

# Las nuevas pantallas planas

**OPTOELECTRÓNICA.** La Sociedad de la Información del siglo XXI estará sustentada por la proliferación de dispositivos de presentación de alta calidad. Cada vez que se presenta una estampa o decorado que pretende aparentar un aire futurista, invariablemente surge todo tipo de visualizadores -pantallas murales, cuadros animados, ambientes virtuales- como parte integrante del escenario.

**XABIER QUINTANA ARREGUI(\*)**, **COVADONGA RODRIGO SAN JUAN(\*\*)** y **JOSÉ MANUEL OTÓN(\*)**

(\*) GRUPO DE CRISTALES LÍQUIDOS (CLIQ), DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA FOTÓNICA DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

(\*\*) DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INFORMÁTICA DE LA UNIVERSIDAD ANTONIO NEBRIJA DE MADRID.

Lo cierto es que tales dispositivos de presentación no están lejos de incorporarse a escenarios actuales: al menos, resulta tecnológicamente factible la realización de estos entornos. Así, se pueden encontrar pantallas que recreen escenas tridimensionales [1], o que soporten la intemperie, o que se puedan emplear con luz diurna directa, o tal vez que posean un ángulo de observación hemisférico. Dentro de este marco, las pantallas planas adquieren cada día un mayor protagonismo.

A lo largo del trabajo se pretende hacer un breve recorrido por las distintas tecnologías de pantallas planas, haciendo especial énfasis en las de gama alta, bien sean de visión directa o proyección. Antes de entrar en detalles técnicos, sin embargo, parece apropiado realizar un breve repaso al estado actual y trasfondo económico de este mercado.

## EL MERCADO MUNDIAL DE PANTALLAS

En una oficina u hogar promedio pueden encontrarse, en la actualidad, no menos de 10-12 dispositivos de presentación, algunos de ellos de apreciable calidad (por ejemplo, pantallas de videocámaras, oculares de máquinas fotográficas, juegos de vídeo, proyectores, etc.). La presencia ubicua de visualizadores se ha realizado de forma paulatina, a medida que han estado disponibles, por tecnología y precio, pantallas que pudiesen cubrir esa o aquella área de aplicación. A su vez, el desarrollo de las diferentes tecnologías de panta-

llas y visualizadores se ha visto lógicamente estimulada por la identificación de aplicaciones que los demandasen.

Dentro de las pantallas se hace una diferenciación fundamental entre las pantallas **planas** y las que no lo son. Entre estas últimas, el máximo exponente son los **tubos de rayos catódicos (CRT)**, venerable tecnología cuya pervivencia en el mercado está garantizada por muchos años, a pesar de todas las predicciones en contra [2]. Lo cierto es que se prevé aún un ligero aumento de este sector, en tanto que el crecimiento esperado de las pantallas planas (conocidas como FPD, flat panel displays) es mucho más acusado (figura 1). La igualación de ambos mercados no se espera antes del año 2005.

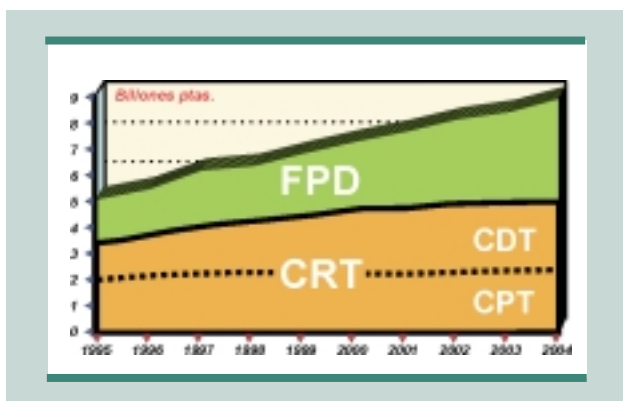
## EL MERCADO DE LAS PANTALLAS PLANAS

La composición del mercado FPD ha variado sustancialmente en los últimos años. Las pantallas planas se han transformado en elementos comunes, y a la vez se han especializado para dar servicio a grupos de aplicaciones específicos, cuidando obviamente aquéllos de mayor volumen y de mayor crecimiento potencial.

Si se observa la figura 2, se puede comprobar que, exceptuando el mercado de ordenadores, que por sí sólo supera a todos los demás juntos, existe un cierto número de sectores en los que se aplican pantallas, cuyas cuotas de mercado son semejantes. Tales sectores pueden tener especificaciones y requerimientos muy diferentes, lo que justifica la pervivencia marginal de una serie de tecnologías **emisivas** y **pasivas** (tabla 1) que, aunque carentes de la versatilidad necesaria para competir en mercados distintos, pueden resultar idóneos para una aplicación específica.

La distribución del mercado entre las tecnologías de la tabla es muy desigual. Más de las tres cuartas partes del mismo están en manos

Figura 1. Mercado mundial de pantallas. FPD: Pantallas planas. CDT y CPT son respectivamente monitores y televisores domésticos de rayos catódicos.



**PANTALLAS PLANAS.**

de los fabricantes de pantallas de **crystal líquido**, en buena parte a causa de su dominio absoluto del sector de ordenadores portátiles. Dentro de cinco años se espera que este dominio se haya incrementado aún más. Ya dentro de las pantallas emisivas, la segunda tecnología en importancia es el **plasma**, prácticamente desconocida en la actualidad, pero con enormes expectativas de crecimiento a corto plazo. El resto son tecnologías que encuentran aplicación en determinados nichos, pero carecen de peso específico en el conjunto del mercado.

