

# **Posibilidades de las nuevas tecnologías de información y comunicaciones en el sector de la construcción**

**E. Oñate  
J. Marcipar  
F. Zárate**

# **Posibilidades de las nuevas tecnologías de información y comunicaciones en el sector de la construcción**

**E. Oñate  
J. Marcipar  
F. Zárate**

**Publicación CIMNE Nº-221, Febrero 2003**

**Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería**  
Gran Capitán s/n, 08034 Barcelona, España

# **POSIBILIDADES DE LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS DE INFORMACIÓN Y COMUNICACIONES EN EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN**

Eugenio OÑATE  
Javier MARCIPAR  
Francisco ZARATE

Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos  
Universidad Politécnica de Cataluña  
Jordi Girona, 1-3, Campus Norte UPC, 08034 Barcelona  
onate@cimne.upc.es; www.cimne.upc.es

## **RESUMEN**

Se presenta una breve panorámica de las posibilidades de las nuevas Tecnologías de la Información y las Comunicaciones en el sector de la construcción. Tras unas reflexiones sobre el valor intrínseco de la información y las comunicaciones, se describe el impacto que está teniendo Internet en los nuevos métodos de trabajo, de comercio, de formación y, en general, de intercambio de información a todos los niveles en las actividades de los técnicos del sector de la construcción. Finalmente se especula sobre las posibilidades de las TIC para generar entornos de trabajo inteligentes que generen y gestionen conocimiento para la solución de problemas prácticos.

## 1. INTRODUCCIÓN

Es bien conocido el impresionante trabajo que el mundo audio-visual ha recorrido desde que Samuel Morse logró sintetizar los desarrollos científicos del primer tercio del siglo diecinueve en el telégrafo que vio la luz en 1837. Cuarenta años después, Bell tratando de mejorar el telégrafo inventó el teléfono.

Telégrafo y teléfono convivieron durante más de cien años hasta que en 1962 la codificación binaria de la voz abrió la puerta de los sistemas de comunicaciones digitales, acercando más el comportamiento de las redes de comunicaciones a las del sistema nervioso central de los humanos.

Desde el teléfono clásico hasta la internet actual, pasando por el desarrollo de la radio, la televisión, los ordenadores y las redes de comunicación analógica y digital vía satélite y terrestre, hemos sido testigos en los últimos años de una auténtica eclosión de las tecnologías de la información y las comunicaciones (las denominadas TIC) en prácticamente todos los ámbitos de la vida del hombre [4].

El sector de la construcción, cuya actividad va ligada estrechamente a la organización de los modos de vida de los hombres, ha asimilado en todas las épocas los diferentes desarrollos tecnológicos, en beneficio de una mejor realización de su actividad y del avance en el esfuerzo por transformar la naturaleza de forma respetuosa con el medio ambiente, para crear infraestructuras y hábitats que sean lo más sostenibles posible. Los ejemplos de ello son numerosos y abarcan prácticamente todos los ámbitos del sector de la obra pública y de la edificación. Las infraestructuras ferroviarias y del sector de la energía, las carreteras, los aeropuertos, los edificios esbeltos y un largo etcétera son el resultado de la asimilación por los profesionales del sector de la construcción de los avances tecnológicos en cada instante de la historia, para pensar, diseñar y construir las infraestructuras más adecuadas para cada nueva necesidad y para la mejora de las existentes.

### Características de la era de las TIC

Cada sector industrial, y en particular el de la construcción, tiene una cierta inercia para asimilar e implantar cualquier nuevo desarrollo tecnológico. Ello invariablemente dilata en el tiempo la implementación práctica de las nuevas ideas y los avances técnicos en las actividades del hombre. En el pasado, las etapas clásicas de desarrollo de un nuevo producto a partir de la generación de una nueva idea, la validación de los primeros resultados prácticos, la elaboración de los primeros prototipos y la industrialización del producto final, podían llevar décadas, e incluso siglos. Algunos ejemplos clásicos son la evolución de la imprenta, que ha necesitado más de dos mil años desde los primeros sellos romanos hasta las impresoras láser actuales. La luz eléctrica necesitó unos doscientos años desde las primeras ideas concretas de los científicos en los inicios del siglo diecinueve hasta hoy en día, y el ordenador electrónico actual es un producto gestado hace menos de sesenta años, si bien Pascal fabricó uno de los primeros ordenadores mecánicos, la *Pascalina*, en 1642 [13].

