet, no existe prácticamente problema de ingeniería cuya solución no puede obtenerse, aunque sea de manera aproximada, a través del cálculo.

El gran impacto de programas de ordenador basados en métodos numéricos avanzados, tales como el método de los elementos finitos, de uso cotidiano en la mayoría de las empresas de ingeniería, se debe fundamentalmente a su capacidad de cuantificar con alto grado de fiabilidad la solución de un problema que no es posible resolver de ninguna otra manera. En ausencia de este tipo de métodos, el diseño de nuevos productos y procesos en ingeniería solo era posible a través de modelos de cálculo muy elementales y una intensa validación experimental en laboratorio y a escala real. Obviamente, estos ensayos son muy costosos e irrealizables en muchos casos. Sólo cuando se ha dispuesto de las ecuaciones matemáticas para expresar correctamente el comportamiento de un sistema físico, y de

métodos numéricos fiables para cuantificar la solución de dichas ecuaciones con ayuda del ordenador, se ha podido dar el gran salto de atrevernos a predecir lo desconocido con un alto grado de precisión y confianza. Naturalmente, el papel de los ensayos sigue siendo esencial para la validación de los métodos de cálculo en problemas en los que dicha experimentación es posible y pueden compararse los resultados numéricos con los de pruebas de laboratorio o de campo. En general, puede afirmarse que, hoy en día, el avance hacia lo desconocido, la innovación se apoya en los números que proporcionan los modernos métodos de cálculo, combinados con las siempre necesarias dosis de ingenio e intuición [1].

El cálculo y los sistemas de ayuda a la decisión

Antes de la "era Internet", la información en el mundo de la ingeniería se transmitía por carta, teléfono, fax, modem y télex. La informática se aplicaba de forma regular a tareas administrativas, y al cálculo y diseño de infraestructuras a través de centros de cálculo, de estaciones de trabajo potentes y más recientemente de ordenadores personales.

Internet, y en general las TIC, han revolucionado los hábitos en cuanto a la forma de comunicarse y trabajar en el sector de la construcción. En dicho sector participan empresas y organismos donde trabajan individuos de muy variadas especialidades y con distintos ámbitos de actuación. Todos pueden aprovecharse de las ventajas de las TIC, a diferentes niveles [2-7].

Las TIC hacen posible el almacenaje, la clasificación y la distribución de información de forma sencilla y universal. La inteligencia puesta en los sistemas de captación y gestión de datos de forma colaborativa permite dar valor a esos datos y optimizar su uso a distintos niveles (estratégico, de gestión, comercial, técnico, etc.).

Las empresas que hacen buen uso de estas posibilidades cuentan con información valiosa en todo momento, lo que les permite optimizar procesos de compra, gestión, control, etc...; formar personal de la empresa a menor coste, con mayor eficiencia y con cursos diseñados a medida; formalizar diversos procesos como los controles de calidad, de gestión, etc.; integrar distintas áreas de la empresa en un mismo sistema con mayor facilidad; aumentar los controles de procesos y materiales; almacenar, clasificar y compartir la documentación; gestionar el conocimiento de la empresa de forma colaborativa, etc. [6,7].

En definitiva, las TIC ofrecen una herramienta inmejorable para las empresas y su uso es cada vez más necesario para mantener la competitividad y la eficiencia con que estas deben desarrollarse con una perspectiva global.

El reto a abordar en los próximos años será transformar la ingente cantidad de información que proporcionan las TIC

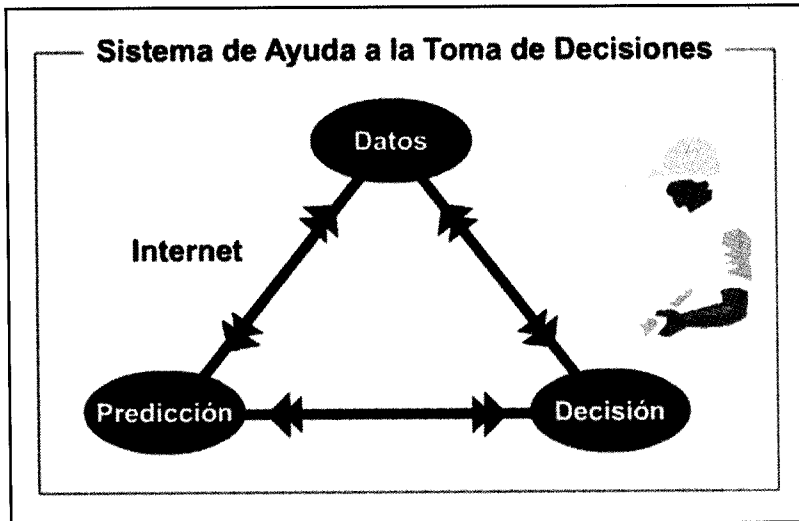


Fig. 1. Esquema triangular de un SAD.

a través de ordenadores, teléfonos móviles de tercera (y pronto cuarta) generación, etc. en conocimiento a partir del cual poder tomar decisiones para resolver un problema concreto. Para ello, será indispensable apoyarse en métodos avanzados de cálculo que procesen la información, de manera que puedan predecirse escenarios que simulen el comportamiento previsible de la realidad, como una etapa esencial para poder tomar las decisiones más adecuadas en cada caso. Estos métodos de cálculo, denominados también métodos de simulación, combinarán las TIC con un conocimiento profundo, a través de bases de datos, de todos los aspectos científicos-técnicos y socio-económicos del problema a resolver.

