

Escribiendo el futuro sin papel

Antonio Luis Flores

aflores@ieee.org

La tinta electrónica es una nueva tecnología que, gracias a unos procesos electroquímicos, irá sustituyendo a la tinta tradicional en aquellos lugares en los que resulte de interés modificar el contenido o el color de lo que se pinta o escribe. La aplicación más inmediata son los lectores de libros electrónicos, denominados *eReaders*, pero esto sólo supone el principio de un cúmulo de cambios que acabarán modificando nuestros hábitos, nuestras herramientas e incluso la propia sociedad que conocemos en la actualidad.

En este artículo veremos las distintas formas de conseguir tinta electrónica, sus principios de funcionamiento y, dejando fluir la imaginación, las posibles aplicaciones que veremos en los próximos años. Espero que, después de leerlo, tú también termines con algunas ideas nuevas sobre dónde aplicar la tinta electrónica.

Para qué tinta electrónica

En la actualidad existen pantallas de gran calidad basadas en tecnologías LCD –cristal líquido–, retroiluminadas. Estas tecnologías son capaces de mostrar imágenes en color a alta velocidad, tienen un coste bastante asequible en nuestros días y están muy extendidas por todo el mundo. Apple ha decidido aplicarla en su *iPad*, por ejemplo.

En este escenario, cabe preguntarnos: ¿para qué necesitamos la tinta electrónica? Para responder a esta pregunta, primero debemos comprender en qué consiste la tinta electrónica y por qué es diferente a las pantallas que estamos acostumbrados a ver en los teléfonos móviles, televisores y monitores.



La tinta electrónica está compuesta precisamente de tinta y responde físicamente ante la luz como tal: ésta incide por la parte superior de la pantalla y es reflejada, mostrando diferentes colores, según las propiedades de la tinta. En las pantallas LCD, en cambio, la luz es generada por una fuente luminosa situada tras la pantalla y ésta actúa de filtro para mostrar la imagen, exactamente igual que una diapositiva.

La ventaja de la tinta electrónica es justamente ésta: por una parte, no necesita una fuente luminosa en el propio dispositivo, lo que ayuda a reducir el consumo de batería; por otra, poder aprovechar la mejor fuente luminosa de la que disponemos, el sol. La tinta electrónica, a diferencia de las pantallas LCD, presenta un mayor contraste y claridad ante la luz solar, por lo que es muy adecuada para ser utilizada en exteriores.

A continuación vamos a ver qué tecnologías hay disponibles para fabricar tinta electrónica y qué utilidades pueden tener.

Hoy tenemos: blanco y negro

Ciertamente no es muy atractivo este título. Estoy seguro de que todos recordamos esas agendas de bolsillo de los 90 con pantalla de cristal líquido blanco y negro. Aunque un lector de libros electrónicos muestra mucha más resolución en las letras e imágenes y permite múltiples niveles de gris, además de un mayor contraste, lo que a todos nos deja con un cierto mal sabor de boca es eso, que volvamos a una pantalla en blanco y negro.

Sin embargo, esta tecnología supone un gran avance. La tinta electrónica, a diferencia de las pantallas de ordenador o las antiguas agendas (TFT o LCD), presenta muy buena visibilidad en un entorno muy iluminado, como ocurre cuando estamos a la intemperie. Además, **sólo consume energía cuando cambia la imagen mostrada**. Esto quiere decir que mostrar la página de un libro, por ejemplo, no consume energía, aunque estemos varias horas mirándola en nuestro lector.

La forma de conseguirlo es mediante la **electroforesis**, una técnica consistente en conseguir el movimiento de una determinada sustancia mediante la aplicación de un campo eléctrico. Así, se desplaza una gota de tinta líquida negra desde el fondo al primer plano, a la vez que otra de tinta blanca desaparece del primer plano y se va al fondo. Eso hace que aparezca un punto negro en la pantalla. Inmediatamente, podemos retirar el campo eléctrico y la gota sigue

quedando donde está, sin consumir energía (se dice que es *biestable* por este motivo, es decir, que tiene dos estados estables: tinta blanca arriba y tinta negra arriba).