Frente a esos lapsos de tiempo, las TIC se caracterizan por la extraordinaria velocidad en el desarrollo de nuevas teorías, técnicas y métodos. Tomemos como ejemplo Internet. Puede decirse que el periodo desde que aparecieron los primeros artículos sobre comunicaciones de datos entre ordenadores, hasta los entornos de Internet 2 actuales solo ha transcurrido unos *cuarenta años* [2,5,13]. Esa realidad, sumada a la excesiva inercia del sector de la construcción

para asimilar e implantar nuevos avances tecnológicos, es probablemente la explicación del retraso en la incorporación de las ventajas de las TIC a la distintas actividades de ese sector.

## 2. INTERNET: UN EJEMPLO DE LOGÍSTICA DEL TRANSPORTE

Como la mayor parte de los mitos, el de la creación de Internet tiene sus raíces en algunos hechos reales. En los inicios de los años 1960, en plena época de la guerra fría, un ingeniero americano llamado Paul Baran escribió una serie de artículos que anticiparon de forma brillante la estructura de Internet. Desde esa época, docenas de científicos ayudaron a inventar Internet, mejorando el concepto central, que ciertamente tuvo su inspiración, al menos para Baran, en el miedo del peligro del enemigo oficial de la época en Norteamérica: los soviéticos [7].

Cuando en 1959 Baran marchó a Santa Mónica, California, para trabajar en la Sperry Rand Corporation, la empresa que tuvo su origen en las patentes Powers sobre máquinas tabuladoras para el recuento del censo en los EEUU, los americanos y los soviéticos estaban en plena fiebre constructora de misiles nucleares de largo alcance. Baran sabía que la red de comunicaciones de la nación no podría soportar un ataque nuclear. No obstante, para que el presidente pudiera ordenar un disparo nuclear, o anularlo, se necesitaba utilizar al menos parte de dicha red. El diseño de un sistema robusto no era por lo tanto un reto intelectual; era una respuesta necesaria, en palabras de Baran, a «la situación más peligrosa que ha existido» [7].

Baran se puso manos a la obra entre el escepticismo de sus colegas. Para Baran, la clave de redes más robustas era la redundancia, es decir, las estructuras de comunicación tenían que funcionar como entidades cohesionadas, incluso aunque muchos de sus componentes hubieran sido destruidos. Mirando más allá de las tendencias de las calculadoras de la época, Baran apuntó al futuro de la tecnología digital en la simbiosis entre hombre y máquina, y escogió el cerebro humano como modelo. Cuando las células cerebrales se dañan, defendía Baran, las redes neuronales tienden a sortear la zona dañada, tomando nuevos caminos por el cerebro. Teóricamente, era posible construir una red con un gran número de conexiones redundantes. Había sólo un problema, las señales analógicas se deterioraban cada vez que se enviaban a través de más de un enlace, tal y como sucede con las copias de video reproducidas un gran número de veces. Por ese motivo, era inútil conectar dos puntos en la red telefónica a través de más cinco puntos intermedios.

La solución, pensó Baran, se encontraba en los ordenadores. Las señales digitales podían almacenarse eficientemente y reproducirse un número ilimitado de veces con gran precisión. Si se pudiera enseñar a los ordenadores a hablar entre sí, podría crearse una red con la redundancia suficiente y que, salvando las distancias, reprodujera el tipo de complejos enlaces de las neuronas cerebrales. Además, los ordenadores eran más veloces. Cualquier conexión digital era susceptible de batir los veinte o treinta segundos que necesitaban los conectores telefónicos mecánicos de la época para establecer una conexión de larga distancia.

El diseño de la red teórica de Baran era extremadamente sencillo. Imaginó una red de muchos nodos, cada uno conectado a su vecino, recordando al entramado de una red de pesca. Otra idea de Baran, incluso más revolucionaria, fue fraccionar también los mensajes. Dividiendo cada mensaje en partes, podía inundar la red en lo que llamó bloques de mensajes o «paquetes», cada uno viajando a su destino por rutas diferentes, para ser reensamblada a su llegada por un ordenador receptor.