Surgen así, los denominados *Sistemas de Apoyo a la Decisión* (SAD) basados en las TIC. Un SAD puede esquematizarse por medio de un triángulo en cuyo vértice superior se concentraría la captación de datos sobre el problema a resolver, el vértice inferior izquierdo acogería la simulación de diferentes escenarios posibles, utilizando los datos disponibles, y en el vértice derecho se aglutinarían todas las facetas relativas a la toma de decisiones sobre la mejor solución a adoptar. Las decisiones se toman haciendo uso de técnicas avanzadas de *inteligencia artificial* tales como algoritmos de redes neuronales u otros [8]. Los tres vértices que representan los *datos*, la *simulación del futuro a través del cálculo* y la *decisión a tomar*, se enlazan por los lados del triángulo que simbolizan a *Internet*. El SAD configura así un bucle que conecta a través de Internet la información con la decisión, en base a la predicción. Fuera del triángulo se situará el hombre, responsable de la gestión de las tres fases del proceso y, en definitiva, de la decisión final (Fig. 1).

Pueden encontrarse hoy en día numerosos ejemplos de ese sencillo esquema triangular. La predicción del tiempo es uno de ellos. En el vértice superior del triángulo se captan los datos sobre la situación meteorológica en un instante da-

do, en el vértice inferior izquierdo se predice, a partir de los datos recibidos por internet y con ayuda de potentes programas de cálculo y medios informáticos, el estado del tiempo en diversos instantes del futuro. Estas simulaciones se traducen en el vértice inferior derecho del triángulo en pronósticos sobre el tiempo esperable y las correspondientes recomendaciones prácticas.

Ejemplos de sistemas de apoyo a la decisión en Ingeniería Civil

Las posibilidades de los SAD en ingeniería civil son enormes y su utilización, a distintos niveles, es creciente en múltiples áreas. Presentaremos a continuación tres ejemplos concretos de desarrollo y aplicaciones de SAD que se realizan en España.

SAD para prevención de riesgos y gestión de emergencias en inundaciones

El objetivo de este SAD es predecir el nivel de riesgo de una inundación y establecer las acciones de emergencia correspondientes. El SAD se desarrolla en el marco del proyecto RAMFLOOD del Information Society Programme (IST) de la CE (www.cimne.upc.es/ramflood). Dicho proyecto lo coordina el Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería (CIMNE; www.cimne.com) y en él participan Profesores del Departamento de Ingeniería Hidráulica, Marítima y Ambiental de la Escuela de Ingenieros de Caminos de Barcelona, la empresa de información geográfica y medio-ambiental vía satélite alemana Euromap, la Universidad de Agricultura de Atenas, la Agencia Catalana del Agua y una Asociación de Municipios próximos a Atenas en cuyos terrenos se han celebrado parte de las actividades de los Juegos Olímpicos de 2004. El proyecto RAMFLOOD se inició en Enero de 2003 y su duración es de tres años.

El SAD RAMFLOOD integra información del tiempo captada a través de servicios meteorológicos en un avanzado sistema de información geográfica (GIS) [9] que contiene los datos relevantes del territorio en cuestión. La base de datos del GIS se actualiza mediante información satelital. Utilizando programas de simulación de avenidas se reproducen múltiples escenarios de inundaciones sobre el territorio escogido. Los resultados de dichas simulaciones se recogen en una base de datos que se utiliza para educar un sistema experto basado en redes neuronales y algoritmos de Montecarlo, con el fin de establecer el nivel de riesgo para cada escenario de inundación y proponer las actuaciones correspondientes. La utilización del sistema RAMFLOOD en tiempo real se basa en la aplicación directa del sistema experto. A partir de los datos meteorológicos sobre el territorio en cuestión, dicho sistema proporciona el riesgo de inundación y las ac-

