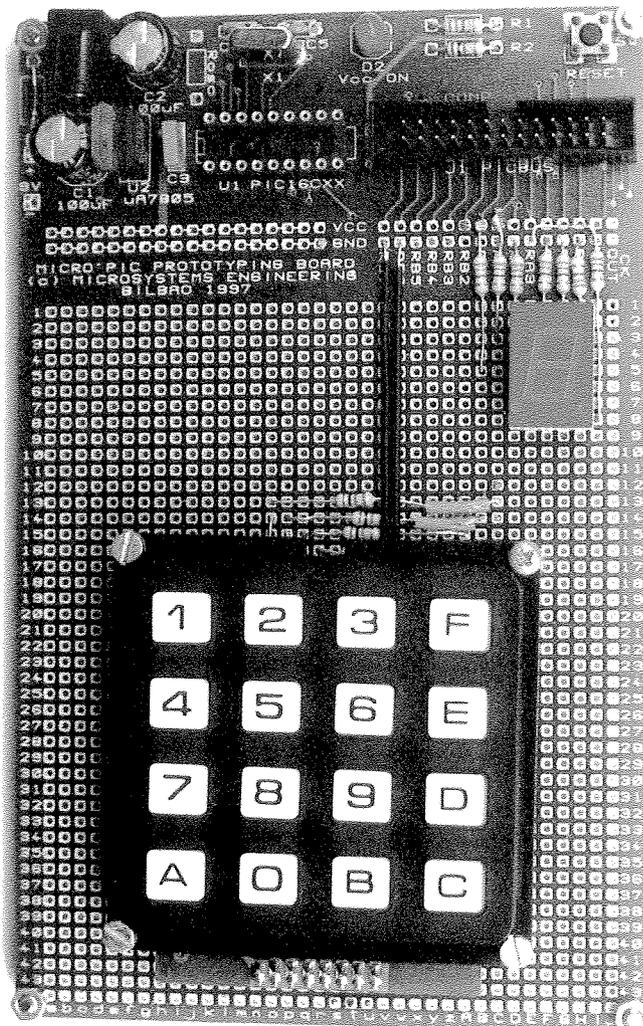


# EL MICROCONTROLADOR DEL SIGLO XXI



**Figura 1.- Tarjeta con un prototipo de una aplicación controlada por microcontrolador. El circuito integrado contiene un pequeño computador que gobierna los periféricos de acuerdo con el programa grabado en su memoria. (Cortesía de Microsystems Engineering)**

## La próxima revolución industrial

La mayoría de los productos que se fabricarán en el mundo en un futuro no muy lejano contendrán un computador que les dotará de un cierto grado de "inteligencia" y que propiciará, más adelante, su intercomunicación y control global.

Los avances de la tecnología electrónica han hecho posible la construcción de un

orientado a gobernar la tarea del elemento en el que se halla "incrustado".

Disponer de un computador (por limitado que sea) en tan reducido volumen y por un par de dólares, ha permitido incluirle como elemento clave en el control de cada vez más sistemas, máquinas y productos. **Dataquest** ha realizado un estudio en el que se predice que cada hogar americano dispondrá de 250 microcontroladores en el año 2000. Electrodomésticos de to-

do tipo (equipos audiovisuales, telefonía y comunicaciones, alarmas, computadores, etc.) contendrán uno o varios microcontroladores dentro de dos o tres años.

El microcontrolador es un circuito integrado que contiene un microcomputador con todos sus elementos: Procesador, Memoria para el programa, Memoria para los datos, líneas de E/S, canales de comunicación, convertidores A/C y C/A, temporizadores y un conjunto de recursos complementarios que le proporcionan una autonomía total. Sus patitas sirven, esencialmente, para acoplar el microcomputador con los periféricos a controlar. Es un sistema cerrado