**EL MERCADO DE PANTALLAS DE CRISTAL LÍQUIDO**

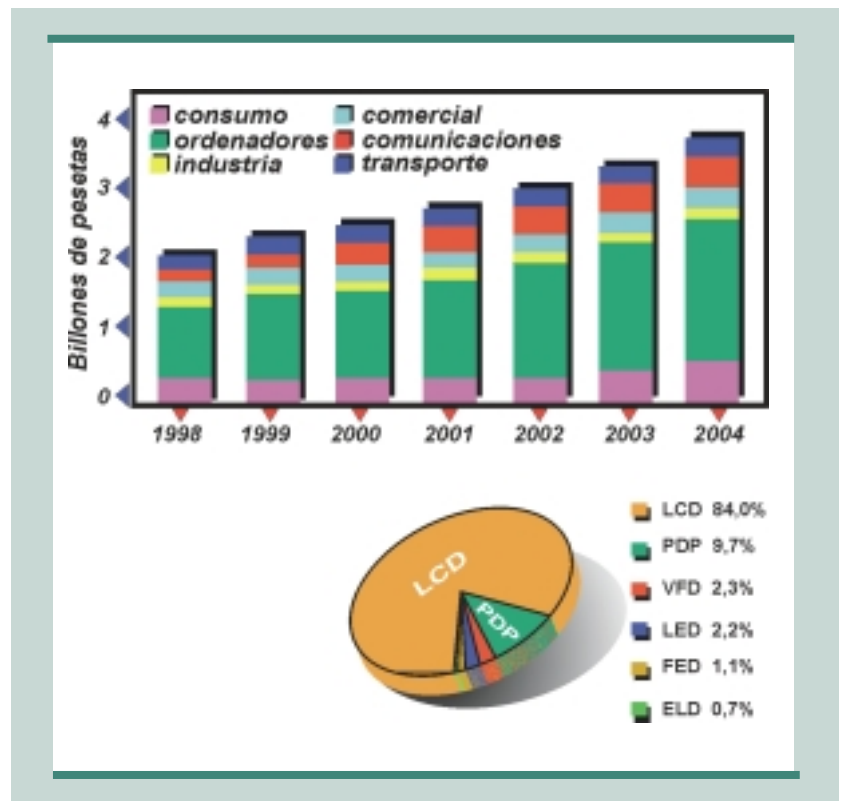
Las pantallas de cristal líquido (LCD) son indiscutiblemente líderes entre las tecnologías de pantallas planas. El gran protagonista de este liderazgo son las **pantallas de matriz activa** (AM-TFT). En los dos o tres últimos años, los fabricantes, sobre todo del Lejano Oriente, han conseguido salir del impasse producido por la altísima tasa de fallos en producción (>90% hace cinco o seis años) que impedía la normal comercialización de estos productos a precios razonables. Actualmente, los precios han bajado considerablemente [3], y el mercado se ha diversificado hasta el punto de que se habla de pantallas AM-TFT de primera, segunda, y hasta quinta generación.

Si se observa la figura 3, puede comprenderse la prolongada vigencia de las pantallas CRT, cuyo excelente comportamiento va acompañado a una gran relación calidad/precio. Sin embargo, la gráfica admite otra lectura: si bien es cierto que las pantallas CRT siguen ofreciendo costes más reducidos, no lo es menos que la distancia se ha acortado hasta el punto de que el precio de una pantalla LCD en el año 2000 puede ser comparable al de una CRT de parecidas características del año 1995. Esos cinco años de retraso, a juzgar por la estructura de costes, podrían verse reducidos a la mitad hacia el año 2005.

**PANTALLAS DE GAMA ALTA: CARACTERÍSTICAS**

Tradicionalmente se han considerado de **gama alta** los dispositivos capaces de producir color a frecuencia de **vídeo en alta resolución**. Estos conceptos, sin embargo, distan mucho de ser absolutos. La definición -vale decir los límites- de **pantalla de gama alta** ha experimentado una constante evolución desde hace décadas (figura 4). En la actualidad, se califican las pantallas de gama alta atendiendo como mínimo a los siguientes requisitos:

\***Alta resolución.** Cualquier pantalla actual de



la gama iguala o supera la resolución VGA (640x480). La tendencia actual que se observa es un paulatino crecimiento de la resolución, en incrementos lineales de 5/4 (25%), que equivalen aproximadamente a incrementos del 50% en el número de pixels. Así, las resoluciones habituales que se emplean hoy en día son SVGA (800x600), XGA (1024x768), SXGA (1280x1024), e incluso superiores en aplicaciones especiales. El contenido más alto de información en una pantalla plana, hasta el momento, lo ostenta un prototipo QSXGA [4].

\***Color.** Las pantallas de TV doméstica han utilizado habitualmente sistemas analógicos de color. Los sistemas informáticos han incrementado asimismo el número simultáneo de colores en pantalla; actualmente este número suele oscilar entre los 256 Kcolores (256x1024 colores) y algo más de 16 millones (2<sup>24</sup>, el así llamado color verdadero). El color no se incluye necesariamente entre las características obligatorias de una pantalla de gama alta. Existen áreas de aplicación, especialmente en repro-

Figura 2. Mercado mundial de pantallas planas: proyección para el año 2004. Los sectores más importantes son ordenadores, consumo y comunicaciones. La tecnología dominante es el cristal líquido.

**Tabla I. Tecnologías actuales de pantallas planas**

Emisivas	No emisivas o Pasivas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Electroluminiscentes (ELD)</li> <li>• De Efecto de Campo (FED)</li> <li>• De Fluorescencia a Vacío (VFD)</li> <li>• De Diodos Emisores de Luz (LED)</li> <li>• De Plasma (PDP)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cristal Líquido (LCD)</li> <li>• Electromecánicas</li> </ul>
	<p style="text-align: center;">Microdispositivos pasivos para proyección</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cristal Líquido (SLM)</li> <li>• Microespejos (DLP)</li> <li>• Cristal Líquido sobre microcircuito de silicio (LCOS)</li> </ul>

## PANTALLAS PLANAS.

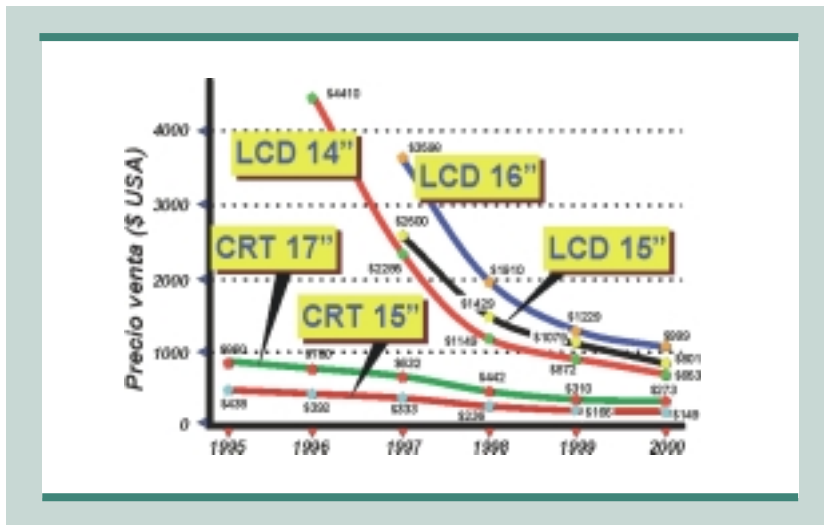
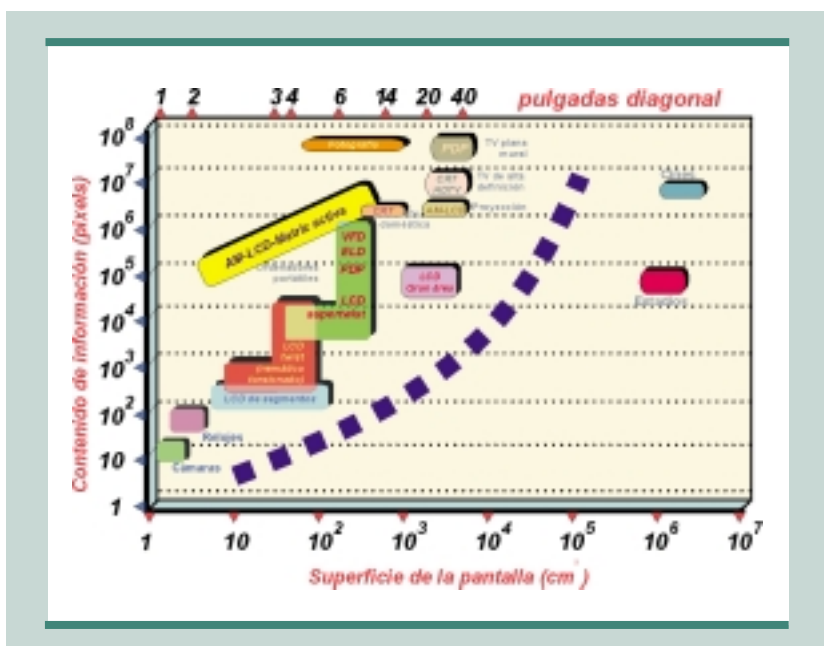


