

SITUACIÓN Y TENDENCIAS EN EL CAMPO DEL CONTROL POR COMPUTADOR: SISTEMAS DE TIEMPO REAL

Marga Marcos, Dra. en Ciencias Físicas
Catedrático de la ESII de Bilbao de la UPV

Juan Antonio de la Puente, Dr. Ingeniero Industrial
Catedrático de la ETS de Ingenieros de Telecomunicación de la UPM

Alejandro Alonso, Dr. en Informática
Profesor titular de la ETSIT de la UPM

Alfons Crespo, Dr. Ingeniero Industrial
Catedrático de la UPV

INTRODUCCIÓN

El objetivo de este trabajo es analizar el estado actual de las técnicas y tecnologías que hoy en día se utilizan en el análisis, diseño y desarrollo de sistemas de tiempo real. Entre otras fuentes consultadas, cabe destacar el *Milestone Report* del Comité de Coordinación de Control por Computador de IFAC, las conclusiones del *Workshop on Future and Emerging Control Systems* organizado por la unidad E1 del programa IST de la Unión Europea, el artículo "Sistemas de tiempo real. Previsiones para los próximos 25 años" de A. Alonso y J. A. de la Puente (2000) y el número de enero de 2002 de la revista *IEEE Spectrum*.

CONCEPTOS BÁSICOS Y FUNDAMENTOS DE LOS SISTEMAS DE TIEMPO REAL (STR)

En 1981 un error de programación provocó un movimiento brusco y a gran velocidad de un robot en el límite de su campo de operación. Este error se saldó con la muerte de un operario. Este es un claro y trágico ejemplo de los riesgos que pueden conllevar los sistemas de tiempo real empotrados si su diseño no es correcto. Desgraciadamente, no fue un incidente aislado. Ahora bien, el diseño de este tipo de sistemas puede y debe apoyarse en un conjunto de técnicas y tecnologías que permitirán realizar un diseño correcto y fiable.

Desde la aparición del microprocesador, los computadores han ido disminuyendo paulatinamente en tamaño y precio a la vez que han aumentado sus prestaciones en velocidad y fiabilidad. Como consecuencia inmediata, su rango de aplicación ha ido extendiéndose. Aunque inicialmente fueron diseñados específicamente como elementos de procesamiento de la información, han ido ex-

tendiendo su uso a todos los ámbitos de la vida cotidiana, desde su simple aplicación en una lavadora o un teléfono móvil hasta en complejos sistemas de control de tráfico aéreo. De hecho, una de las áreas donde ha encontrado mayor expansión es en aplicaciones cuya función principal no es precisamente la de procesamiento de la información, aunque es muy probable que la mayoría de las aplicaciones requieran ciertos cálculos para llevar a cabo su función principal.

Cada vez es mayor el número de sistemas de tiempo real que se desarrollan empotrados en todo tipo de sistemas de ingeniería y de consumo. De acuerdo con la propia definición de la palabra empotrado, es decir, algo a lo que se le hace *ser parte integrante* de, todo sistema de control es empotrado. Sin embargo, el término se ha utilizado durante mucho tiempo para referirse a sistemas de alto coste y alta tecnología. Ahora bien, como consecuencia del abaratamiento del *hardware*, hoy en día su uso se ha generalizado a un buen número de productos cotidianos. Así, ejemplos de estos sistemas pueden encontrarse no sólo en el campo aeronáutico, en sistemas de control de aviones, cohetes o satélites, sino también en sistemas *meatrónicos*, como robots industriales, en el campo de la producción y distribución de energía eléctrica, en el automóvil o en productos de electrónica de consumo de uso tan común como teléfonos portátiles, reproductores de CD, cámaras de vídeo o lavadoras.

Analicemos, por ejemplo, el sistema empotrado de una lavadora o un lavavajillas doméstico de gama alta. Su función principal es lavar (ropa o vajilla), pero en función de las necesidades concretas de la aplicación (ropa blanca, de color, delicada o vajilla muy sucia, lavado en agua fría, etc.) será necesario ejecutar diferentes programas (centrifugado a diferentes revoluciones, distinta temperatura,

ahorro energético,...). Estas aplicaciones de un computador se denominan genéricamente de *tiempo real* o *empotradas*. Aproximadamente un 99% de la producción mundial de microprocesadores se emplea en este tipo de sistemas.