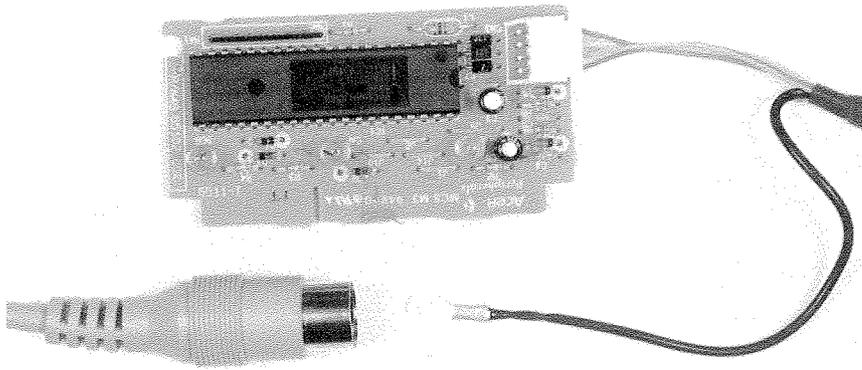
do tipo (equipos audiovisuales, telefonía y comunicaciones, alarmas, computadores, etc.) contendrán uno o varios microcontroladores dentro de dos o tres años.

El microcontrolador ha marcado un hito en la historia de la Informática y la Electrónica aplicadas. Hasta comienzos de la década actual, los dispositivos programables encargados de controlar las aplicaciones eran *sistemas abiertos*. En un circuito integrado sólo se lograba construir el procesador: era el *microprocesador*. Sus patitas dejaban disponibles en el exterior los buses de direcciones de datos y de control, y en ellos se *colgaban* otros circuitos integrados que contenían las memorias, los temporizadores, los controladores de periféricos, etc., que se precisaban para implementar el computador adecuado a la aplicación. Al final, el prototipo consistía en una tarjeta de circuito impreso que soportaba diversos circuitos integrados y componentes auxiliares. El diseñador debía seleccionar el modelo de microprocesador a usar, los elementos complementarios y confeccionar el programa de trabajo.

Los últimos años del siglo XX están marcados por un incremento continuo en la utilización de microcontroladores para el mando de todo tipo de elementos. El aumento del consumo es superior al 30% anual con clara tendencia alcista.

Pero estamos en el nacimiento de una nueva era de diseño y la primera década del siglo XXI contemplará la explosión de los microcontroladores. El uso masivo de estos circuitos integrados, inteligentes y programados, inundará al mundo con nuevos productos y convulsionará el mercado dando origen a una mejora sustancial de la calidad de vida de los humanos.

**José M<sup>a</sup> Angulo Usategui**  
Dr. Ingeniero Industrial.  
(ESIDE)  
**Ignacio Angulo Martínez**  
Lic. en Informática  
(MicroSystems Engineering)



**Figura 2.- Dentro del teclado de cada computador existe una tarjeta, basada en un microcontrolador, que detecta las teclas pulsadas y envía su código a la Unidad Central para su procesamiento**

Con el microcontrolador variarán la estrategia de diseño y la funcionalidad de multitud de aplicaciones, lo que requerirá numerosos ingenieros especializados en arquitecturas, lenguajes y herramientas de desarrollo especializadas.

Las previsiones apuntan a un mercado de 20.100 millones de dólares en 1999, el cual quedará distribuido, aproximadamente, como se refleja en la figura 5.

### La oferta y la demanda

Desde 1978, **Intel** disponía de la familia de microcontroladores de 8 bits **MCS-48**, posteriormente sustituida por la **MCS-51** con arquitectura y prestaciones mejoradas y que, gracias a su modelo 8051, ha conseguido convertirse en un estándar de la industria. Recientemente el mismo fabricante ha comercializado la familia **MCS-96** con arquitectura de 16 bits.

Ante la creciente importancia económica del mercado y las expectativas de futuro, los principales fabricantes de circuitos integrados se involucraron en la oferta de modelos de microcontroladores basados, en muchas ocasiones, en las arquitecturas y características de los microprocesadores que hasta entonces vendían. **Motorola, SGS-Thomson, Hitachi, Siemens, Philips, Microchip, Texas** y otras importantes empresas se fueron introduciendo en el apetecible mercado de los microcontroladores.

El limitado rendimiento de los microcontroladores de 4 bits dio paso a los de 8 bits, que en estos momentos acaparan el mayor porcentaje del mercado mundial. Por otra parte, los microcontroladores de 16 bits apenas se emplean en las aplicaciones típicas, logrando ventas ligeramente superiores al 10% a las correspondientes a los de 8 bits. En la figura 5 se muestra el número de microcontroladores de cada tipo vendidos en los primeros años de la década de los 90.