Siendo un poco más precisos, en realidad no se trata de una “gota de tinta”, sino de pequeñas cápsulas rellenas de carbono (de color negro) y dióxido de titanio (blanco), que no se mezclan —como ocurre con el agua y el aceite— y además reaccionan de manera opuesta ante un campo eléctrico (un material es atraído por las cargas positivas y el otro por las negativas). Si, en lugar de blanco o negro, queremos un tono de gris, simplemente reducimos la intensidad del campo eléctrico, para que sólo lleguen a moverse algunas partículas de la cápsula y no todas.

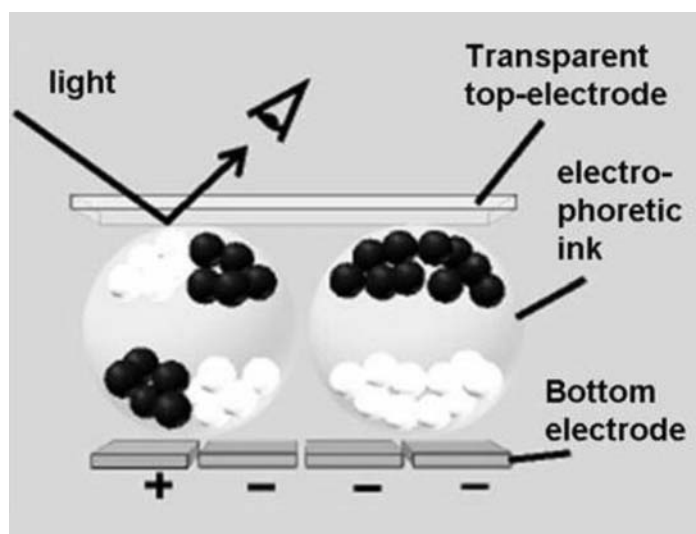


Figura 1. Tecnología de electroforesis.

El movimiento de las partículas suele tardar alrededor de dos décimas de segundo. Esto implica que, para leer un eBook de 200 páginas, el dispositivo consumirá energía sólo durante 40 segundos en total (200 pág. x 0,2 s/pág). Podemos deducir que la batería durará miles y miles de páginas.

Esta tecnología fue propuesta en el MIT¹ a finales de los 90 y la ofrece en la actualidad la empresa *E Ink Corporation*, de ahí que muchas veces se le denomine *e-Ink*. Esta empresa ha tardado casi diez años en poder producir una película compuesta de una malla

¹ Massachusetts Institute of Technology: situado a poca distancia de la Universidad de Harvard, en la otra orilla del río Carlos, en el área metropolitana de Boston (estado de Massachusetts, EEUU); el MIT es uno de los centros de investigación tecnológica más importantes del mundo.

de cápsulas de tamaño microscópico. Los fabricantes de *eReaders* la adhieren a una superficie rígida (cristal o metacrilato por delante, oblea de silicio con el circuito que aplica los campos eléctricos para cada cápsula, por detrás) para conseguir el denominado *papel electrónico*.

¿Por qué no te enrollas un poco?

La tecnología que actualmente está en la calle está fabricada, como hemos visto, con materiales rígidos: cristal, metacrilato, silicio... Una segunda generación de pantallas con **transistores orgánicos** y paneles de plástico permitirá, además de mantener la flexibilidad de la propia película de tinta electrónica, mantener un grosor similar al de una hoja de papel en todo el conjunto. Esto brindará la posibilidad de fabricar pantallas muy flexibles, incluso enrollables. Aunque no podremos hacerle un doblez —podrían reventarse algunas cápsulas por la presión— sí que podremos enrollarla y desenrollarla decenas de miles de veces sin problemas.



Figura 2. Pantalla flexible de tinta electrónica.

No hay color

La parte negativa de la tecnología basada en la electroforesis reside en la dificultad de mostrar colores. Veamos por qué. Imagina que quieres blanquear una pared que actualmente está pintada de negro. Necesitarás tres manos de pintura, por lo menos. La

tecnología de *e-Ink* sufre el mismo problema: las partículas negras nunca son ocultadas al 100% por las blancas. Por este motivo, la reflectancia del blanco en una pantalla de tinta electrónica es sólo de un 40%, frente al 80% de la de una hoja de papel. Si tratas de utilizar más partículas (dar más manos de pintura), la velocidad de refresco aumenta, disparándose el consumo y haciendo que la experiencia de pasar páginas sea algo inadmisibile. Ten en cuenta que el grosor de las cápsulas es de unas 40 micras, muy superior al de las pantallas LCD. El campo eléctrico debe ir atravesando todo ese grosor y moviendo las partículas, de ahí la lentitud al cambiar la imagen.