Figura 3. Análisis comparativo de precios entre pantallas de gama alta de rayos catódicos y de cristal líquido de matriz activa. Debido al menor aprovechamiento de bordes de las CRT, las pantallas LCD de 14" equivalen a las CRT de 15". Las CRT de 17" se situarían entre las LCD de 15 y 16".

grafía e imagen médica, donde se prefieren pantallas en blanco y negro (B/N) con una amplia escala de grises.

\***Escala de grises.** El número de colores que puede presentar simultáneamente una pantalla suele estar íntimamente ligado con el número de **niveles de gris** que pueden obtenerse con la misma. A menos que se adopten estrategias especiales, el número de colores conseguible es simplemente el número de grises elevado al cubo: de ahí la importancia de conseguir una **escala de grises amplia y fiable**. Se volverá a esta idea más adelante. Por el momento basta decir que las pantallas actuales de gama alta suelen ofrecer escalas de grises de entre 6 y 8 bits (64 a 256 niveles), que corresponden a los números de colores citados anteriormente. El número puede ser superior

Figura 4. Evolución del tamaño y resolución de las pantallas planas. Se incluyen algunos otros elementos conocidos como referencia.



en pantallas B/N especiales, como las ya comentadas.

\***Frecuencia de vídeo.** Las pantallas de gama alta suelen permitir la presentación de imágenes en movimiento. La televisión doméstica trabaja a 25 imágenes por segundo en Europa y a 30 en Estados Unidos (donde la frecuencia de la corriente alterna doméstica es 60 Hz). Esas frecuencias se hallan peligrosamente cerca del límite fisiológico a partir del cual el ojo humano deja de percibir movimiento por presentación secuencial de imágenes. Muchos monitores actuales muestran un apreciable parpadeo (flickering) debido a este hecho.

Como ya se ha señalado, no siempre concurren todas estas características en determinadas pantallas de gama alta. Se da además con frecuencia el caso de tener que elegir la optimización de una determinada característica en detrimento de otras. Por ejemplo, las técnicas de **"dithering"** permiten lograr un mayor número de niveles de gris a costa de disminuir la resolución de la pantalla, o una paleta de colores más rica reduciendo la frecuencia de cuadro. Estas alternativas pueden ser empleadas por los fabricantes para obtener pantallas en las que se ofrece alguna característica significativamente superior que se considera necesaria en una aplicación concreta.

Desde las primeras décadas del presente siglo, **el tubo de rayos catódicos (CRT)** ha sido el elemento utilizado preferentemente como pantalla de observación o **visión directa**. Con la continua evolución que han experimentado a lo largo de estos años, se dispone en la actualidad de CRT de excelentes capacidades, incluyendo alta resolución y brillo, y elevada velocidad de refresco de imagen (100-120 Hz, por ejemplo), con la que se elimina por completo el parpadeo. Los **CRT** siguen siendo el elemento de **referencia** para las pantallas de **visión directa**, mientras que la **cinematografía** lo es para los dispositivos de **proyección**.

Las pantallas de gama alta, al menos en las aplicaciones de consumo -TV y monitores para ordenador sobre todo- continúan siendo en su mayoría tubos de rayos catódicos. Las predicciones que apuntaban a un reparto aproximadamente equitativo del mercado entre pantallas planas y CRT hacia 1998, se han visto retrasadas una y otra vez [2]. Lo cierto es que las ventas de pantallas CRT continúan creciendo, y no es previsible que vayan a disminuir en un futuro próximo.

En estas circunstancias, no es sorprendente constatar que las tendencias de I+D en gama alta apunten a cubrir justamente aquellas áreas para las que las pantallas CRT resultan poco apropiadas: **ambientes iluminados, pantallas portátiles y miniatura, y grandes formatos.**

## PANTALLAS PLANAS.

No se trata simplemente de aprovechar los “nichos” dejados por la tecnología dominante: se observa una demanda importante de visualizadores en estas aplicaciones, precisamente porque se han visto retrasadas en su desarrollo por falta de una tecnología adecuada. Son éstas las aplicaciones que actualmente comienzan a cubrir las **pantallas planas**.

### PANTALLAS PLANAS DE GAMA ALTA

El resultado de esta acumulación de posibles mercados relacionados con la imagen fue un notable crecimiento de la actividad I+D en tecnologías de pantallas planas. A principios de esta década [5] se estaban ensayando más de una docena de posibles alternativas, la mayoría tecnologías **emisivas**. De ellas, como ya se ha visto, se produce cierta incidencia comercial en seis o siete casos.

En los siguientes apartados se resume brevemente el estado actual de aquellas tecnologías en las que se han producido progresos notables en los dos últimos años: **diodos emisores de luz (LED)**, **plasma (PDP)**, **microespejos (DMD, DLP)** y **cristales líquidos (LCD)**. Las dos primeras, **emisivas**, se emplean para la construcción de pantallas de visión directa. Las dos últimas, **no emisivas**, se aplican a dispositivos de proyección, si bien los LCD se utilizan además en visión directa, cuando el área de la pantalla no es excesivamente grande.

Conviene además citar las pantallas de **efecto de campo (FED)**, un producto derivado directamente de la tecnología CRT. La idea tiene ya algunos años [6]: se trata de hacer plana una pantalla CRT a base de sustituir el tubo CRT por una matriz de electrodos puntiagudos, capaces de emitir electrones al ser excitados con un pequeño campo eléctrico. Cada electrodo se ocupa de una pequeña zona de la pantalla (habitualmente un sólo pixel). Las matrices de electrodos se suelen crear en obleas de silicio, empleando tecnologías microelectrónicas.

Las FED adolecen de los mismos problemas que las CRT (excepto que son planas, por supuesto). En especial se acusa falta de luminosidad y presentan todavía problemas tecnológicos sin resolver.

### Diodos emisores de luz

Los LED son conversores eficientes de potencia eléctrica a potencia luminosa, y poseen una emisión razonablemente monocromática. Además son fuentes cuasi puntuales, de elevado brillo, que permite su fácil visualización en exteriores y ambientes muy iluminados. No es de extrañar que se pensara desde hace tiempo en su uso como **paneles de información** al

**público (PIP)**, utilidad para la cual no existen tecnologías alternativas, a excepción de algunos sistemas electromecánicos.