Una parte del mercado de los microcontroladores de 8 bits está cautiva por la dependencia de los clientes con los fabricantes debido al coste que supone cambiar de arquitecturas y lenguajes, así como de las herramientas de desarrollo. Sin embargo, el mercado es muy agresivo y cada vez existe mayor número de usuarios y diseñadores que adoptan nuevas marcas y familias.

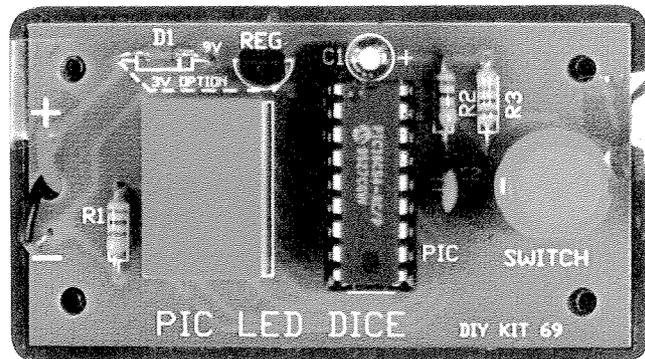
Es frecuente la necesidad de adquirir costosas y complicadas herramientas para hacer desarrollos con determinados microcontroladores. Para romper las dependencias con los grandes gigantes, otras empre-

sas de menor envergadura ofrecen modelos baratos, veloces y más potentes, al mismo tiempo que ponen a disposición de los proyectistas herramientas muy económicas e incluso libres de costes. Este puede ser el caso de **Microchip** (fabricante de la familia de microcontroladores PIC), que, ocupando el puesto 20º en la clasificación, ha conseguido en cuatro años codearse con **Intel** y **Motorola**.

### ¿Cuáles han sido los motivos del éxito de Microchip?

El sorprendente ascenso de esta empresa americana se debe, principalmente, a los siguientes motivos :

- \* Producto avanzado técnicamente y muy veloz.
- \* Nueva arquitectura y repertorio de instrucciones (RISC)
- \* Modelos baratos y fáciles de encontrar.
- \* Excelente documentación técnica y atención a los usuarios.
- \* Herramientas de desarrollo *software* que se pueden obtener sin cargo en los dis-

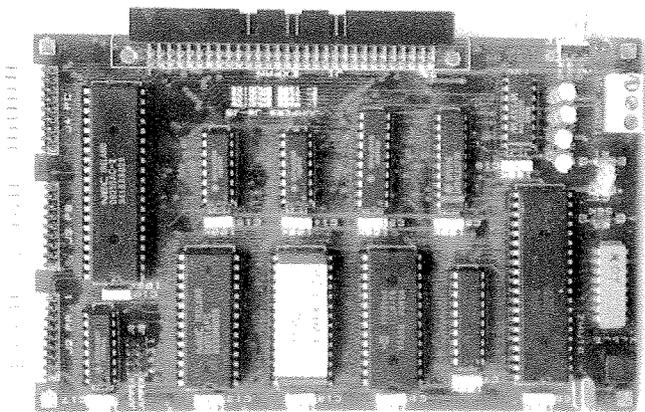


**Figura 3.- Fotografía del juego "Dado electrónico" en el que el programa grabado en un microcontrolador ilumina un número aleatorio en la pantalla de siete segmentos**

tribuidores, o bien, recoger a través de Internet.

\* Herramientas de desarrollo *hardware* (grabadores, depuradores y emuladores), diseñadas por numerosas empresas a precios muy razonables y con excelentes características.

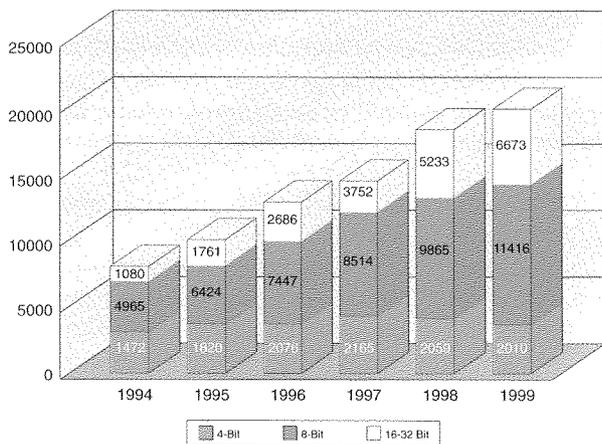
La Ingeniería bilbaina **Microsystems Engineering**, además de estar sumida en una creciente realización de proyectos ba-