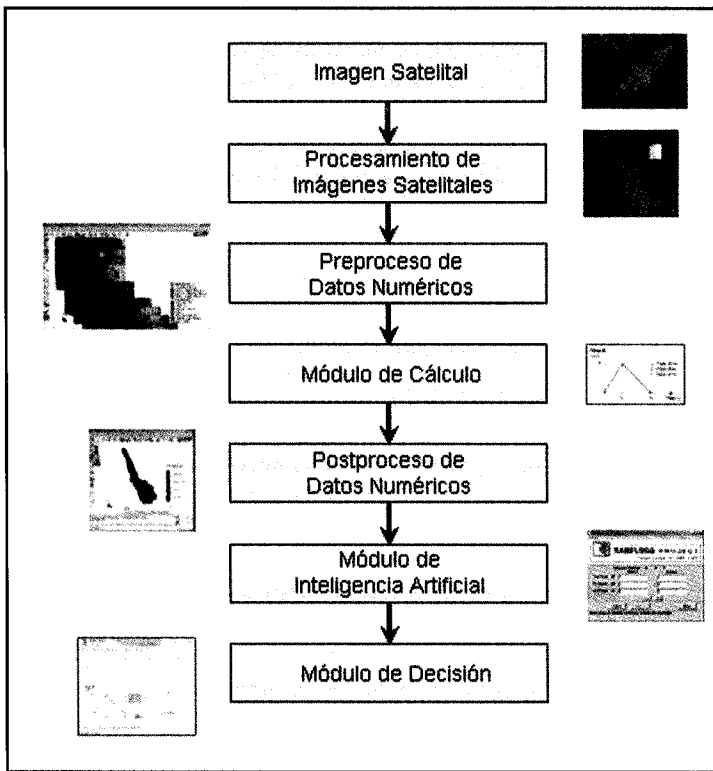


Fig. 2. Diagrama de flujo del SAD Ramflood para predicción y gestión del riesgo de avenidas (www.cimne.upc.es/ramflood).

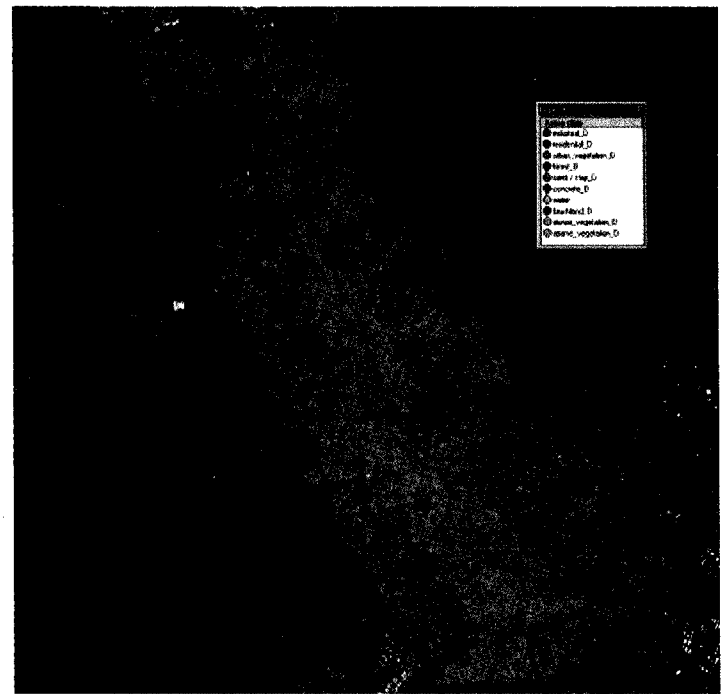


Fig. 3. Procesado de imágenes del satélite de la cuenca de estudio para asignación de usos y propiedades del terreno.

Modelo digital del terreno

Definición de las propiedades de la malla

Condiciones de contorno

Flujo [m³/seg]

fp

tp

tb

Tiempo [seg]

fp: flujo pico
tp: tiempo pico
tb: tiempo base

Command: |

Fig. 4. Generación de la malla de cálculo para análisis hidráulico incluyendo los coeficientes de escorrentía según el tipo de terreno.