El concepto de transporte de Baran aproximaba más a la organización de una mudanza que a otra cosa. Imaginemos que cada mensaje es una casa grande. ¿Cómo trasladar la casa de una ciudad a

otra en el extremo opuesto del país? Lo más eficiente en ese caso es desmontar la casa en piezas y cargar las piezas en camiones que las transporten a través de la red de carreteras del país. Según qué circunstancias, no todos los camioneros optarán por la misma ruta. Lo esencial, no obstante, es que mientras cada conductor sepa donde entregar su carga, todas las piezas llegarán a su destino, donde serán montadas en su forma original.

Baran ideó una red de interruptores, o nodos, cada uno incorporando una hoja de ruta. Dicha hoja indicaría el mejor recorrido para los paquetes, y se actualizaría según el tráfico y las condiciones mecánicas de los nodos vecinos, tal como las centrales de tráfico advierten a los automovilistas por radio sobre los obstáculos en las carreteras. Si la mejor ruta estuviera muy sobrecargada, o simplemente no operativa, el paquete de mensajes tomará automáticamente la siguiente mejor ruta.

Durante cinco años, Baran escribió sus ideas e intentó sin éxito convencer de la viabilidad del proyecto a diferentes empresas como ATT y Bell. El guante lo recogió, sin embargo la propia Sperry-Rand, que logró interesar también a las fuerzas aéreas. Así, en 1965, el Pentágono aceptó financiar la red de Baran pero, por problemas organizativos, la puesta en marcha del proyecto se retrasó hasta 1967.

Finalmente, a primeros de octubre de 1969, una vez que los dos primeros ordenadores de enlace fueron instalados en la Universidad de California en los Angeles (UCLA) y el Standford Research Institute (SRI), un afortunado estudiante de UCLA, llamado Charley Kline, levantó el teléfono en los Angeles y llamó al ordenador del SRI. Allí, uno de los miembros del grupo respondió y las dos máquinas empezaron la conexión. Tras una serie de primeros intentos fallidos se logró ese mismo día una comunicación regular y Kline, desde los Angeles, pudo entrar en la máquina del SRI y ejecutar diferentes instrucciones en su sistema de tiempo compartido. Había nacido Internet.

Pero eso fue sólo el inicio. En menos de un año, cuatro ordenadores de enlace se instalaron en cuatro nodos seleccionados, y se pudo concluir un protocolo de comunicación entre dos o más máquinas. La red de ordenadores, que había comenzado como un experimento de alto riesgo, comenzó a hacerse realidad, para transformarse en la herramienta de comunicación más revolucionaria desde la invención del teléfono.

La creación de Internet ha sido uno de los más claros y recientes ejemplos de la materialización de un gran espíritu colaboracionista al servicio de un objetivo de interés general, tal y como sucede en la construcción de una importante infraestructura. Nada sintetiza quizás mejor ese espíritu que las palabras del propio Baran, pronunciadas pocos años después de que Internet fuera una realidad universal:

«Los desarrollos en tecnología son como la construcción de una catedral», explicó Baran. «En el curso de varios siglos nuevas personas se incorporan a la tarea y cada una coloca uno o varios bloques sobre la construcción existente. Si no tienes cuidado, puedes autoconvencerte de que tú hiciste la parte más importante, pero la realidad es que cada contribución ha de apoyarse en el trabajo anterior. Todo está ligado a las otras partes del conjunto» [7].

### **3. VALOR INTRÍNSECO DE LA INFORMACIÓN Y LA COMUNICACIÓN**

Las TIC son esencialmente instrumentos para facilitar al hombre el acceso a *información*. Hemos apuntado que Internet puede visualizarse como una red de autopistas por donde circula información de la que podemos disponer de forma instantánea. En la gestión de dicha

información se encuentra la clave del futuro impacto de las TIC en todas las actividades humanas y, en particular, en las del sector de la construcción.

La información se ha convertido hoy en día en un concepto fundamental, al lado de los de materia y energía [1]. Jeremy Cambell ha defendido que la información, al introducir orden en el conocimiento humano, es fuente de entropía negativa y contribuye a reducir la entropía del universo [3]. En uno de sus discursos como Presidente de la CE Jacques Delors afirmó que “la información será el petróleo del siglo XXI”. La teoría de la información y sus estrechas relaciones con la matemática y la cibernetica, formuladas separadamente por Claude Shannon y Norbert Wiener a finales de la primera mitad del pasado siglo, han tenido una influencia enorme, tanto en el ámbito de las ciencias físicas o naturales, como en el de las ciencias del hombre o sociales. Es ya un hecho constatado que las teorías de Shannon y Wiener han tenido un gran impacto en el desarrollo de la teoría de juegos, esbozada por von Neumann también a finales de los años 40, con las teorías de redes y sistemas y con todo aquello que hoy denominamos Sociedad de la Información [1,5,9,10,11,16-19].