Los LED empleados como componentes discretos tienen un tamaño de varios mm, que los hace inapropiados como pixels en aplicaciones de gama alta, a menos que se pretendan fabricar pantallas de gran tamaño (varios metros de lado). Se han realizado algunos desarrollos en tecnologías monolíticas, integrando un cierto número de LED en el mismo sustrato pero, que se sepa, no han llegado a comercializarse como pantallas. En todo caso, la posibilidad de fabricar pantallas murales de gama alta para exteriores resulta ciertamente atractiva.

Sin embargo, existía un problema relacionado con la generación de color. Para obtener tríadas RGB con LED se disponía de excelentes dispositivos rojos y verdes; pero hasta hace poco tiempo, la extensión lógica de esta tecnología hacia gama alta se había visto refrenada por la carencia de **LED azules** de características adecuadas [7]:

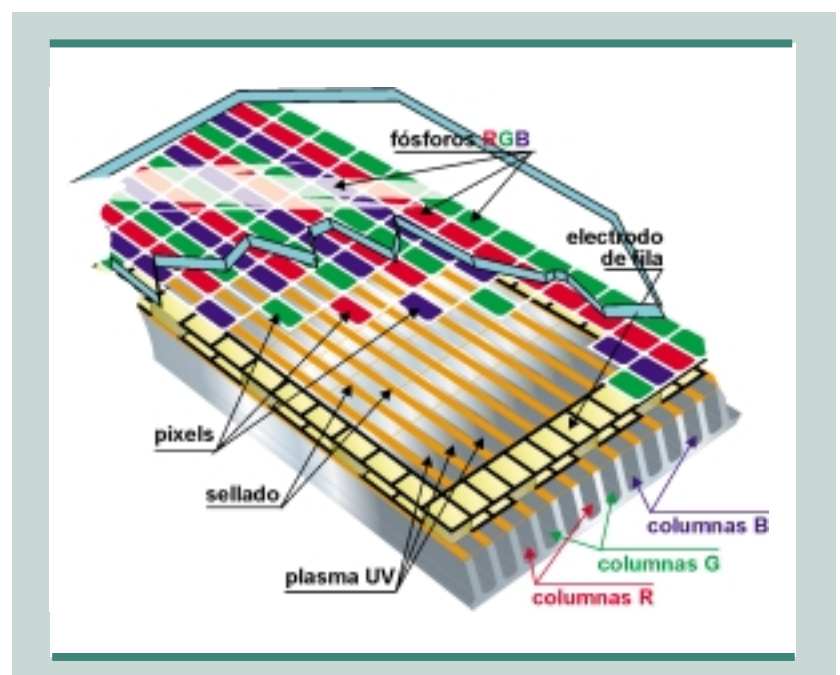
\***Longitud de onda** suficientemente baja (480 nm, preferible 450 nm). Éste es el principal obstáculo para el desarrollo de estos dispositivos; nótese que se necesitan semiconductores con gaps superiores a 2 eV.

\***Alta luminosidad**. Se necesita una buena eficiencia cuántica; este parámetro viene limitado por el tamaño del gap.

\***Tiempo de vida**. La preparación de dispositivos de larga duración ha sido particularmente complicada en este caso.

El desarrollo de LED azules [8] ha sido paralelo al gran esfuerzo realizado para conseguir

Figura 5. Esquema de una pantalla actual de plasma color.





## PANTALLAS PLANAS.



Figura 6. Prototipo de pantalla TV color mural de 50" realizada en plasma. Cortesía Panasonic.

un dispositivo aún más complejo: el **diodo láser azul**, pieza fundamental de la nueva generación de unidades de almacenamiento de información (por ejemplo DVD). Actualmente comienzan a ser comunes las aplicaciones murales de LED multicolor (por ejemplo, en señalización de autopistas) y se pueden encontrar pantallas exteriores de varios metros, al estilo de vallas publicitarias, en numerosas ciudades. Sin

embargo no es previsible la incorporación de esta tecnología al mercado de TV doméstica, por el fracaso ya mencionado de las tecnologías monolíticas.

### Pantallas de plasma

Las pantallas de plasma [9] (plasma display panels, PDP) fueron las primeras que demostraron posibilidades de alta resolución y gran superficie. Se aprecian desde hace tiempo su excelente luminosidad y amplio ángulo de visión. Poseen además **memoria intrínseca**: una vez iniciada la descarga, ésta puede mantenerse con una tensión inferior a la de ruptura. Basta con polarizar la pantalla con una tensión de mantenimiento para conseguir que permanezcan conectados los pixels durante el tiempo de cuadro. Los datos en esta modalidad son pulsos superpuestos a la tensión de mantenimiento. Como inconveniente más notable, su elevada tensión de funcionamiento (centenares de voltios) y su **alto consumo** las ha retraído notablemente en el mercado de pantallas portátiles.

El principal escollo para la introducción de las PDP en gama alta ha sido, como en el caso

anterior, la ausencia de color. El color en pantallas de plasma se genera modificando el gas de relleno en donde se produce la descarga. Se comprende fácilmente que resulta tecnológicamente compleja la fabricación de una pantalla PDP en la que se creen pixels de diferentes colores por medio de (centenares de) compartimentos separados, alternativamente rellenos con distintos gases.

En los últimos años [10,11] han surgido varias pantallas PDP de color (Fujitsu, Matsushita, NEC) en torno a 40". Su principal campo de aplicación es obviamente la futura TV doméstica. En todos los casos, el color se ha conseguido creando un plasma UV que ilumina selectivamente fósforos RGB (figura 5).

Por el momento se han comercializado únicamente pequeñas series cuyo precio resulta demasiado elevado para ser competitivas. Sin embargo, a juzgar por los esfuerzos y recursos dedicados al desarrollo de esta tecnología, y a la proliferación de marcas que han comenzado o anunciado su fabricación, es de esperar que las pantallas PDP constituyan la principal, si no la única, alternativa de **pantalla doméstica multipropósito** de comienzos del siglo XXI (figura 6). Así opinan los consultores de Stanford Resources [3], una de las compañías más prestigiosas de prospectiva en pantallas, cuando asignan (figura 7) un crecimiento casi exponencial a las ventas de estas pantallas en los próximos años.