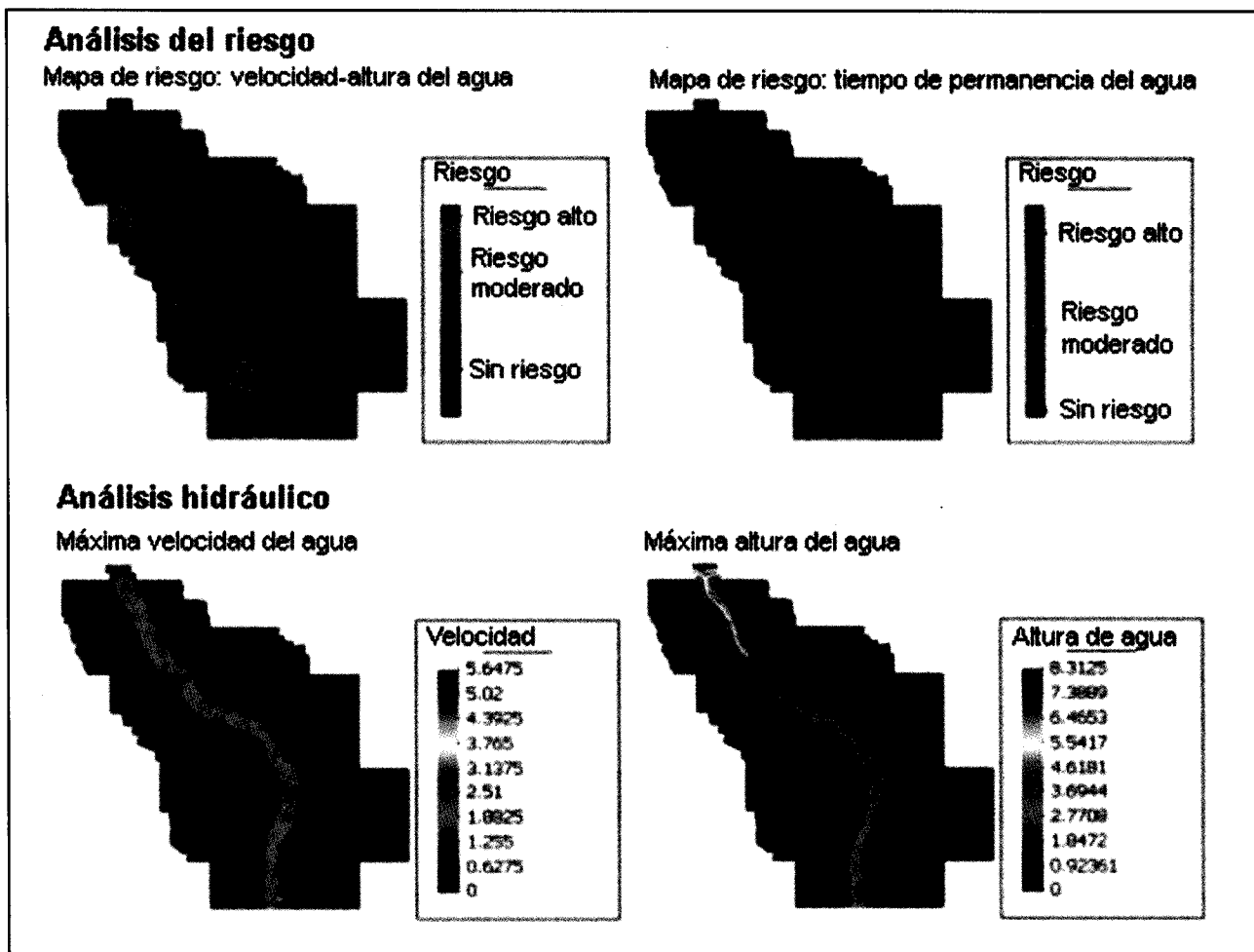


Fig. 5. Resultados del cálculo hidráulico y mapas de riesgo para una avenida concreta.

tuciones de emergencia a tomar para cada situación concreta.

El éxito del SAD RAMFLOOD se basa en la integración eficiente de todas las etapas que intervienen en el flujo de información. La actualización de los datos geográficos y medio-ambientales del territorio requiere una adecuada segmentación de la información utilizando técnicas orientadas a objeto avanzadas. La interfase de los datos del GIS con los programas de simulación se efectúa utilizando un preprocesador de última generación desarrollado en CIMNE [10]. Dicho preprocesador proporciona la malla de cálculo y todos los datos necesarios para la aplicación de programas de elementos finitos y volúmenes finitos que simulan con precisión la evolución temporal de una avenida sobre el territorio, obteniéndose la profundidad del agua y su velocidad en cada punto y en cada instante. Los resultados de la simulación se representan sobre el territorio utilizando técnicas gráficas avanzadas [10]. La educación del sistema experto requiere la solución de cientos de escenarios de inundación. Ello representa un volumen de cálculo considerable y por ello es esencial hacer uso de técnicas de cálculo distribuido. La

aplicación efectiva del SAD RAMFLOOD requiere una interfase de usuario sencilla y clara, de manera que su utilización por técnicos no expertos, sea fácil.

En las Figuras 2-5 se presentan diferentes ejemplos de la interfase de usuario del SAD RAMFLOOD, así como algunos resultados de su aplicación.

SAD para el diseño de instalaciones en proyectos de urbanización

CIMNE ha desarrollado para el Instituto Catalán del Suelo (INCASOL) un SAD (denominado Urbis) que ayuda a diseñar, presupuestar y optimizar las infraestructuras e instalaciones básicas (agua, gas, alumbrado, teléfono, saneamiento, movimiento de tierras y pavimentación) de un proyecto de urbanización. El SAD combina un innovador sistema (GIS) que permite ser gestionado vía internet [9] con técnicas de diseño y evaluación del coste de instalaciones e infraestructuras y algoritmos de optimización.