La influencia de la teoría de la información va incluso más allá. Siguiendo las ideas de Pierce de la década de los años mil novecientos sesenta [15], está hoy en día demostrado que las denominadas teorías de información y comunicación están íntimamente relacionadas, no solo por el alcance de los mismos conceptos de información y comunicación, sino también por su manera de abordar las interacciones que se dan a diferentes niveles del mundo físico y social, que cada vez más se vislumbran como una única e indisoluble realidad.

En ese sentido, es iluminador no solo observar a la comunicación como un fenómeno, sino también como un proceso que puede ser modelado utilizando técnicas similares a las utilizadas en otros procesos de la ciencia. La comunicación puede entreverse como un eje transdisciplinar, de manera que el estudio de los procesos comunicacionales, en un sentido amplio, puede contribuir no solo a la tan buscada vertebración de las ciencias sociales, con las que tradicionalmente se asocian los términos de información y comunicación (la psicología, la sociología, la lingüística, etc.), sino también a la demolición de fronteras entre ciencias físicas, ciencias sociales e ingeniería.

Si aceptamos esta apasionante posibilidad, cada vez refrendada por más estudiosos y por la evidencia teórica y experimental, encontraremos enriquecedoras analogías entre problemas tan distantes, como por ejemplo el estudio de los procesos de evolución en ciencias biológicas y en demografía, con el proceso de *producción, intercambio y equilibrio* o regulación de flujos de información. Estas tres etapas constituyen los ejes vertebrales sobre los que se sustenta la teoría de comunicación moderna [1,16].

Desde la perspectiva del ingeniero es fácilmente intuible que estas analogías se extienden también a la mayor parte de las teorías que gobiernan los problemas de ingeniería. En efecto, la mecánica, base sobre la que se cimentan los estudios sobre estructuras y fluidos, en su sentido más general, se rige por principios y leyes que guardan un estrecho paralelismo con los mencionados en el mundo de la comunicación. El proceso de evolución del calor en un cuerpo precisa de la existencia de una fuente de calor que produzca intercambio de flujos de calor a través de un medio sólido o fluido; estos flujos se propagan siguiendo leyes de equilibrio que se sustentan en conceptos abstractos de balance o conservación (la cantidad de calor que entra y sale por cualquier subdominio del medio, se equilibra con las aportaciones o pérdidas de calor provenientes del exterior) y también con leyes de tipo físico, tales como la ley de Fourier que establece que el calor fluye de los puntos más calientes a los fríos y en cantidad proporcional a la conductividad del medio y al gradiente de la temperatura. En un problema térmico, la

temperatura es la *unidad básica de información* que puede medirse y cuantificarse, y de ella se deriva mucha otra información, que podríamos denominar secundaria, tales como los flujos de calor.

Es revelador advertir la perfecta analogía entre el problema de transporte de calor y el de transporte de información. Lo fascinante es que esta analogía se repite en problemas aparentemente tan lejanos, como la deformación de estructuras bajo la acción de cargas, el movimiento de las partículas en un fluido, el flujo de automóviles en una carretera y el movimiento de electrones en un problema de electromagnetismo.

Parece por tanto que, tal y como se cuestionaba el filósofo Ferrater Mora, sí que existe un orden de realidad físico a partir del cual se pueden explicar de forma racional todos los otros órdenes de realidad, incluidos en el vasto conjunto que denominamos *mundo* [6].

Esta aspiración no es otra que tal vez la de Pitágoras, Platón, Descartes, Leibniz y muchos otros creyentes en la descripción racional del universo con la ayuda de las matemáticas y los métodos de cálculo. El credo pitagórico permanece por tanto inalterable, apoyando las tesis de los que creen que los números (transportados hoy por Internet) y el hombre forman un binomio indisociable desde el origen de los tiempos.

#### **4. PASADO Y PRESENTE DE LAS TIC EN EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN**

Antes de la “era Internet”, las comunicaciones en el mundo de la construcción se centraban en la utilización del teléfono, el fax, el modem y el 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, ciertamente, ha revolucionados los hábitos en cuanto a la forma de comunicarse y trabajar en muchas empresas y organizaciones del sector de la construcción. En dicho sector participan empresas e individuos de muy variadas especialidades y con distintos ámbitos de actuación. Todos pueden aprovecharse de las ventajas de las TIC y en particular de Internet, a diferentes niveles.