Por tanto, básicamente podemos distinguir entre dos tipos de sistemas de tiempo real: los *sistemas empotrados*, que se caracterizan por estar basados en microprocesador, sobre el que se ejecuta un sistema operativo de tiempo real (o un núcleo. Es decir, las funciones mínimas de un sistema operativo). Otra característica típica es que normalmente disponen de recursos limitados, tanto en memoria de programa como de datos y en dispositivos de entrada/salida para comunicación con el exterior. En este tipo de sistemas se incluyen muchas aplicaciones aeronáuticas (aviones, satélites,...), del automóvil y de electrónica de consumo. Por otro lado, existen los llamados *sistemas de control industrial*, típicos de la industria de proceso continuo y de la producción. En este caso están basados en los denominados sistemas de control distribuido (DCS) y Autómatas Programables Industriales (PLCs). Se caracterizan básicamente porque son muy dependientes del fabricante y necesitan una programación específica. También, normalmente, están basados en un sistema operativo de tiempo real.

Tanto un tipo como otro poseen unas características específicas que separan a este tipo de sistemas de las aplicaciones del computador de propósito general.

- Quizá la característica que distingue con mayor claridad a los sistemas de tiempo real es su dependencia del tiempo. Debe responder a estímulos externos dentro de un periodo de tiempo finito y especificado. Por tanto, su correcto funcionamiento no depende únicamente de que su respuesta sea lógicamente correcta, sino que, además, debe producirse dentro de un plazo de tiempo.

Los diseñadores de sistemas distinguen entre sistemas de tiempo real crítico y acrítico. Un sistema de tiempo real *crítico* es aquél en el que es absolutamente imprescindible que las respuestas cumplan el plazo especificado (*de-*

adline). Los sistemas de tiempo real *acrítico* son aquéllos en los que los tiempos de respuesta son importantes pero el sistema seguirá funcionando correctamente aunque ocasionalmente no se cumplan sus plazos. Éstos se distinguen de los *interactivos* en que los *sistemas interactivos* no tienen plazos explícitos. Por ejemplo, el sistema de control de vuelo de un avión de combate es un sistema crítico ya que la pérdida del plazo de respuesta puede conducir a una catástrofe. Sin embargo, un sistema de adquisición de datos para un sistema de control de procesos de dinámica lenta podría definirse como un sistema de tiempo real acrítico, ya que puede estar diseñado para adquirir datos de un sensor a intervalos regulares pero se

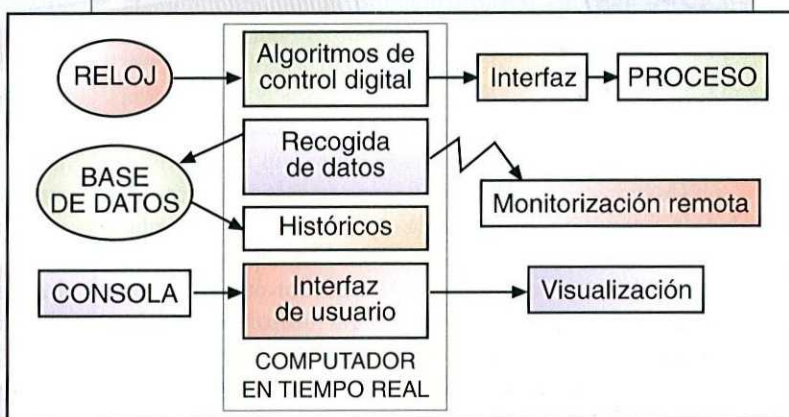


Figura 2. Arquitectura de los sistemas de tiempo real.

pueden tolerar retrasos intermitentes.

- Por los ejemplos citados, es claro que los sistemas de tiempo real interactúan con el entorno físico que les rodea, controlándolo y reaccionando a sus cambios. Es decir, adaptándose a su dinámica, tal y como se muestra en la figura 1.

- Típicamente están formados por una serie de actividades que se ejecutan concurrentemente. Normalmente, estas actividades se deben ejecutar en respuesta a eventos que llegan del exterior. Además, estos eventos se pueden dar en paralelo, lo que implica que los STR deben ser concurrentes.



Figura 1. Esquema básico de un sistema de tiempo real.