El funcionamiento del SAD Urbis es el siguiente. El punto de partida son los datos básicos del anteproyecto de un

Fig. 6. Definición de las parcelas y manzanas para diseño óptimo de instalaciones y servicios en el SAD Urbis.

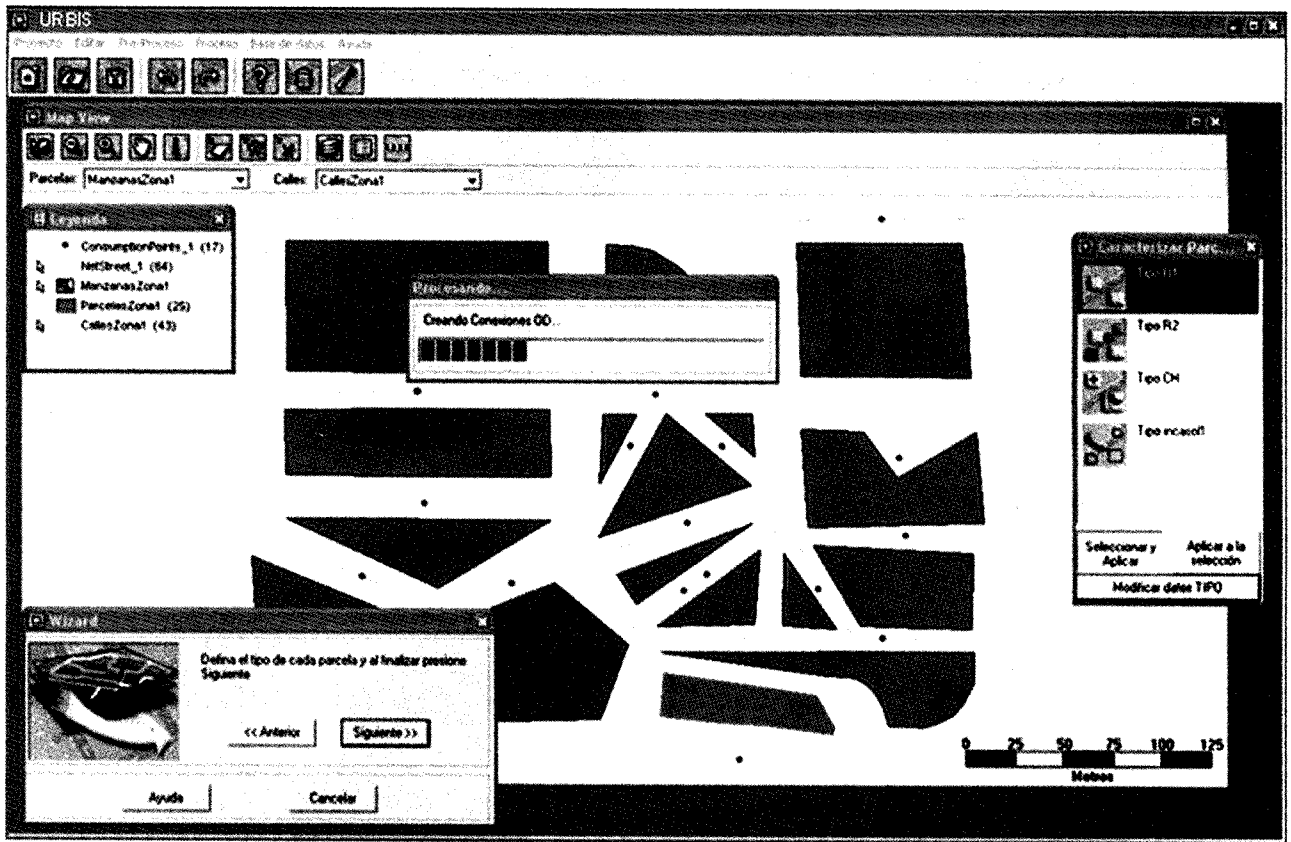
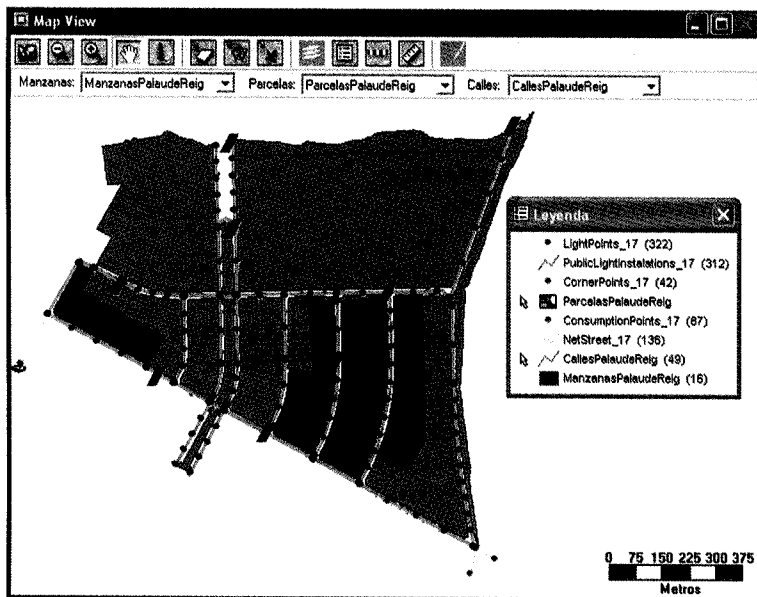