Las TIC hacen posible el almacenaje, la clasificación y la distribución de información de forma sencilla y universal. Por otra parte, las facilidades de las nuevas técnicas para la introducción de datos de forma colaborativa y simplificada, o incluso de forma indirecta (tomando datos de sistemas vecinos) hacen que exista una mayor cantidad de información actualizada en la red. La inteligencia puesta en los sistemas de captación y gestión de datos permite dar valor a esos datos y optimizar su uso a distintos niveles (estratégico, de gestión, comercial, técnico, etc.).

Por otra parte, las facilidades en la distribución de datos convierten a Internet en una herramienta indispensable para acceder a información especializada y, en general, al conocimiento “en red”.

Las empresas que hacen buen uso de estas posibilidades cuentan con información de valor 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 de la empresa.

- Gestionar el conocimiento de la empresa de forma colaborativa.

En particular, las empresas del sector de la construcción gestionan mucha información y personal, los procesos son sumamente complejos y la optimización de cualquiera de ellos puede generar grandes ventajas competitivas sobre el entorno inmediato de la empresa.

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

Las posibilidades actuales de Internet en el sector de la construcción se centran básicamente en las cuatro líneas siguientes:

- Intercambio de información de forma colaborativa en todos los aspectos del desarrollo del proyecto.
- Oferta de un servicio de formación continua interactiva y personalizada.
- Creación de un mercado de productos y servicios relacionado con las necesidades de una obra completa, de una empresa (B2B) y de todos los empleados (B2E).
- Gestión y mantenimiento de infraestructuras.

En los párrafos siguientes se resumen las posibilidades actuales de Internet en las cuatro líneas anteriores.

### **Internet al servicio del proyectista**

Internet abre un mundo de oportunidades para el proyectista del sector de la construcción. Es ya una realidad la posibilidad de crear una Oficina Técnica Virtual en la cual técnicos que trabajen en distintos lugares de la misma empresa o de empresas distintas, puedan interactuar intercambiando datos relativos al mismo proyecto vía Internet.

Paralelamente, aparece el concepto de "consultoría en red". Es decir, la posibilidad de ofrecer servicios de consultoría técnica sobre aspectos del diseño, el cálculo, la construcción y el mantenimiento de obras utilizando Internet. Especialmente atractiva es la posibilidad del servicio de "cálculo en red". Este servicio lo ofrecen empresas de cálculo a través de Internet, de manera que los usuarios pueden acceder a servicios de cálculo en condiciones de "pago por uso" a través de Internet. Un servicio de este tipo lo ofrece en este momento, por ejemplo, la empresa Structuralia ([www.structuralia.com](http://www.structuralia.com)).

### **Internet al servicio de la formación continua**

Las posibilidades de Internet para la formación continua son enormes. El concepto de "formación en red" es cada vez más una realidad impulsada por universidades y empresas especializadas en formación continua en ámbitos técnicos.

La formación continua en red permite impartir cursos de distintos tipos (desde conferencias hasta cursos de varias horas o meses, como cursos de master) en la modalidad de distancia total, o combinando sesiones a distancia y sesiones presenciales. Cada día se avanza más hacia el desarrollo del concepto de autoaprendizaje continuo con la ayuda de herramientas y tutorías en red de forma síncrona (en tiempo real) o asíncrona (con herramientas y vídeos pregrabados, etc.). Es de prever que todas las empresas pondrán una atención especial en la formación de sus empleados con la ayuda de las nuevas herramientas y entornos que ofrece Internet. El gran reto a

corto plazo es el *desarrollo de contenidos* de alto nivel en todos los ámbitos del sector de la construcción, desde el nivel técnico más directamente ligado con la ingeniería civil o la arquitectura (estructuras, geotecnia, hidráulica, puertos, medio ambiente, etc.), hasta contenidos más relacionados con la gestión relativos a temas administrativos, normativas y aspectos legales entre otros.