- Desde el punto de vista del diseño de la arquitectura *software*, el esquema general podría ser el representado en las figuras 2 y 3: el *software* que controla todas las operaciones del sistema puede escribirse en módulos que reflejan la naturaleza física del entorno que controla (sensores, actuadores, interfaz operador, reloj en tiempo real,...). Así, normalmente existirá un módulo que contiene los algoritmos necesarios para el control de los dispositivos, otro responsable de almacenar cambios de estado del sistema, otro para recuperar y visualizar dichos cambios. Otro módulo será el encargado de interactuar con el operador, etc.

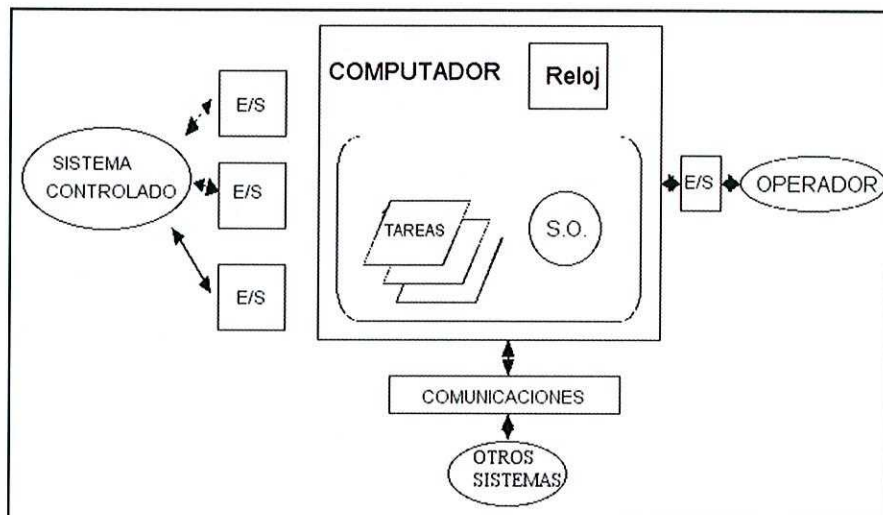


Figura 3. Arquitectura Software de los STR.

software más complejo y de mayor calidad a la vez que distribución del sistema. En este sentido, las redes de comunicaciones resultan ser parte tan importante del sistema que en un futuro próximo la red será el ordenador.

Sistemas de Control distribuido

El desarrollo de esta tecnología incluye los conceptos fundamentales y los aspectos teóricos de arquitectura de sistemas, comunicación entre procesos, algoritmos, planificación, programación e interfaces hombre-máquina para sistemas de control distribuido de tiempo real.

Probablemente, los sistemas de control distribuido constituirán la mayoría de los sistemas de tiempo real en las futuras aplicaciones complejas de control. La necesidad de gran procesamiento de cálculo, la propia distribución física de los componentes del sistema y el requisito de que se toleren una mayor cantidad y variedad de fallos, exigirán que los sistemas de control estén distribuidos funcional y espacialmente.

Uno de los retos a afrontar en este campo es la verificación formal del *hardware* y *software*. Los métodos actuales son tan complejos que sólo se pueden aplicar en sistemas simples. Sin embargo, los sistemas actuales presentan una complejidad creciente debida al progreso de la tecnología. Por ello, es previsible una tendencia a la utilización de métodos formales que ayuden a comprobar las propiedades del diseño.

Seguridad en los Sistemas de Control por ordenador

Uno de los retos a afrontar en este campo es la verificación formal del *hardware* y *software*. Los métodos actuales son tan complejos que sólo se pueden aplicar en sistemas simples. Sin embargo, los sistemas actuales presentan una complejidad creciente debida al progreso de la tecnología. Por ello, es previsible una tendencia a la utilización de métodos formales que ayuden a comprobar las propiedades del diseño.

Ingeniería de *software* en los Sistemas de tiempo real

El abaratamiento del *hardware* y el incremento de la densidad de integración facilitan la realización de sistemas de tiempo real cada vez más complejos. Es de prever que esta tendencia continúe, lo que hace necesario disponer de métodos y herramientas adecuados para desarrollar sistemas de tiempo real complejos, teniendo en cuenta además que la dificultad de desarrollar este tipo de sistemas es mayor en el caso de sistemas convencionales. Esto se debe a que hay que considerar los requisitos temporales y fiabilidad, ya que los fallos en estos sistemas pueden causar cuantiosos daños materiales e incluso, en ocasiones, la pérdida de vidas humanas.