Fig. 7. Ejemplo de aplicación del SAD Urbis para diseño óptimo de la red eléctrica de un polígono.

polígono. Dichos datos se almacenan en el GIS donde se definen los usos concretos de cada una de las parcelas del polígono y los diferentes viales. Tras ello el SAD presenta una propuesta de diseño óptimo para cada una de las instalaciones e infraestructuras mencionadas, incluyen-



do sus detalles técnicos y el presupuesto correspondiente. La información que proporciona el SAD es la base para la realización del proyecto de urbanización definitivo, así como para el proyecto posterior de cada una de las parcelas.

La utilización de este SAD vía internet, lo convierte en una herramienta útil para el desarrollo de un proyecto de urbanización de forma colaborativa, con puestos de trabajo dispersos.

En las Figuras 6 y 7 se presentan ejemplos de aplicación del SAD Urbis. El sistema cuenta con una guía interactiva dirigida a los usuarios menos familiarizados con el sistema. (Más información en www.cimne.upc.es/urbis).

SAD para la gestión energética de municipios

Este SAD ha sido desarrollado también por CIMNE en colaboración con la empresa GASÓ y Asociados en el marco de un proyecto europeo. El objetivo del SAD es proporcionar información actualizada sobre los niveles de consumo energético de un municipio con el fin de racionalizar el uso de los recursos e instalaciones.

El sistema está basado en un sistema GIS que funciona totalmente por Internet, donde se presenta un mapa del municipio dentro del cual se encuentran ubicados los puntos de