El secreto del éxito en el desarrollo de estos contenidos será la interrelación y el trabajo conjunto entre los expertos poseedores de los contenidos y los especialistas en el desarrollo de entornos multimedia, basados en los últimos avances en herramientas como XML y Flash Multimedia entre otros. Es de destacar, en este sentido, el trabajo desarrollado por el Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería ([www.cimne.upc.es](http://www.cimne.upc.es)) en colaboración con profesores e investigadores de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona y con empresas como Structuralia, para el desarrollo de un nuevo entorno de formación vía Internet y de diversos cursos de formación en red en temas diversos de la ingeniería civil y de la arquitectura.

### **Internet al servicio del comercio electrónico en el sector de la construcción**

Es evidente que Internet es una excelente plataforma para favorecer el comercio en muchos ámbitos de la industria. Son conocidos los éxitos de Internet en la venta en red de productos diversos como libros, ropa, billetes de avión, obras de arte, etc.

Las posibilidades de Internet en la venta de productos de interés para la construcción tienen, en principio, un potencial similar. El impacto puede ser todavía mayor por la escala de las operaciones de compra y venta que cada día se producen en el sector de la construcción. Ya se han implantado, con un creciente éxito, plataformas de venta de productos "clásicos" como libros técnicos y software de interés para ingenieros y arquitectos ([www.cimne.upc.es](http://www.cimne.upc.es); [www.structuralia.com](http://www.structuralia.com), etc.). El gran reto es crear un verdadero mercado de productos "de peso" relativo a la construcción, como por ejemplo, cemento, hormigón, material de canteras, ladrillos, vigas, (como por ejemplo [www.obralia.com](http://www.obralia.com), [www.uralita.com](http://www.uralita.com), [www.bravobuild.com](http://www.bravobuild.com) y [www.minobraplus.com](http://www.minobraplus.com)) y a pesar de que los inicios de algunos de estos portales han sido accidentados, es previsible que a término medio se consolidará su papel esencial para hacer realidad la creación de un mercado en red activo de productos en el sector de la construcción.

### **Internet al servicio de la gestión y del mantenimiento de una obra**

Las posibilidades de Internet para el seguimiento y gestión en red de la construcción de una obra son muy grandes. Hoy en día es factible el seguimiento en directo de la fase de construcción de una obra mediante cámaras de vídeo que transmiten la información a una web especialmente diseñada al respecto. Estos datos se pueden utilizar para actualizar el proyecto y su planificación.

De particular interés es también la utilización de Internet para el control y mantenimiento de obras construidas. Con la ayuda de instrumentos de control se puede disponer de información en red sobre el estado de las deformaciones, esfuerzos, temperatura, humedad, etc. de una obra y tomar las decisiones correspondientes. También es evidente la utilidad de Internet para la vigilancia monitorizada de obras.

Los nuevos desarrollos parecen ir en la dirección de utilizar Internet como una plataforma de captación de información en red sobre el estado de una obra y también como el vehículo para el control activo y pasivo de instalaciones a través de la red. En este contexto es interesante apuntar que son ya numerosas las empresas que ofrecen servicios de control de instalaciones a través de Internet.

## 5. EL FUTURO DE LAS TIC EN EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN

Es apasionante reflexionar, con un cierto espíritu especulativo, sobre el futuro que nos depara Internet.

El reto a abordar en los próximos años será probablemente transformar la ingente cantidad de *información* que proporciona Internet a través de ordenadores, teléfonos móviles de tercera (y pronto cuarta) generación, etc. en *conocimiento* a partir del cual poder tomar decisiones sobre el funcionamiento del mundo que nos rodea. Para ello, será indispensable apoyarse en herramientas que procesen la información, de manera que podamos predecir escenarios que simulen el comportamiento previsible de la realidad, de acuerdo con hipótesis preestablecidas. Estas herramientas, denominadas comúnmente métodos de simulación, combinarán las TIC con modelos matemáticos, métodos numéricos e informáticos y, sin duda, con un conocimiento profundo de todos los aspectos científicos-técnicos y socio-económicos del problema a resolver.

Se podrían así esquematizar las actividades del hombre utilizando las TIC, como *enmarcadas en 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 concentrarían todas las facetas relativas a la toma de decisiones sobre la mejor solución a adoptar. Los tres vértices que representan los *datos*, la *simulación del futuro* y la *decisión* a tomar, *estarían enlazados por los lados del triángulo que simbolizan a Internet*. Se configura así un bucle que conecta a través de Internet la información con la decisión en base de 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.

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 dado, 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 y recomendaciones prácticas sobre el tiempo esperable.