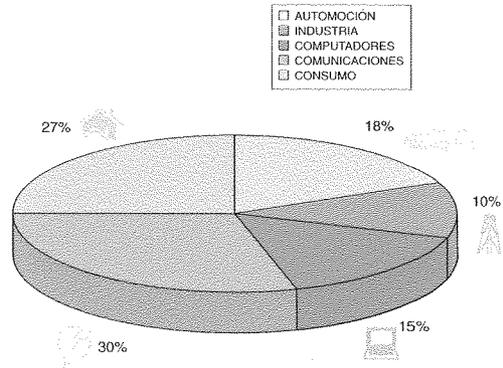
**Figura 4.- Tarjeta que contiene un microcomputador basado en un microprocesador 8085. Un microcontrolador es un circuito integrado que contiene todo el conjunto de elementos que se aprecian en la fotografía. (Cortesía de Microsystems Engineering)**

sados en los microcontroladores PIC para sus clientes, ha desarrollado una gama de herramientas (tanto *hardware* como *software*), que utiliza en su trabajo y que comercializa para facilitar enormemente todas las fases del diseño de proyectos. Destaca el sistema de desarrollo MicroPIC Trainer, que, por un precio cercano a los 100 dólares, permite depurar los programas, simularlos, grabarlos en la memoria del microcontrolador y emularlos en tiempo real, utilizando los diversos periféricos que lleva incorporados (pantalla LCD, presentador de siete segmentos, LEDs, interruptores, potenciómetros, etc). Figura 7.

Aunque la familia PIC tiene cierto *ánge*l para los diseñadores, va bien arropada



**Figura 6.- Resultados de las ventas mundiales de microcontroladores expresadas en millones de dólares**



**Figura 5.- Distribución de las aplicaciones de los microcontroladores. El automóvil, el televisor, el video, el teléfono móvil y los periféricos típicos de los computadores están siendo los productos predilectos para ser controlados con microcontroladores**

por excelentes prestaciones que le ayudan a escalar los primeros puestos entre los fabricantes con las mayores ventas mundiales. Esta familia está formada por casi un centenar de modelos de microcontroladores de 8 bits, desde los "enanos", que sólo tienen ocho patitas y cuestan un par de dólares, hasta los de la gama alta, con 64 patitas y enormes y abundantes recursos de memoria, comunicaciones y E/S.

### La importancia de trabajar con las "estrellas"

Cuando se trabaja con microcontroladores, *acertar es ganar*. Posiblemente, las empresas y los profesionales que siguen anclados en los modelos de siempre estén satisfechos con los rendimientos que obtienen pero el hecho de desconocer otros mejores les hace perder oportunidades y clientes ante el futuro.

Trabajar con las "estrellas" significa disponer de cantidad de ayudas que no suelen tener los demás. Vender más y ser más usado no

sólo hace suponer que son mejores, sino que el mayor interés mundial permite elegir entre un gran número de ayudas y recursos muy competitivos *hardware* y *software* de cuantos se hallan involucrados. Librerías de rutinas, bibliografía, herramientas de desarrollo, foros de consultas, experiencia en los proyectos desarrollados, etc., son algunas de las ventajas añadidas a quienes trabajen con los productos más interesantes del mercado.

En el futuro cercano (centrado en los primeros años del siglo XXI) no existe una estrella clara y deslumbrante. Hay varias alternativas y, entre ellas, una que puede significar un cambio drástico. Atisbar ese horizonte, con el ánimo de predecir la nueva "estrella", es un reto crítico que implica a muchas partes de la Sociedad y que puede ser determinante para las empresas del sector.

### Enanos contra gigantes

En el momento actual hay dos tendencias que comienzan a despuntar con mucha fuerza y argumentos. No obstante, hoy por hoy, la mayoría de los diseños lo acaparan los microcontroladores convencionales de 8 bits con cerca de un 60% sobre el total.