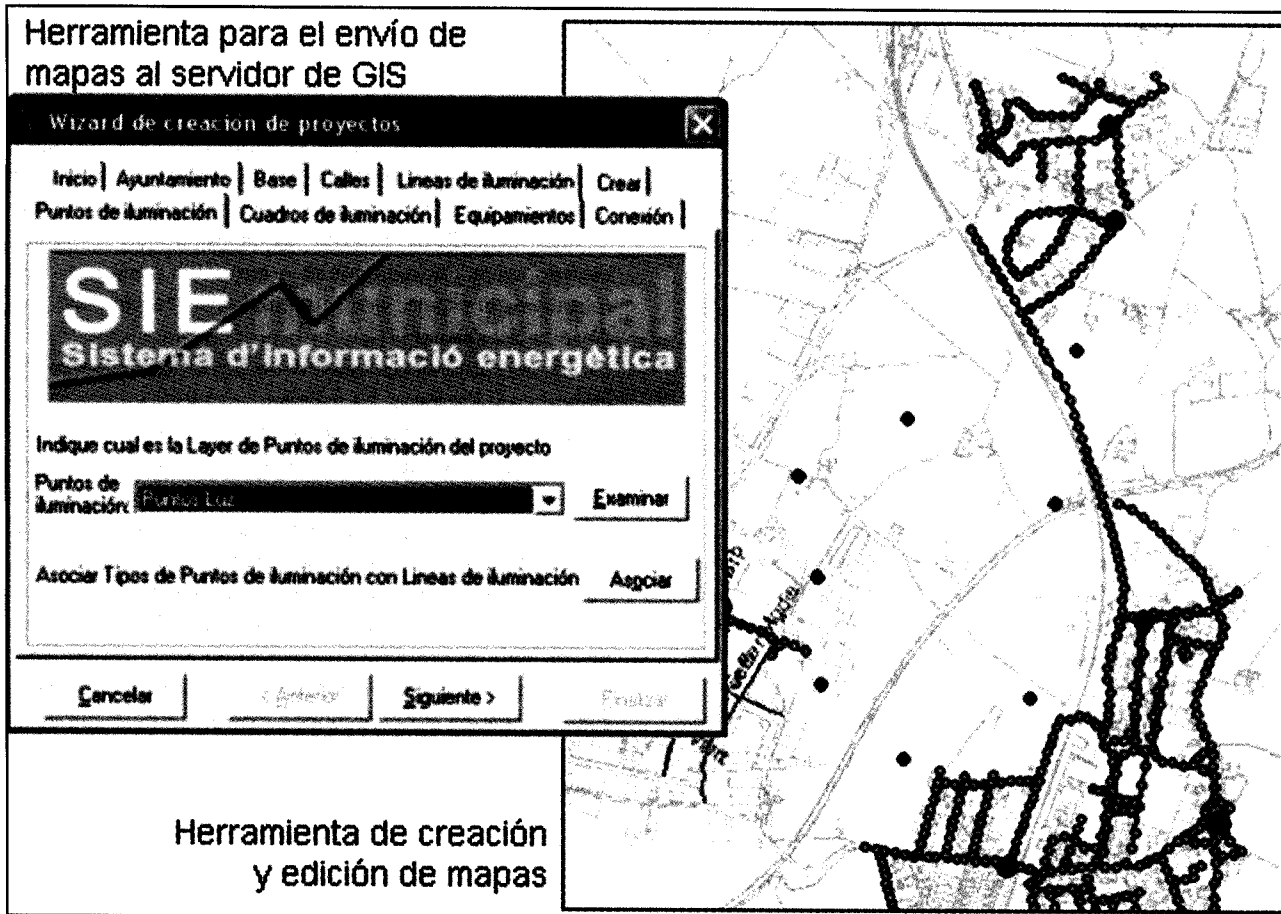


Fig. 8. SAD SIE para gestión del consumo energético de un municipio.

consumo sobre los que se ha de intervenir. Estos puntos de consumo son por ejemplo: la red de alumbrado público, los semáforos, escuelas, bibliotecas, dependencias del ayuntamiento, etc. Los responsables de cada punto de consumo, pueden introducir vía Internet los valores de las facturas de los servicios y otros datos necesarios para establecer el consumo energético.

Estos valores, junto con otros como el área de influencia de cada servicio, el número de usuarios, el tiempo de uso y las necesidades de crecimiento, permiten que el SAD disponga de los datos necesarios para el análisis y la toma de decisiones sobre la gestión energética de un municipio.

La información que proporciona el SAD es fruto de una serie de algoritmos de simulación de la evolución del consumo energético del municipio y se presenta al usuario de forma gráfica, utilizando tablas comparativas y diferentes mapas temáticos.

Este SAD (denominado SIE) se utiliza por los responsables de planeamiento para la gestión óptima de los recursos energéticos del municipio y detectar puntos o zonas de consumo excesivo. Asimismo es de gran utilidad como herramienta para la planificación estratégica de la evolución de los servicios dentro del municipio.

En las Figura 8 se puede observar un ejemplo del uso del SAD SIE, donde se aprecia el plano del municipio de Fornells de La Selva en Catalunya y los diferentes puntos de consumo sobre los que dicho ayuntamiento está trabajando con el sistema. Más información en www.cimne.upc.es/sie.

Futuro de los SAD en Ingeniería Civil

Los ejemplos anteriores son una pequeña muestra de las enormes posibilidades de los SAD en Ingeniería Civil. Es intuable que a corto plazo se extenderán sus aplicaciones a todos los ámbitos de la profesión. Así, existen proyectos de SAD para la gestión integral de edificios y de otras infraestructuras, para la gestión de los diversos servicios municipales y para la mejor gestión de los recursos naturales, entre otros [11,12].

Es muy prometedora la aplicación de los sistemas de ayuda a la decisión en el ámbito de la administración pública, para la gestión de ciudades y territorios. Un ejemplo remarkable es el esfuerzo que están invirtiendo en USA organizaciones como The Orton Family Foundation para configurar SAD con el objetivo de favorecer el desarrollo de la América

rural (www.communityviz.com). Dichos sistemas apuntan a recomendar a los agricultores el ritmo óptimo para gestionar sus cosechas, y a los ayuntamientos la mejor forma de promover el crecimiento sostenible de sus municipios, entre otras cuestiones.

Fuera del ámbito de la ingeniería civil es destacable los desarrollos de SAD en aplicaciones de ingeniería bio-médica. Algunos de los desarrollos recientes en España llevados a cabo por CIMNE y la UPC en colaboración con grupos de las Universidades de Zaragoza y de Sevilla pueden encontrarse en las referencias [13] y [14].

Límites de los SAD

Los SAD están destinados a formar una parte consustancial de muchas de las actividades que se realizan en Ingeniería Civil. El triángulo configurado por tres vértices conectados por Internet donde se ubican los datos (la información), los métodos de cálculo (la predicción) y la toma de decisiones será una herramienta indispensable para los ingenieros.

Con independencia del problema que se resuelva, es importante recordar que el fin último de los SAD es proporcionar información para facilitar el camino en la solución de un problema. Por ello, cualquier técnica de ayuda a la toma de decisiones debe estar íntimamente ligada tanto a la fuente del problema, como al uso que se pretenda hacer de la información disponible. La aplicación de los SAD, y en definitiva de las TIC, no es por tanto una etapa a considerar aisladamente de la realidad.