TÉCNICAS Y TECNOLOGÍAS RELACIONADAS CON LOS SISTEMAS DE TIEMPO REAL

Cuando se aborda el diseño y construcción de este tipo de sistemas, el conjunto de aspectos a tratar hace que en su desarrollo intervengan distintas disciplinas y, por tanto, diferentes campos profesionales. Por otro lado, todo hace pensar que en los sistemas del futuro convergerán una serie de tecnologías cuya evolución se debe tener en cuenta si se quiere hacer una previsión de cuáles serán las características más importantes de los sistemas empotrados y qué demandarán de este conjunto de tecnologías. A continuación se analiza el estado actual de las tecnologías involucradas y su previsible evolución en los próximos años.

Es claro que los diversos campos tienen interacciones fuertes entre sí y un cierto solapamiento que, lejos de resultar una característica negativa, puede enriquecer el proceso de la aplicación de dichas tecnologías en los sistemas del futuro. Algunos de estos campos son:

Algoritmos y arquitecturas para Control en tiempo real

Las aplicaciones de control automático actuales se caracterizan por su complejidad, por su necesidad de respuesta a eventos externos y por ser potencialmente distribuidas. Evidentemente, bajo estas circunstancias, un aspecto fundamental a tener en cuenta es la arquitectura *software* del sistema. Un buen diseño no sólo simplifica la construcción que satisfaga todos los requisitos sino que, además, permitirá que el sistema se adapte a nuevos requisitos o nuevas condiciones de servicio.

El enfoque en este campo es claramente hacia los sistemas de control empotrados. Por ello, dentro de este campo tópicos relevantes incluyen el coste, sencillez, tamaño, robustez, disponibilidad, capacidad de extensión, distribución en aras de una mayor tolerancia a fallos, etc.

Cada vez son más las aplicaciones que demandan un

Inteligencia artificial en el Control en tiempo real

La complejidad de las aplicaciones de sistemas de tiempo real del futuro hace pensar que será necesario emplear técnicas de inteligencia artificial para adaptar su comportamiento a los cambios del entorno, para aprender y emplear técnicas de toma de decisiones y aumentar tanto su autonomía como sus prestaciones. La utilización de sistemas expertos en tiempo real, la aplicación de conjuntos difusos y lógica difusa, la incorporación del conocimiento de operadores y diseñadores experimentados en una base de reglas son tal sólo algunos ejemplos de técnicas de inteligencia artificial que se emplean con éxito en aplicaciones actuales. Aunque estas técnicas ya se utilizan en muchos tipos de sistemas informáticos, la garantía de cumplimiento de los requisitos temporales presenta dificultades adicionales que no siempre se sabe resolver de manera adecuada. El desarrollo de técnicas que permitan compatibilizar los métodos de la inteligencia artificial con un comportamiento temporal predecible es un campo abierto de investigación.

Evidentemente, la conjunción de todas estas técnicas y tecnologías se aplicará al diseño y desarrollo de sistemas de tiempo real específicos para cada tipo de aplicación. Ahora bien, es claro que, de forma independiente a la aplicación específica, todo sistema de tiempo real debe poseer unas características básicas. En este sentido, es de prever que en breve plazo los sistemas de tiempo real constituirán una tecnología de base para desarrollar sistemas de control empotrados.

CAMPOS DE APLICACIÓN

Los sistemas de tiempo real que posean estas características básicas forman la base a partir de la que se podrán construir sistemas empotrados de aplicación específica en diferentes campos. Entre otros, cabe destacar los siguientes:

Transporte

Uno de los campos de aplicación más importantes de los sistemas de tiempo real ha sido tradicionalmente el control de los medios de transporte, como aviones, trenes, etc. Concretamente, entre los logros más interesantes alcanzados en este tipo de sistemas cabe destacar el de conseguir un funcionamiento totalmente autónomo. Esto ya es un hecho en algunos trenes con recorridos sencillos y velocidad limitada como los que circulan algunos aeropuertos o en algunas líneas de Metro. Obviamente, la complejidad es mayor en el caso de otros medios de transporte, como los aviones, trenes o automóviles. Los avances que se están produciendo en sistemas de navegación, sensores e inteligencia artificial permiten esperar un progreso notable en aplicaciones como el despegue, aterrizaje y navegación de aviones, o en el funcionamiento

automático de los sistemas de control y circulación de trenes.