Una línea de realizaciones que destaca con rabiosa actualidad es la basada en los microcontroladores "enanos" apodando así

a los de 8 bits encapsulados con muy pocas patitas, generalmente ocho. Por ejemplo, en 1997 la familia PIC tenía ocho modelos de microcontroladores de ocho patitas y su número crece cada cuatrimestre. Figura 8.

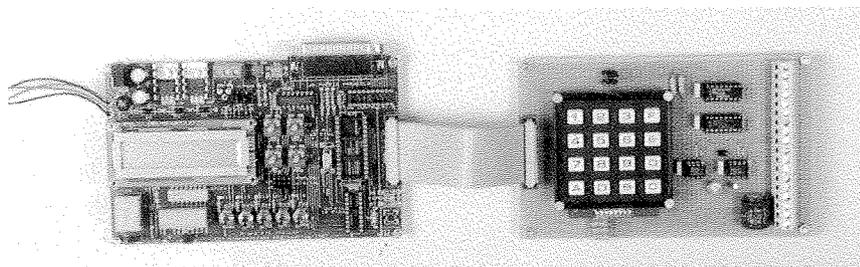
### ¿Qué tienen los “enanos”, que tanto atraen?

Precio excelente, volumen y conexio-nado mínimos, arquitectura y repertorio de instrucciones muy sencillo y los recursos suficientes (sabiéndolos optimizar) para resolver muchísimas aplicaciones, que, no por ser simples dejan de ser muy comerciales.

Estas prestaciones están animando a nuevos fabricantes a intentar incrustarlos en sus productos para mejorar su control y añadir gotas de “inteligencia programada” que cambian la imagen y la funcionalidad.

La otra línea de futuro corresponde a los microcontroladores de 16 bits. Existe un incremento en el número de aplicaciones que no pueden ser resueltas por los de 8 bits, dadas sus limitaciones.

Aunque el número de microcontroladores de 16 bits vendidos no supera el 15% de los de 8 bits, la posibilidad de disponer de mayor potencia y rendimiento, así como la seguridad en el acomodo



**Figura 7.- Fotografía de una aplicación con el sistema de desarrollo MicroPIC Trainer, capaz de simular, depurar, grabar y emular proyectos con microcontroladores PIC**

de sus precios a medida que aumenta la demanda, hacen prever un brillante futuro para estos “gigantes”.

Se analizan los tres **obstáculos** fundamentales que detienen la expansión de los microcontroladores de 16 bits:

- 1º. Son más caros y más voluminosos.
- 2º. Disponen de arquitecturas y repertorios de instrucciones más complejas y difíciles de dominar.
- 3º. Las herramientas de desarrollo son más complicadas y de mayor precio.

Las **novedades** que aportan estos potentes microcontroladores monopastilla les hacen imprescindibles en ciertas aplicaciones, siendo las más importantes:

- 1ª. Arquitecturas y repertorios de instrucciones orientadas al empleo de los lenguajes de alto nivel, como el C. Esto

supone una importante reducción en el tiempo dedicado a la programación y la portabilidad de los programas.

- 2ª. Ampliación del campo de direccionamiento de la memoria. Los requerimientos de los lenguajes de alto nivel implican mayor capacidad de memoria, pasando del rango máximo de 64 kB de los microcontroladores de 8 bits al de los 16 MB de los de 16 bits.

- 3ª. Multitarea. Los microcontroladores avanzados de 16 bits pueden ejecutar varias tareas simultáneamente sin interferencias. Permiten utilizar núcleos y sistemas operativos en tiempo real, que organizan la ejecución de las diferentes tareas.

La historia puede repetirse a comienzos del siglo XXI y, lo mismo que ocurrió en la década de los 80 en la que los microcontroladores de 4 bits fueron desplazados por los de 8 bits, éstos pueden ser sustituidos progresivamente por los de 16 bits.