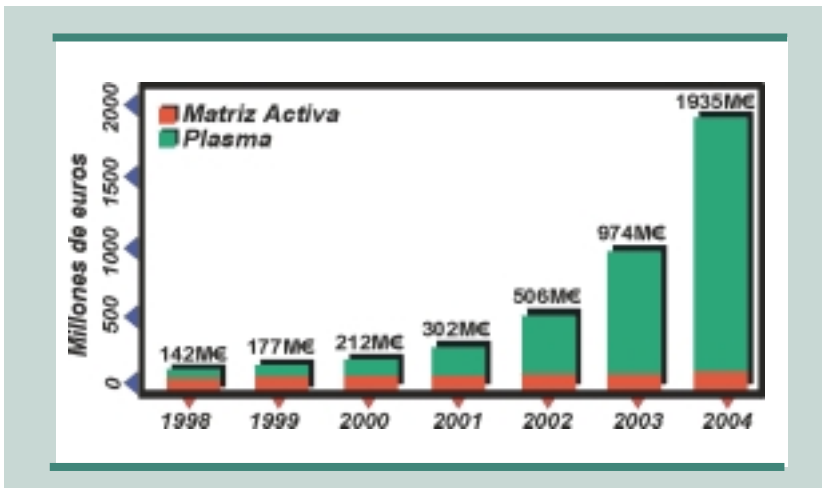
### Microespejos

La novedad más significativa surgida en esta década ha sido un dispositivo micromecánico creado y comercializado por Texas Instruments. Originalmente [12] recibió el nombre de digital micromirror device (DMD), aunque actualmente la propia compañía aplica el nombre digital light processor (DLP) a sus últimas versiones [13].

El dispositivo consta en esencia de una matriz de espejos aluminizados (centenares de miles) que están montados sobre soportes (figura 8). El tamaño de cada elemento es de unas 5  $\mu\text{m}$ . Los soportes contienen un eje diagonal sobre el cual puede girar el espejo un cierto ángulo (aproximadamente 10° a cada lado). Si se ilumina el dispositivo, cada espejo desvía la luz hacia la salida (pixel iluminado) o hacia una trampa donde se absorbe (pixel oscuro). El conjunto está montado sobre un encapsulado electrónico estándar (de hecho, la mayor parte de los elementos están crecidos sobre silicio). Ello facilita la integración de los dispositivos en montajes electrónicos estándar.

El principal campo de aplicación de los DLP es la **proyección de vídeo**. Existen modelos dotados de un sólo DLP, capaces de generar

Figura 7. Mercado mundial de pantallas planas para TV doméstica. Se prevé un crecimiento exponencial en los próximos cinco años, que será aprovechado casi exclusivamente por las pantallas de plasma.



## PANTALLAS PLANAS.

color por técnicas de “dithering temporal” (ruedas de colores o luces RGB estroboscópicas) y **a la vez** una escala de grises muy aceptable. Es obvio que cada pixel del dispositivo proporciona tan sólo dos niveles de iluminación, encendido y apagado. Las transmisiones intermedias (escala de gris) se obtienen conmutando muchas veces el espejo durante el tiempo de cuadro. Esta estrategia es posible por el reducido tiempo de conmutación -alrededor de 10  $\mu$ s- que caracteriza a los DMD.

Hace algo más de un año se han comenzado a comercializar proyectores de vídeo DLP, adaptables a ordenador, en competencia directa con los moduladores espaciales de luz (SLM) de cristal líquido que hasta entonces controlaban el mercado. La casa Texas ha presentado también modelos más sofisticados, que contienen tres DLP -uno para cada color primario. Con estos modelos se pueden obtener proyecciones murales de vídeo, de calidad comparable a la obtenida con los mejores sistemas basados en SLM.

## PANTALLAS DE CRISTAL LÍQUIDO DE GAMA ALTA: MATRICES ACTIVAS

Al igual que sucedió en su momento con los tubos CRT, las pantallas de cristal líquido comienzan a contemplarse como una tecnología “clásica” dentro del mercado de pantallas y, como tal, sometida a riesgos de pérdida de mercados en beneficio de tecnologías más “modernas”. Lo cierto es que en los últimos años las tecnologías LCD se han diversificado enormemente, lo cual ha hecho posible mantener su presencia en un gran conjunto de áreas de aplicación.

Las pantallas de cristal líquido con matriz activa incorporada han comenzado a producirse masivamente a partir del año 1995-6, una vez superados los graves problemas de rendimiento, ya comentados, que retrasaron su lanzamiento al mercado durante más de un lustro.

En una matriz activa, la información depositada en cada pixel permanece durante todo el tiempo de cuadro, gracias a la **carga almacenada** por los propios elementos activos. Generalmente, estos elementos son transistores MOS de capa delgada (TFT), aunque se han experimentado otras posibilidades, como los diodos MIM. El entramado de filas y columnas que contiene cualquier pantalla LCD de gama alta se conecta en las pantallas AM-TFT a las puertas y drenadores, respectivamente, de los transistores. Así se independiza el barrido secuencial de filas, necesario en excitación multiplexada, de la asignación de datos (niveles de gris) a los diferentes pixels.