Concretamente, tanto en EEUU como en Europa, existen actualmente diferentes proyectos de gran alcance e inversión enfocados a mejorar tanto los sistemas de navegación como las comunicaciones entre el piloto y el controlador del tráfico aéreo. Los resultados de estas investigaciones serán realidad a corto plazo y permitirán descongestionar el tráfico aéreo, objetivo principal hasta el 11 de septiembre del pasado año, ya que, a partir de entonces, la Seguridad ha pasado a ser el aspecto fundamental.

Los esfuerzos se están centrando en la mejora del sistema de posicionamiento global (GPS). Se están desarrollando potentes herramientas que permitirán mejorar la medida de la posición de la aeronave, con el consiguiente aumento de la seguridad y, simultáneamente, aliviando la congestión aérea. Entre otros, cabe destacar dos proyectos en esta línea que se basan en el procesamiento de los datos suministrados por el satélite GPS: los sistemas de aumento de área extensa (*wide area augmentation systems*) y de área local (*local area augmentation systems*). Con su ayuda, los pilotos obtendrán información precisa sobre la posición de los aviones cercanos y la suya propia, pudiéndose disminuir la separación entre pasillos aéreos y mejorando el aterrizaje basado en instrumentos.

El sistema de área extensa se utiliza para navegación en ruta mientras que, debido a su corto alcance, el de área local está pensado para operaciones en el área de la terminal, como maniobras de aproximación, aterrizaje y despegue. Ambos sistemas logran su precisión a través del GPS diferencial, una técnica que corrige la señal proporcionada por el GPS dando una precisión de 1 m (los receptores comerciales actuales ofrecen una precisión que varía entre los 20 y 30 m y durante el aterrizaje no resultan lo suficientemente precisos). Los sistemas de aumento utilizan diferentes estaciones terrestres de ubicación conocida para determinar la precisión y la integridad de los datos GPS utilizando la diferencia entre la información suministrada por el GPS y la situación conocida de las estaciones para calcular el factor de corrección. Con dicho factor el sistema de área extensa ofrece una precisión de 1 m. El sistema local también suministra una medida muy precisa pero de menor alcance (no mayor de 37 km alrededor del aeropuerto).

Otro de los transportes en el que se están realizando grandes avances es en el automóvil. Los programas de investigación y desarrollo de los fabricantes principales se están centrando en fabricar coches *inteligentes* con capacidad de reducir el número de estímulos a los que debe reaccionar el conductor, muy a menudo simultáneos. Incluso más, se pretende liberar al conductor de alguna de las tareas clásicas de la conducción, como frenar o mover el volante. Es decir, el objetivo es que estos sistemas inteli-

gentes ofrezcan al conductor la *información necesaria, de la forma correcta y en el instante adecuado*. Algunos de los fabricantes más significativos están desarrollando el control de cruceo adaptativo (ACC) que combina sensores basados en radar o láser, explora la carretera y actúa sobre el acelerador y el freno con el objetivo de mantener una distancia de seguridad entre vehículos establecida previamente. En este sentido, los adelantos en sensores y actuadores hacen prever que, para el final de esta década, los vehículos no sólo serán capaces de sustituir de forma periódica al conductor sino que también se encargarán de que el conductor no se vea desbordado por una avalancha de información proveniente de la carretera y de los dispositivos electrónicos del panel o, por ejemplo, evitar que el conductor se duerma.

Para realizar estas tareas como mantener la distancia de seguridad o avisar al conductor de que no está prestando la suficiente atención a la conducción, serán necesarios sensores muy avanzados que monitoricen, por ejemplo, los movimientos del conductor, el movimiento de sus ojos y su respiración. Asimismo, se obtendrá información del número y velocidad de movimientos de volante y todos los datos serán procesados por algoritmos basados en redes neuronales. La reacción ante una detección de pérdida de atención podría ser hacer vibrar el asiento, abrir la ventana para que entre aire fresco o simplemente indicarle que aparque en el arcén. Otros tipos de sensores sobre los que se está trabajando son los de detección de colisión frontal, lateral o trasera, así como los de detección de lluvia, hielo o nieve, o presión inadecuada de las ruedas.

Por último, hay que hacer notar que toda la información que captan los sensores *viaja* por potentes sistemas de comunicación tanto internos como con el exterior, con otros vehículos y con centros de control donde, por ejemplo, se podrá obtener información en tiempo real sobre la previsión del tiempo o colisiones producidas en la ruta. Esto permitirá avisar con suficiente antelación ciertas maniobras y adaptar el comportamiento de los vehículos a las circunstancias del tráfico.