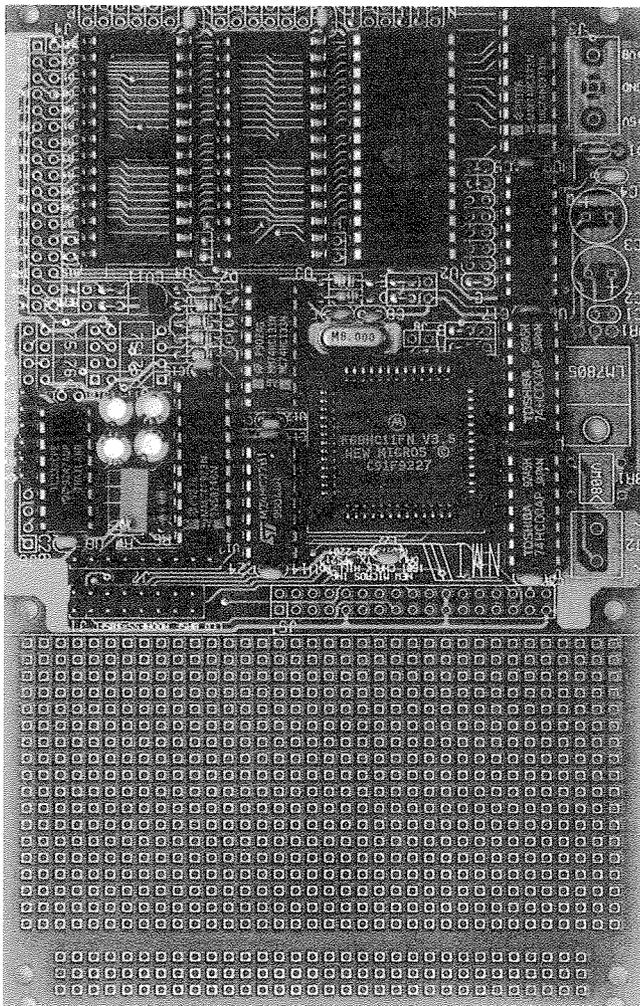
Algunas aplicaciones ambiciosas, dentro del procesamiento en tiempo real, gobernadas por los acontecimientos externos, superan la barrera de las posibilidades de los micros de 8 bits y exigen los de 16. Esto sucede en sectores tan importantes como las comunicaciones y el control industrial. (Figura 9)

### Un proyecto para investigar el futuro

Los autores de este artículo están involucrados en el proyecto titulado Microcontrolador 2000 destinado a reali-

|           | RELOJ                              | MEMORIA                      | PERIF   | CARACTERÍSTICAS |     |       |   |     |     |   |
|-----------|------------------------------------|------------------------------|---------|-----------------|-----|-------|---|-----|-----|---|
|           | FRECUENCIA MÁXIMA DE TRABAJO (MHz) | MEMORIA DE PROGRAMAS         |         |                 |     |       |   |     |     |   |
|           | EEPROM                             | MEMORIA RAM DE DATOS (bytes) |         |                 |     |       |   |     |     |   |
|           | FLASH                              | EEPROM DE DATOS (bytes)      |         |                 |     |       |   |     |     |   |
|           |                                    | TEMPORIZADORES               |         |                 |     |       |   |     |     |   |
|           |                                    | PAUTILLAS DE E/S             |         |                 |     |       |   |     |     |   |
|           |                                    | ADC 8 BITS                   |         |                 |     |       |   |     |     |   |
|           |                                    | PUERTO SERIE                 |         |                 |     |       |   |     |     |   |
|           |                                    | ENCAPULADOS                  |         |                 |     |       |   |     |     |   |
| PIC12C508 | 4                                  | 512x12                       | ...     | 25              | ... | 1+WDT | 6 | ... | ... | 8 patitas P, 8 patitas SM, 8 patitas JW |
| PIC12C509 | 4                                  | 1024x12                      | ...     | 41              | ... | 1+WDT | 6 | ... | ... | 8 patitas P, 8 patitas SM, 8 patitas JW |
| PIC12C671 | 10                                 | 1024x14                      | ...     | 128             | ... | 1+WDT | 6 | 4   | ... | 8 patitas P, 8 patitas SM, 8 patitas JW |
| PIC12C672 | 10                                 | 2048x14                      | ...     | 128             | ... | 1+WDT | 6 | 4   | ... | 8 patitas P, 8 patitas SM, 8 patitas JW |
| PIC12F675 | 10                                 | ...                          | 1024x14 | 128             | 16  | 1+WDT | 6 | 4   | ... | 8 patitas P, 8 patitas SM               |
| PIC12F676 | 10                                 | ...                          | 2048x14 | 128             | 16  | 1+WDT | 6 | 4   | ... | 8 patitas P, 8 patitas SM               |
| PIC12F680 | 10                                 | ...                          | 512x14  | 128             | 16  | 1+WDT | 6 | ... | SSI | 8 patitas P, 8 patitas SM               |
| PIC12F681 | 10                                 | ...                          | 1024x14 | 128             | 16  | 1+WDT | 6 | ... | SSI | 8 patitas P, 8 patitas SM               |