El *triángulo mágico* se podría bautizar con el nombre de Sistema de Ayuda a la Decisión vía Internet. En la Universidad Politécnica de Cataluña se desarrollan actualmente sistemas de este tipo. Un ejemplo concreto es el sistema para gestión de emergencias en caso de inundaciones que se desarrolla en el marco del proyecto RAMFLOOD coordinado por CIMNE dentro del Information Society Technologies Programme de la CE con la colaboración del Departamento de Ingeniería Hidráulica, Marítima y Ambiental de la Escuela de Ingenieros de Caminos de Barcelona ([www.cimne.upc.es/ramflood](http://www.cimne.upc.es/ramflood)). En dicho sistema los datos necesarios hacen referencia a la información meteorológica y geográfica de un territorio particular, los programas de simulación de avenidas reproducen diferentes situaciones de riesgo de inundación en el territorio para diversas condiciones meteorológicas. Con esas simulaciones se educa un sistema experto basado en algoritmos de Monte Carlo y en redes neuronales, que permite tomar decisiones sobre el riesgo de una avenida para una situación meteorológica específica y las acciones más adecuadas a tomar.

Otras aplicaciones similares pueden encontrarse en muchas áreas de la ingeniería y la ciencia. Es muy prometedora la aplicación de dichos sistemas de ayuda a la decisión en el ámbito de la administración pública, para la gestión de ciudades y territorios. Un ejemplo remarcable es el

esfuerzo que están invirtiendo en USA organizaciones como The Orton Family Foundation para configurar sistemas de ayuda a la decisión con el objetivo de favorecer el desarrollo de la América rural ([www.communityviz.com](http://www.communityviz.com)). Dichos sistemas pretenden 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.

Otro ejemplo final similar en España es el proyecto promovido por el Instituto Catalán del Suelo (INCASOL) y ejecutado por el Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería de Barcelona para desarrollar un sistema “inteligente” para la ayuda al anteproyecto de las infraestructuras y los servicios en proyectos urbanísticos. Se persigue disponer de una herramienta que ayude a diseñar, cuantificar y optimizar las infraestructuras y los servicios básicos (agua, gas, alumbrado, movimiento de tierras, pavimentación, saneamientos, etc.) de un proyecto de urbanización. El nuevo entorno de ayuda a la decisión combinará un innovador sistema de información geográfica (GIS) que genera y gestiona datos a través de Internet, con modelos de diseño de instalaciones y algoritmos de optimización.

## 6. CONSIDERACIONES FINALES

Es indudable que las TIC están destinadas a formar una parte consustancial de la mayor parte de las actividades que se realizan en el Sector de la Construcción. En particular, los vértices del triángulo formado por los *datos* (la información), la *simulación* (el cálculo) y la *toma de decisiones* se van a transformar en una herramienta indispensable para los técnicos del sector de la construcción gracias a Internet.

Con independencia del problema que se resuelva, es importante recordar que el fin último de Internet es *proporcionar información*, otra vez aparece la palabra clave, para comprender mejor el camino en la solución de un problema, para poner orden en un sistema en desorden y, en forma más abstracta, para ayudar a que el inevitable crecimiento de entropía del universo se ralentice al máximo. 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 las TIC no es por tanto una etapa a considerar aisladamente de la realidad.

La tentación inmediata ante las enormes posibilidades de las TIC al servicio del hombre, es pensar que no existen límites a dichas posibilidades. ¿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 numerosos libros y películas de ciencia-ficción. La respuesta formal a dicha cuestión la estableció de un modo magistral en 1931 el matemático vienes 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 apoyó el desarrollo 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 [12,14].

Las conclusiones del teorema de Gödel, aplicadas al sistema formado por los tres vértices del triángulo donde se encuentran los datos, las herramientas de predicción 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 tomar decisiones, a menos que aportemos criterios externos al sistema. 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.

Para poner de manifiesto las relaciones entre realidad, información y decisiones tendríamos quizás que dar respuesta a muchas preguntas que me atrevo a formular de forma especulativa, ¿Qué hace veraz una cierta cantidad de información? ¿Por qué he de creer en la información? o ¿En qué tipo de información he de creer? ¿Qué confiere a una cierta información su utilidad? ¿Qué hace que sea buena o mala? ¿Qué la hace bella o fea? ¿Cuál ha sido la influencia de la información sobre las teorías del conocimiento y la existencia matemática; sobre la intuición científica; sobre la educación del hombre? ¿Qué relación existe entre las TIC, el pensamiento matemático, los métodos de simulación, las capacidades de cálculo y la mente humana? ¿De qué modo contribuye la información sobre un problema o un asunto más trivial a cambiar nuestra idea de la realidad, del conocimiento, del tiempo?.