Aplicaciones médicas

La aplicación de las nuevas tecnologías en Medicina ha producido resultados espectaculares en los últimos tiempos. En particular, la telemedicina permite exportar al resto del mundo la experiencia y conocimiento de los especialistas sin necesidad de desplazarlos. En septiembre

de 2001, el éxito de la cirugía transatlántica mediante control remoto demostró que, con el equipamiento adecuado, es posible llevar a cabo y enseñar técnicas avanzadas a miles de kilómetros.

Recientes estudios de Naciones Unidas citan un parque de 1.600 robots médicos en el mundo y se espera la instalación de 4.800 más en los próximos cuatro años.

La telemedicina comenzó su andadura en los años 60 cuando la NASA requirió la monitorización de las señales vitales de los astronautas que se encontraban en órbita. Probablemente como consecuencia de aquellos esfuerzos, hoy una de las mayores aplicaciones de los adelantos tecnológicos se encuentra en las Unidades de Cuidados Intensivos (UCI), donde todos los datos sobre los pacientes están disponibles electrónicamente y la supervisión del experto se puede realizar remotamente gracias a las telecomunicaciones. Una vez que se generalicen, estos métodos permitirán disminuir la mortandad y la estancia media en UCI, aumentando el número de pacientes que pueden ser supervisados por especialista y, por tanto, disminuyendo los costes.

La figura 4 representa de forma esquemática el funcionamiento de una UCI electrónica. En la Unidad de Cuidados Central, los especialistas monitorizan las UCI remotas.

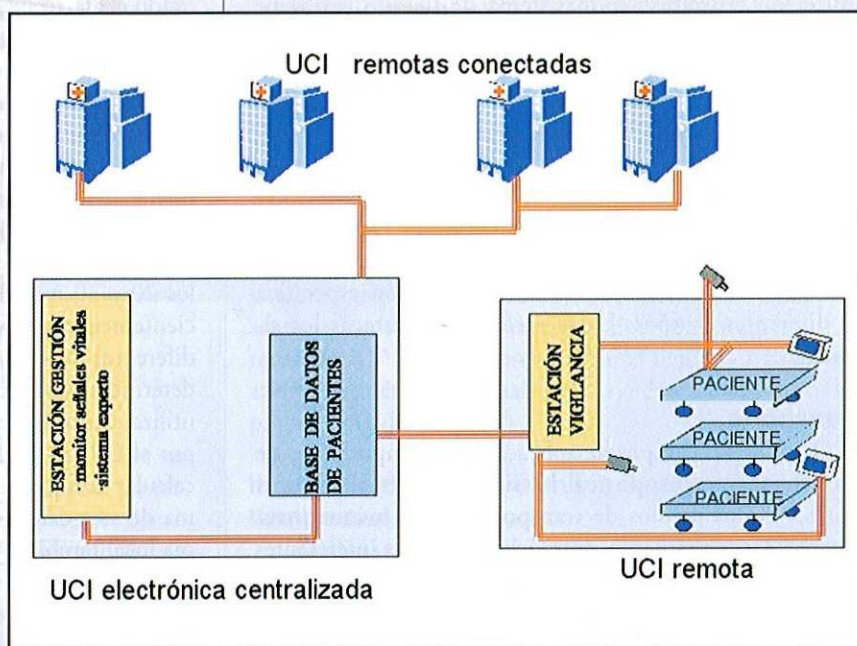


Figura 4. Esquema de Unidad de Cuidados Intensivos electrónica.

En las UCI remotas, los datos de cada paciente se transmiten a través de vídeo, audio y equipamiento de captación de señales vitales a la estación local y a la UCI electrónica, donde están los especialistas. Los datos relativos a cada paciente se almacenan allí y se analizan continuamente mediante *software* de ayuda al especialista (por

ejemplo, sistemas expertos). La información sobre un paciente es información restringida. Por ello, dentro del hospital circula sobre una red de área local virtual dedicada y, allí es encriptada antes de ser enviada a la UCI electrónica. En ésta se decodifica y circula por otra red local virtual dedicada. Si se interrumpe la línea de conexión, el sistema conmuta automáticamente a una línea RSDI (Red Digital de Servicios Integrados) de seguridad.

Toda la tecnología necesaria para llevar a cabo este esquema ya está disponible en la actualidad.