La tentación inmediata ante las enormes posibilidades de los SAD, es pensar que no existen límites a las mismas. ¿Es factible pensar que gestionando adecuadamente los vértices del triángulo mágico: datos, predicción y decisión, enlazados por las más avanzadas tecnologías de la comunicación podremos llegar a diseñar un futuro sin riesgos? ¿Podrá, en fin, algún día el hombre controlar el futuro? Esta es una cuestión de apasionante actualidad, tratada en numero-

sos libros y películas de ciencia-ficción. La respuesta formal a dicha cuestión la estableció de un modo magistral en 1931 el matemático vienés Kurt Gödel.

En una época en que Wiener, von Neumann y Shannon pusieron los fundamentos de la teoría de la comunicación sobre la que se desarrollaron de las TIC, Gödel demostró que todo sistema lógico basado en axiomas, contiene proposiciones indecidibles. Es decir, es imposible que un sistema cerrado contenga la respuesta a todas las preguntas. Hay cuestiones, por tanto, que solo pueden ser contestadas desde fuera del sistema [1,15].

Las conclusiones del teorema de Gödel, aplicadas al SAD formado por los datos, los métodos de cálculo y los módulos de decisión, enlazados por la red más avanzada de comunicaciones, nos recuerdan que, pese a lo sofisticado que pueda llegar a ser dicho sistema, siempre existirán cuestiones sobre las que no podremos decidir a menos que aportemos criterios externos al mismo. Estos criterios deberán ser invariablemente de tipo extra-científico y extra-tecnológico y solo podrán ser aportados por el hombre, quien por su carácter de ser libre, estará siempre capacitado para, desde fuera del sistema, enriquecer cada una de las etapas del bucle con los criterios más adecuados, combinando los aspectos científicos y tecnológicos con todas las otras facetas humanísticas, históricas, ambientales, económicas y sociales, que componen la vida del hombre.

Los SAD, en definitiva, configuran un nuevo escenario y abren innumerables perspectivas, al favorecer que la información se transforme en conocimiento, y éste en ayuda para decidir sobre el mejor camino a seguir en la solución de un problema. La utilización juiciosa de los SAD se manifestará en innumerables servicios para nuestra profesión y, en general, para nuestra vida cotidiana, tratando de franquear los límites de las barreras del espacio y del tiempo. Pese a la creciente sofisticación del entramado de redes, datos y predicciones, es importante recordar que los ingenieros, en definitiva, seremos siempre los últimos responsables de las decisiones y, en particular, de que nuestros proyectos satisfagan los criterios técnico-económicos y éticos necesarios. ■

REFERENCIAS

- [1] E. OÑATE (2000). *El aura de los números*. Reial Academia de Doctors, Barcelona.
- [2] M. CASTELLS (2001). *La Galaxia Internet*. Plaza y Janés.
- [3] A. BRIGGS y P. BURKE (2002). *De Gutenberg a Internet: Una historia social de los medios de comunicación*. Taurus.
- [4] A. CARDAMA. (2003). *Las comunicaciones en la sociedad de la información*. CIMNE, Barcelona.
- [5] E. OÑATE (2000). *Del ábaco de fichas a Internet*. Publicación CIMNE n. 199, Octubre.
- [6] E. OÑATE (2002). *Posibilidades de las Tecnologías de la Información y Comunicación en el sector de la construcción*. I Jornadas Nacionales sobre Innovación y Nuevas Tecnologías en la Ingeniería Civil. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 4 y 5 Diciembre.
- [7] *Soluciones integrales de formación y gestión en ingeniería*, Structuralia, www.structuralia.com.
- [8] E. BALSÀ y R. LÓPEZ (2003). *Redes Neuronales. Una introducción*. CIMNE, Barcelona.
- [9] EGiS (2003). *Sistemas de información geográfica vía internet*. CIMNE, Barcelona.
- [10] GiD (2004). *El pre y postprocesador personal*. CIMNE, Barcelona. www.gidhome.com.
- [11] *Inspección y evaluación de la seguridad de estructuras en la edificación*. Proyecto de I+D del Ministerio de Fomento, 2004-2006.
- [12] *Desarrollo de un sistema de ayuda a la decisión en la evaluación y gestión del riesgo de inundaciones en áreas urbanas*. Proyecto del Plan Nacional de I+D del Ministerio de Educación y Ciencia, 2004-2006.
- [13] DISHEART "Grid based decision support system for assisting clinical diagnosis and interventions in cardiovascular problems". Proyecto CRAFT de la CE, 2005-2007, www.cimne.upc.es/disheart.
- [14] *Simulación del comportamiento del corazón y periferia vascular en condiciones sanas y patológicas*. Proyecto del Plan Nacional de I+D del Ministerio de Ciencia y Tecnología, 2005-2008.
- [15] E. OÑATE (2000). *Límites de los métodos numéricos*. Publicación CIMNE n. 191, Barcelona.