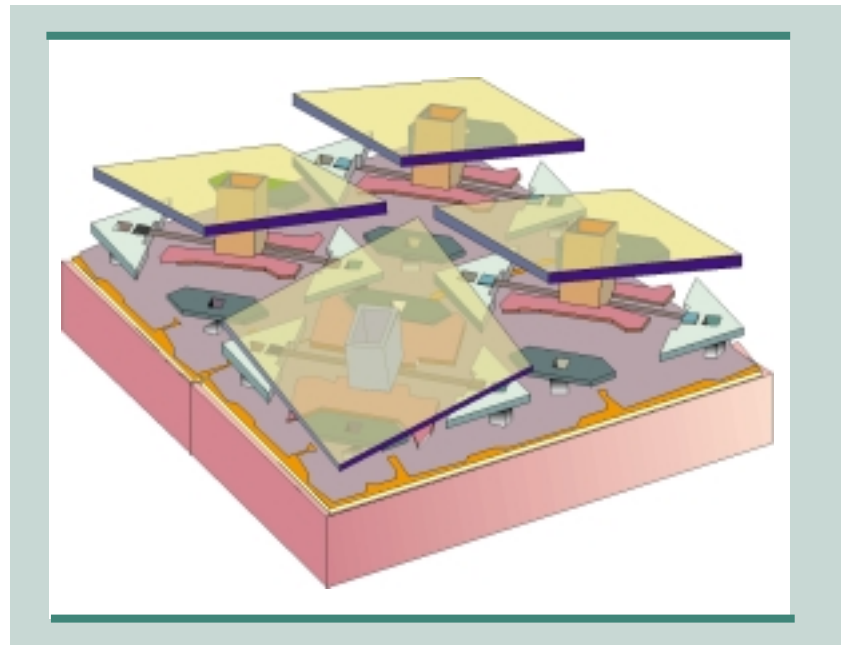


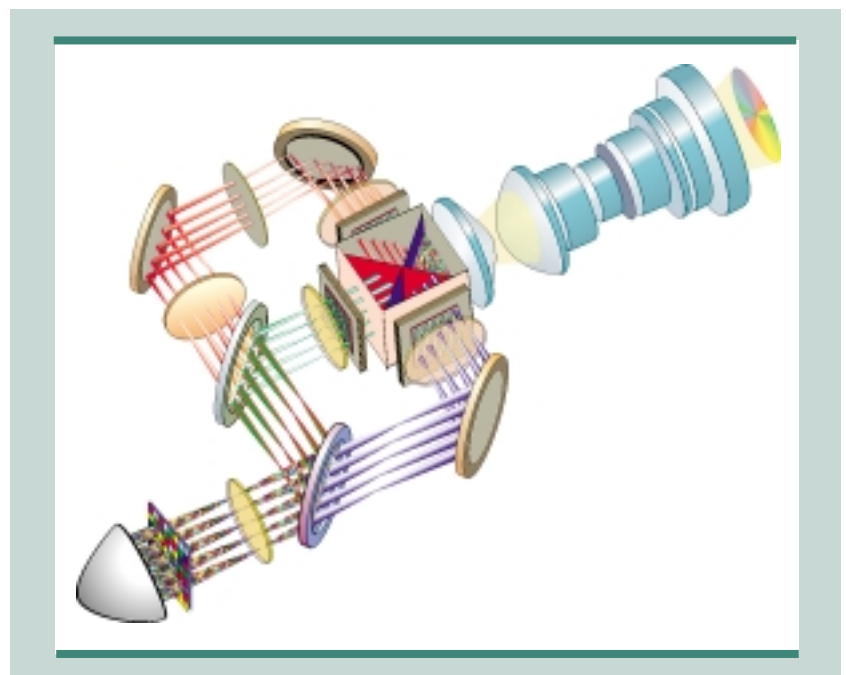
Figura 8 Cuatro pixels de un procesador digital de luz (DLP) de última generación construido a partir de microespejos. Los tres posteriores están conmutados en el estado OFF y el delantero en el estado ON. Se han hecho transparentes las caras aluminizadas de los microespejos con el fin de poder observar los detalles internos.

El tamaño de las pantallas ha ido también creciendo paulatinamente. Los productos actuales abarcan una gama de tamaños entre 1 y 20”, con mayor incidencia en el ámbito comprendido entre 11 y 14”. La aplicación inmediata y de mayor mercado, pantallas para ordenadores portátiles, ha dado paso a otras, las más significativas en proyectores de TV y vídeo (figura 9).

## Estado actual de las pantallas de matriz activa

Es significativo anotar que la gran mayoría de compañías fabricantes de pantallas LCD de matriz activa, especialmente las japonesas, son a la vez colosos de la electrónica. La interrela-

Figura 9. Sistema de proyección de gama alta, basado en tres moduladores espaciales de luz (SLM) basados en cristal líquido con matriz activa TFT. La luz emitida por la lámpara policromática de alta potencia (abajo izquierda) se divide en las tres componentes RGB, por medio de filtros dicróicos, y se recompone frente al objetivo (arriba derecha).



## PANTALLAS PLANAS.

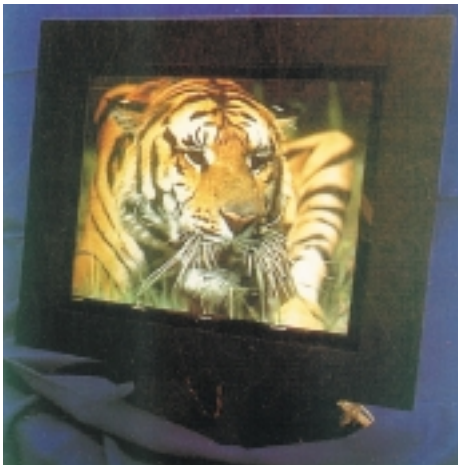


Figura 10. La pantalla plana de mayor resolución hasta la fecha es este prototipo QSXGA (2560x2048) de 16,3", con más de 5 millones de pixels. Ha sido realizada con tecnología TFT de Si amorfo, y contiene 15,7 millones de transistores. Su resolución es de 200 ppp aproximadamente. Cortesía IBM.

ción entre electrónica y electro-óptica de visualizadores ha hecho que, desde el punto de vista comercial, se hayan adoptado con frecuencia soluciones **electrónicas** a problemas cuya resolución óptima podría haber sido otra de tipo óptico, electroóptico, o relacionada con el material en sí. El caso de las matrices activas AM-TFT es paradigmático en este sentido. Si se hubiesen invertido en otras soluciones alternativas los ingentes recursos empleados para el desarrollo de esta tecnología, la situación

actual podría ser muy diferente. En cambio, se prefirió avanzar por un camino, quizá más largo y costoso, pero más conocido.

A pesar de que los dispositivos AM-TFT se han asentado como líderes indiscutibles en el mercado de 8-14" (figura 10), y sus precios están en continuo descenso, aún presentan, sin embargo, algunos problemas no resueltos:

\*Las pantallas AM-TFT de visión directa siguen teniendo **baja velocidad de respuesta**, que las hacen poco adecuadas para aplicaciones de vídeo.

\*La complejidad intrínseca del dispositivo limita seriamente sus posibilidades de competir en el mercado de **grandes formatos** (40") de visión directa. Tal mercado, como ya se ha visto, quedará posiblemente en exclusiva para las pantallas de plasma, al menos a medio plazo.

\*La relación de apertura (zona del pixel que queda disponible para transmisión) es baja, ya que una parte del área de cada pixel queda bloqueada por el transistor y las conexiones. La pantalla resultante es poco brillante (poco transmisiva, en realidad). Se considera un éxito [14] haber superado el 20% de transmisión.

### Materiales empleados en matriz activa

Las primeras generaciones de pantallas AM-TFT han estado basadas en **Si amorfo hidrogenado** (a-Si:H), único material cuyo proceso de fabricación no requería temperaturas demasiado elevadas (recuérdese que los transistores TFT van depositados sobre vidrio). Se sabía de antemano que, por razones de conductividad y fugas, las variedades cristalinas de silicio podrían ser superiores en estos sistemas.

Descartado el Si monocristalino, inalcanzable por el momento, se ha trabajado intensamente en adaptar la fabricación de pantallas a **silicio policristalino** (p-Si), que requiere temperaturas en torno a 500° C. Una de las ventaj

as adicionales de este material sería la posibilidad de fabricar sobre el propio panel los drivers de control, empleando el mismo material. Desgraciadamente, el p-Si carece de la movilidad electrónica necesaria para gestionar frecuencia de vídeo en formatos SXGA o HDTV.

El pasado año surgió con fuerza una tercera tecnología, el **Si de grano continuo** [15] que podría mejorar significativamente las actuales limitaciones de las pantallas TFT, en especial en lo que se refiere al tiempo de respuesta. Se trata de una variedad de p-Si cristalizada a partir de una película amorfa mediante una nueva técnica. Se consigue evitar la mayor parte de fronteras de grano, que es donde quedan atrapados los portadores. Las características del Si de grano continuo, a decir de sus descubridores, concuerda sustancialmente con las del Si monocristalino. Los primeros prototipos de proyectores fabricados así parecen indicarlo.

Si se cumplen las expectativas de este material, podría ser un paso decisivo en la consecución del tan deseado futuro ordenador integrado [16], en el que la totalidad de elementos de un ordenador portátil se crean sobre un sólo panel de vidrio.