**Figura 8.- Características fundamentales de los ocho modelos de microcontroladores “enanos” en la familia PIC**



**Figura 9. - Fotografía de un sistema basado en un potente microcontrolador de 16 bits de Motorola**

zar un análisis de la situación actual del mercado de los microcontroladores para proponer el fabricante y el modelo que más posibilidades tengan de ocupar el puesto de las "estrellas" a comienzos del siglo XXI.

Como se ha expuesto, los gigantes y los enanos están librando una encarnizada batalla que puede conducir a los fabricantes a construir modelos de 8 bits perfeccionados con pocas patitas y muchas posibilidades, o bien, modelos de 16 bits con recursos de última generación que amplíen el campo de las aplicaciones y (con la bajada de precios previsible y la ampliación de modelos) pasen a convertirse en los componentes estándar.

Acertar en esta previsión puede suponer innumerables **ventajas** en varios

sectores claves de la Sociedad, entre las que destacan :

- **La Universidad y la Enseñanza Profesional:** Preparar los programas adecuados de Teoría y Prácticas de las asignaturas que cursarán los alumnos relacionadas con este tema supone un notable incremento en el valor añadido en los profesionales del futuro, que redundará favorablemente en la solución de su situación laboral.

- **Las Ingenierías:** Conocer con antelación los modelos de microcontroladores que mejor van a responder a los proyectos del mercado conduce a una preparación técnica previa (en cuanto a personal y nuevas herramientas), que ayudará a catapultar al liderazgo a las Ingenierías que se hallen preparadas.

- **Editoriales :** El éxito comercial y el prestigio pueden acompañar a las Editoriales que tengan disponibles en el momento preciso los libros especializados que recojan los fundamentos teóricos y prácticos sobre los dispositivos que serán de obligado conocimiento en la Escuelas de Ingeniería, Centros de Formación Profesional, técnicos y público en general.

Vislumbrar el camino en el futuro cercano redundará beneficiosamente en todas las empresas que fabriquen productos con microcontroladores incrusta-

dos, que les permitirá contemplar las posibilidades que obtendrán con los nuevos componentes para sus nuevos proyectos.

El Departamento de Arquitectura de Computadores de **ESIDE** (Universidad de Deusto), la Ingeniería **Microsystems Engineering** y, probablemente, la **Editorial ITP Paraninfo** participan en el proyecto Microcontrolador'2000, que intenta investigar cuál será el microcontrolador estrella en los comienzos del siglo XXI.

### Agradecimientos

Agradecemos la valiosa colaboración prestada por **Begoña García Zapirain**, Ingeniera de Telecomunicaciones y **Susana Romero Yesa**, Lic. en Informática, ambas Profesoras de ESIDE, en la preparación de este trabajo.

### Bibliografía

1. "Microprocesadores y microcontroladores 8085, MCS-51 y ST-6". **Angulo, José M<sup>a</sup>**. Editorial ITP Paraninfo, 1993.
2. "Microcontroladores PIC. La solución en un chip". **Angulo, José M<sup>a</sup>; Martín, Eugenio y Angulo, Ignacio**. Editorial ITP Paraninfo, 1998.
3. "Manual de usuario del sistema de desarrollo MicroPIC Trainer". **Microsystems Engineering**. General Concha, 39. 48012 Bilbao. 1998.
4. "Microcontroladores. Migración hacia los 16 bits", **Mike Thompson**, Mundo Electrónico, marzo. 1998.
5. "Embedded Microcontrollers". **Microchip**, 1998.
6. Direcciones Internet relacionadas con los microcontroladores :  
<http://www.microchip.com>  
<http://www.arrakis.es/~msyseng>  
<http://www.parallax.com> ■