Una vez dada respuesta a las preguntas anteriores tendríamos bien andado el camino conducente a la creación de una filosofía de las TIC. Así, al igual que la filosofía clásica se ha ocupado de lo verdadero, lo bueno y lo bello, así también, la filosofía de las TIC podría ocuparse de la veracidad, belleza y bondad de la información tanto en sus aspectos más abstractos, como en su faceta más aplicada a un sector concreto, como el de la construcción. Sólo a través de una reflexión profunda sobre estas ideas podremos aportar luz sobre una sociedad cada vez más dividida entre los que opinan que las TIC, entre las que se encuentran la informática y sus actividades relacionadas, son un mal irremediable, que degrada el espíritu y corrompe la inteligencia, y los que, en el polo opuesto creemos que las TIC, en sentido amplio, nos ayudan a entender mejor el mundo que nos rodea, y son un ingrediente más para lograr esa Sociedad del Conocimiento a la que aspira la Unión Europea, que contribuya a alcanzar la justicia social y la pacificación del mundo.

He intentado, con estas líneas esbozar el nuevo escenario que abren las presentes y futuras redes de comunicación, al favorecer que la información se transforme en conocimiento que se manifestará en innumerables servicios para el sector de la construcción y, en general, para nuestras vidas cotidianas, 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 sobre el futuro, es importante recordar que los hombres, en definitiva, serán siempre los últimos responsables de las decisiones y, en particular, de que la nueva Sociedad de la Información sea una sociedad más libre, justa y equilibrada.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a los investigadores de CIMNE Dr. D. Francisco Zárate y D. Javier Marcipar por su ayuda e ideas en la preparación de este trabajo.

## REFERENCIAS

- [1] S. Alsius. *La información, un concepto clave para la ciencia contemporánea* (en catalán). Reial Academia de Doctors, Barcelona 2001.
- [2] A. Briggs y P. Burke. *De Gutemberg a Internet: Una historia social de los medios de comunicación*. Taurus 2002.
- [3] J. Cambell. *Grammatical man: information, entropy, language, and life*. New York: Simon and Schuster, 1982.
- [4] A. Cardama. *Las comunicaciones en la sociedad de la información*. CIMNE, Barcelona 2003.
- [5] M. Castells. *La Galaxia Internet*. Plaza y Janés, 2001.
- [6] J. Ferrater Mora. *De la materia a la razón*. Alianza Editorial, 1979.
- [7] K. Hafner y M. Lyon. *Where wizards stay up late*. Simon and Schuster Publishes, 1998.
- [8] S.J. Heims. *J. von Neumann y N. Wiener* (dos volúmenes), Salvat, 1986.
- [9] H. Kennet. *Information, sensation and perception*. Academic Press, New York 1993.
- [10] B McMillan, Scientific impact of the work of C E Shannon, in *Proceedings of the Norbert Wiener Centenary Congress, 1994, East Lansing, MI, 1994* (Providence, RI, 1997), 513-523.
- [11] J. von Neumann. *El ordenador y el cerebro*. Bosch, Barcelona 1980.
- [12] E. Oñate. *El áura de los números*. Reial Academia de Doctors, Barcelona 2000.
- [13] E. Oñate. *Del ábaco de fichas a Internet*. Publicación CIMNE n. 199, Octubre 2000.
- [14] E. Oñate. *Límites de los métodos numéricos*. Publicación CIMNE n. 191, 2000.
- [15] J.R. Pierce. Símbolos, seriales y ruidos. *Revista de Occidente*, p. 80, Madrid 1962.
- [16] K. Steinbuck. Técnicas de la comunicación. Haseloff Otto W. (Ed.). *La comunicación*, Tiempo Nuevo, Caracas 1970.
- [17] N. Wiener. *Inventar. Sobre la gestación y cultivo de las ideas*. Tusquets Editores, 1995.
- [18] N. Wiener. *Cibernetica*. Tusquets, 1985.
- [19] N. Wiener. *Cibernetica y Sociedad*. Ed. Sudamericana, Buenos Aires 1958.