### Direccionamiento por plasma

Como consecuencia de las dificultades experimentadas por las matrices TFT, se han propuesto soluciones ingeniosas que pretenden solventar alguno de los problemas apuntados. Así, aprovechando el desarrollo de las pantallas de plasma, han comenzado a surgir [17] pantallas LCD en las que la matriz activa se sustituye por un panel de plasma situado en la parte posterior. Dicho panel se encarga del **direccionamiento** de los pixels del cristal líquido.

La mayor ventaja de este sistema, como en otros casos, es que **libera la cara posterior** del dispositivo, permitiendo el control de la matriz desde toda la superficie trasera. En comparación, las matrices AM-TFT disponen únicamente del **perímetro** del dispositivo para su direccionamiento. Además, esta tecnología permite la fabricación de pantallas de mayor tamaño: recientemente [18] se han presentado prototipos de pantallas de hasta 42" direccionadas por plasma.

### Cristal líquido sobre silicio

La iniciativa más reciente para competir con la matriz activa "clásica" ha surgido, sorprendentemente, de la propia microelectrónica. Se parte de una oblea que actúa como cara posterior del sandwich de cristal líquido. Metalizando la superficie con aluminio, se consigue un nuevo tipo de dispositivo **reflexivo**, denominado "*silicon backplane*" (figura 11a), aunque comienza a extenderse el uso de las siglas



## PANTALLAS PLANAS.

**LCOS** (liquid crystal on silicon). La gran ventaja de estos dispositivos es que se fabrican con tecnologías microelectrónicas estándar, y se controlan desde su parte trasera como un circuito integrado más. Se puede afirmar que hoy por hoy es la *única tecnología activa de cristal líquido que puede competir* con las matrices TFT. Sin embargo, sólo pueden utilizarse como **micropantallas** de visión directa, y en **proyección** (figura 11b). Aún así, se prevé [19] que este mercado pasará de 100.000 unidades en 1998 a 10 millones en el 2004, un crecimiento de dos órdenes de magnitud.

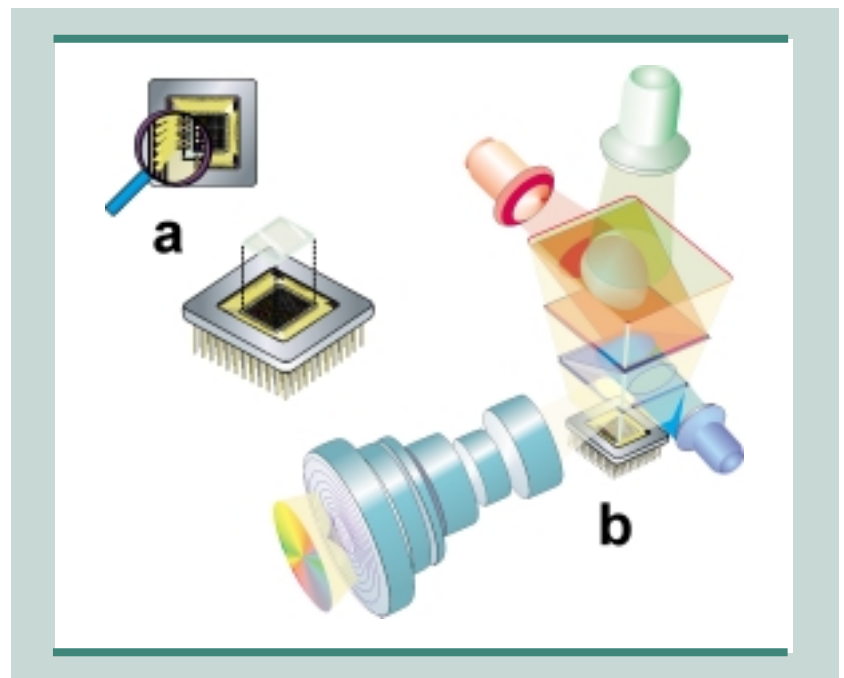
### Pantallas de gama alta en matriz pasiva

Si se desea realizar una pantalla de gama alta sobre matriz pasiva, el mantenimiento de la información de cada pixel durante el tiempo de cuadro debe realizarlo el propio material. Tradicionalmente, esta **persistencia** se conseguía empleando materiales de respuesta lenta (LCD supertwist). A partir de los años 80, comenzaron a aparecer cristales líquidos que, en determinadas configuraciones, podían actuar como materiales **biestables**. Los primeros [20] fueron materiales ferroeléctricos esmécticos C\* estabilizados en superficie (los ya clásicos SSFLC). Posteriormente se conocieron las propiedades **multiestables** de otras familias ferroeléctricas, como los cristales líquidos anti-ferroeléctricos (AFLC).

La identificación de materiales y condiciones biestables no se detuvo ahí. Se han conseguido **sistemas colestéricos biestables** estabilizados por polímeros [21]. Aunque su tiempo de respuesta es demasiado grande para una aplicación de vídeo, se estudian sus posibilidades como pantalla para agendas electrónicas y pequeños paneles informativos cuasi permanentes. En estos casos se aprovecha su excelente biestabilidad, y su reducido consumo -el cual se limita únicamente a los refrescos; no es necesaria la presencia de un campo permanente para mantener la información [22].

Últimamente se han producido también avances en la obtención de **nemáticos biestables**. Las primeras propuestas, basadas en complejos acondicionamientos de superficie con dos posibles direcciones individuales de alineamiento, no pasaron de ser curiosidades de laboratorio. Recientemente, sin embargo, se han presentado sistemas en los que la biestabilidad se consigue por **eliminación reversible** de la orientación en superficie [23].

La posibilidad de obtener pantallas de gama alta sobre matrices pasivas es muy sugestiva. Por una parte se abarata notablemente el coste del producto, al reducir el número de procesos



realizados; por otra, se eliminan o aminoran las restricciones de crecimiento, y se mejora la relación de apertura. No obstante, la consecución de tales pantallas pasivas no está libre de problemas. Los materiales empleados requieren manipulaciones especiales, procesos de fabricación atípicos, y direccionamiento electrónico con formas de onda a medida, con frecuencia a tensiones relativamente altas.

### PERSPECTIVAS DE FUTURO

A lo largo de las dos últimas décadas se han ido introduciendo diferentes tipos de pantallas planas, principalmente de cristal líquido, ocupando nuevos mercados, y lo que es más importante, compitiendo directamente con tecnologías firmemente establecidas como los CRT.

Es probable que el crecimiento de estas tecnologías durante la próxima década no se haga a costa de cuotas de mercado CRT, sino de campos de aplicación enteramente nuevos. Como ejemplo, la telefonía móvil debe evolucionar, previsiblemente, hacia equipos multiservicio, que integren teléfono, fax, Internet, agenda electrónica e incluso vídeo en un mismo equipo portátil que estará necesariamente dotado de una pantalla de gran calidad.