Fabricación automática

Este es uno de los campos de aplicación en los que más rápidamente se implantaron sistemas de tiempo real. La utilización de las tecnologías mencionadas en la industria de la producción, ha permitido la puesta en marcha de fábricas totalmente automatizadas, en las que un conjunto de robots y máquinas especiales se encargan de fabricar los productos con mínima intervención de operadores. La capacidad de adaptación y re-configuración de estos componentes permite cambiar las características del producto fabricado en un tiempo muy reducido. De esta manera es posible aumentar la flexibilidad de estas instalaciones e, incluso, desarrollar productos a la carta.

Por otra parte, con los avances alcanzados en sistemas de comunicación, las diferentes secciones de una fábrica pueden estar conectadas entre sí y a los centros de planificación mundiales de la compañía. Esto permite ajustar a la demanda en cada instante la cantidad y el tipo de productos a fabricar.

Aplicaciones domésticas

Un campo de aplicación en el que se está extendiendo la utilización de sistemas empotrados y que previsiblemente en breve plazo aumente de forma espectacular, es el del hogar. Actualmente se trabaja en redes de comunicación para el hogar, cuyo objetivo es interconectar todos los dispositivos de uso común. Esta meta ya se ha alcanzado y su aplicación generalizada se puede conseguir en un periodo de tiempo relativamente corto. No parece descabellado pensar en la conexión de cámaras de seguridad o de vigilancia del cuarto de los niños que se conectan a una red local y que nos permitan observar lo que captan desde el televisor digital. De la misma manera, parece factible interconectar todos los elementos de la casa, de forma que se nos muestre un mensaje de aviso en la televisión cuando termine la lavadora o cuando el frigorífico solicite la revisión de las mil horas. En este sentido, existen ya productos comerciales basados en comunicaciones inalámbricas que permiten la conectividad de un conjunto muy amplio de dispositivos, desde la agenda electrónica, el ordenador portátil o el teléfono portátil hasta los electrodomésticos más comunes como el horno, el frigorífico, el sistema de aire acondicionado, etc.

Este panorama ofrecerá electrodomésticos que, gracias a su conectividad, resultan ser lo suficientemente inteligentes como para cuidar de sí mismos, avisando de una avería o recordando que necesitan pasar la revisión de las mil horas, así como para cuidar de las personas que conviven en el hogar, por ejemplo, detectando inundaciones y cortando de forma automática el suministro de agua, o detectando humos y/o gases o la presencia de intrusos y activando la alarma y avisando al centro de control.

Pero, de forma simultánea, además de estas funciones que aumentan la seguridad en el hogar, la interconexión de todos los dispositivos puede aumentar el confort. Por ejemplo, permitiendo controlar desde un único mando y tanto de forma local como remota (a través de redes de comunicación externa) todos los electrodomésticos de la casa.

Bluetooth y la norma IEEE 802.11 son dos de los protocolos existentes para comunicaciones inalámbricas del que ya disponen diferentes dispositivos comerciales (más información sobre tecnologías inalámbricas en <http://www.palowireless.com>). En la última edición de *Comdex*, la principal Feria mundial de las tecnologías de la información y de las comunicaciones, *Microsoft* presentó el prototipo de "ordenador en pastilla" (PC-tablet) para uso fundamentalmente doméstico que pretende ser, entre otras cosas, una especie de centro de mando único que permitirá controlar todos los dispositivos de un hogar. Incluye la capacidad de recepción de órdenes por voz, mediante comunicaciones inalámbricas, así como reconocimiento de la escritura de su dueño. Estas notas manuscritas se pueden almacenar como gráficos o como un fichero de texto.

Quizás el único problema que estos avances puedan generar (si no se utilizan correctamente) es un aumento del estrés si, cuando vamos de la oficina al coche o del coche a casa o mientras nos desplazamos al aeropuerto en taxi, tenemos acceso ininterrumpido a ficheros, contactos y a la red.

Por último, otro avance significativo, que es de inmediata aplicación, son los robots autónomos cuya aplicación en el hogar podría dar lugar a la eliminación de toda esa serie de labores tediosas y necesarias que hay que realizar a diario.

CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta la velocidad con que los avances tecnológicos han cambiado nuestras vidas durante los últimos años, es difícil predecir cómo será este cambio durante los próximos 25 años. Hemos intentado aportar una pequeña idea de lo que podemos esperar, aunque muy probablemente o bien la previsión se quede corta o bien futuras innovaciones tecnológicas cambien radicalmente este panorama. ■