En el terreno de las pantallas de visión directa, el cristal líquido sobre matriz activa (AM-TFT) domina el mercado (debido fundamentalmente a la informática portátil) y es previsible que lo siga haciendo en los próximos años. El sector del automóvil demandará varios tipos de pantallas para ayuda de navegación, entretenimiento, e incluso visión nocturna realizada (aplicación de proyección ya instalada en modelos Jaguar y Cadillac). Se espera asimis-

Figura 11. a) Las pantallas *silicon back-plane* se controlan por su parte posterior como un circuito integrado y funcionan en proyección por reflexión. b) En una aplicación de proyección típica, el color se consigue por iluminación secuencial RGB con flash o rueda de colores. La pantalla ha de producir al menos tres cuadros por imagen (>75 Hz). A cambio, los tres colores hacen uso de todos los pixels, lo que incrementa la resolución.



## PANTALLAS PLANAS.

mo una gran demanda de pantallas reflexivas A5, de consumo ultrabajo, para uso como libros y revistas electrónicas.

En los grandes formatos (más de 25" de diagonal), parece que las pantallas de plasma (PDP) se acabarán imponiendo, por los problemas inherentes a crecer en tamaño y resolución de las matrices activas. Por encima de 40", y específicamente dirigido al mercado de TV mural doméstica (home theater), las pantallas de plasma deberán imponerse a las propias CRT.

Dentro de los dispositivos de proyección aparecen tres tecnologías en dura competencia: SLM, DLP y LCOS. Los moduladores espaciales de cristal líquido dominan el mercado por el momento por ser una tecnología ya establecida. La tecnología de microespejos ofrece prestaciones comparables (si no superiores) pero todavía su precio es excesivamente alto y existen dudas sobre la fatiga del material a largo plazo. Las minipantallas de cristal líquido sobre silicio (LCOS) constituyen la tecnología más reciente en dispositivos de proyección. Aunque están limitadas a aplicaciones reflexivas, se piensa que acabarán compitiendo ventajosamente con las dos anteriores.

El hecho innegable es que las pantallas planas forman ya parte integrante de nuestro entorno. A medida que se mejoren calidades y abaraten precios, irán surgiendo nuevas aplicaciones que aconsejen el desarrollo de nuevos productos o la adaptación de los actuales. La Sociedad de la Información del siglo XXI demanda disponer de servicios de información y comunicaciones accesibles a cualquier persona en cualquier momento y lugar. Para conseguir esa ubicuidad, las pantallas planas habrán de ser necesarios protagonistas.

## REFERENCIAS

[1]. S Pastoor y M. Wöpkig. "3-D Displays: A Review of Current Technologies". *Displays* 17 (2) 100 (1977).

[2]. J. Hallett. "The Old Dog Still Barks". *Informat. Display* 14 (9) 22 (1998). El título es una referencia algo sarcástica a la caída, tantas veces anunciada y nunca cumplida, de las pantallas CRT.

[3]. J. Castellano. "Price Falls Protect Market for LCDs". *Opto Laser Europe* 58, 52 (1999).

[4]. K. Schleupen et al. (34 autores). "High-Information-Content Color 16.3"-Desktop-AMLCD with 15.7 Million a-Si:H TFTs". *Proc. 18th Intl. Display Res. Conf. Asia Display '98* (Seúl, septiembre 1998) p. 187.

[5]. J. M. Otón, J.M. Sánchez Pena, F. Olarte y A.

Serrano. "Cristales líquidos", suplemento de *Mundo Electrónico* 218 (1991) 34 pp.

[6]. G.O. Müller. "Flat-panel Displays for High-Definition Television". *Displays* 12 (1) 31 (1991).

[7]. D. Martin y V.C. Forte. "Material Advances Light Full-color LED Displays". *Laser Focus World* 33 (3) 119 (1997).

[8]. P. Hill. "European Kit Drives the Advance in Blue". *Opto & Laser Europe* 48, 15 (1998).

[9]. J. Deschamps. "Plasma Displays Panels". *Proc. 16th Int. Display Conf. Eurodisplay '96* (Birmingham, octubre 1996) p.31.

[10]. Y. Takano, H. Murakami, T. Sakai, T. Kuriyama y K. Takahashi. "A 40-in DC-PDP with New Pulse-Memory Drive Scheme". *SID '94 Intl. Symp. Digest XXV*, 731 (1994).

[11]. T. Hirose, K. Kariya, M. Wakitani, A. Otsuka y T. Shinoda. "Performance Features of a 42-inch Diagonal Color Plasma Display". *SID '96 Intl. Symp. Digest XXVII*, 279 (1996).

[12]. J.M. Younse y D. W. Monk. "The Digital Micromirror Device (DMD and Its Transition to HDTV)". *Proc. 13th Int. Display Conf. Eurodisplay* (Strasbourg, septiembre 1993) p.613.

[13]. L.J. Hornbeck. "Digital Light Processing for Projection Displays: A progress Report". *Proc. 16th Int. Display Conf. Eurodisplay '96* (Birmingham, Octubre 1996). p.67.

[14]. CRL Products Preview "Thin Film Transistor LCDs Achieve 21% Transmission". *Europhotonics* 3 (6) 50 (1998).

[15]. H. Ohtani, J. Koyama, T. Mitsui, M. Hiroki, S. Yamazaki y M. Hijikawa. "Continuous Grain Silicon Makes the HDTV Retro-projector Sizzle". *Informat. Display* 14 (11) 22 (1998).

[16]. O. Graydon. "PCs and Displays Combine on Plates". *Opto & Laser Europe* 56, 7 (1998).

[17]. T. Kakizaki, S. Tanamachi y M. Hayashi. "Development of 25-in Active-Matrix LCD Using Plasma Addressing for Video-Rate High-Quality Displays". *SID '96 Int.Symp. Digest XXVII* 915 (1996).

[18]. T. Uchida "Advanced Liquid Crystal Displays". *Proc. 18th Intl. Display Res. Conf. Asia Display '98* /Seúl, septiembre 1998) p.45.

[19]. A. Mosley. "Flat Information Display FPD '98 Conference Report". *Displays Focus* 3, 14 (1999).

[20]. N.A. Clark y S.T. Lagerwall. "Submicrosecond Bistable Electro-optic Switching in Liquid Crystals". *Applied Phys. Lett.* 36. 899 (1980).

[21]. L.J.M. Schlangen, H.J. Cornelissen y F.A.M.A. Paulissen. "Electro-Optics of Reflective Bistable Chiral Nematic Liquid Crystal Displays". *Proc. 18th Intl. Display Res. Conf. Asia Display '98* (Seúl, septiembre 1998) p. 123.

[22]. Defence & Evaluation Research Agency UK. "Bistable Display Saves Energy and Space". *Opto & Laser Europe* 48, 49 (1998).

[23]. I. Dozov y G. Durand. "Surface Controlled Nematic Bistability". *Liq. Cryst. Today* 8 (2) 1 (1998). **ME**