Aún más, si queremos imágenes en color debemos aplicar tres filtros (rojo, verde y azul) sobre cada cápsula. El problema es que estos filtros reducen la reflectancia por 3, puesto que cada filtro sólo deja pasar uno de los tres colores primarios en los que se descompone la luz. De esta manera, en una pantalla a color, cada píxel reflejaría sólo entre el 10% y el 15% de la luz. Esto no sirve. La solución es utilizar filtros muy finos, que dejen pasar casi toda la luz, pero le den un cierto tono de color a la imagen. Probablemente veremos esta tecnología en el mercado a finales de este año o principios del próximo, pero la calidad de color será realmente pobre.

¿Por qué no se utiliza la tecnología LCD de los televisores?

Las pantallas LCD, integradas en televisores, monitores y el famoso *iPad*, con una tecnología mucho más simple, basada en el filtrado de la luz, consiguen colores muy brillantes y nítidos, aunque sólo dejan pasar alrededor del 2% de la luz. Pero esto no es un problema: se ilumina desde atrás con unos *led* suficientemente potentes y da igual que se pierda luz; se inyecta toda la que haga falta... A costa de un gran consumo de energía.

Sin embargo, existe un problema aún mayor: las pantallas LCD retroiluminadas por *led* se vuelven prácticamente ilegibles en el exterior. La razón es que ninguna fuente de luz alimentada con baterías puede competir contra la increíble luminosidad del sol. Se produce el mismo efecto que con las lunas tintadas de los coches: quien mire desde la parte donde hay más luz ve la luna —o la pantalla— negra.

Por último, las pantallas LCD cansan la vista, al tener una luminosidad diferente a la del entorno, dificultando al ojo la regulación de la apertura de la pupila correcta-

mente, obligando a realizar pequeñas graduaciones de aperturas y cierres constantemente, según donde enfoquemos la vista (centro de la pantalla, bordes, fuera de la pantalla...). No ocurre lo mismo con las basadas en tinta electrónica, donde siempre se cuenta con el mismo grado de luminosidad ambiental.

Todo en una

Hemos visto que la tinta electrónica presenta muy buena legibilidad y bajo consumo, y que la tecnología LCD permite colores vivos y movimiento rápido de imágenes. ¿Existe alguna tecnología que permita tener todas estas cualidades en una misma pantalla?

Algunas candidatas son la basada en *crystal líquido biestable*, la de *crystal líquido colestérica*, la denominada *MEMS* (siglas en inglés de “sistemas microelectromecánicos”), la *electrohumidificación* y la tecnología *electrofluídica*, además de las posibles mejoras en la electroforesis, ya vista.

No todas ellas consiguen incorporar todas las características mencionadas pero, al menos, sí disponer de pantallas de tinta en color con la misma luminosidad que las monocromas actuales.

Un poco de aquí y otro de allá

Mientras estas tecnologías llegan al mercado, la empresa californiana *Pixel Qi* ya tiene disponible una

pantalla mixta, que combina la tecnología reflexiva de *e-Ink* con la transmisiva de LCD. Esta pantalla, denominada **3Qi**, opera en tres modos diferentes: LCD estándar, tinta electrónica en blanco y negro, y tinta electrónica con colores limitados. El usuario puede cambiar de un modo a otro según le interese, atendiendo a la luminosidad ambiental, el consumo de batería que se pueda permitir o el tipo de contenidos que quiera visualizar.

Sintonizando con la luz

La tecnología de **crystal líquido colestérica** utiliza un material con una estructura molecular helicoidal, parecida a la del ADN, para filtrar cada uno de los tres colores primarios. La ventaja es que, mediante un campo eléctrico, los filtros pueden volverse transparentes. De esta manera no se divide por tres la cantidad de luz reflejada, y se puede incrementar la reflectancia de la pantalla hasta un 30%, próxima al 40% de la tecnología *e-Ink*, aunque muy lejos del 80% de una hoja de papel. Sin embargo, la posibilidad de convertir los tres filtros en láminas transparentes hace posible ubicar **celdas fotovoltaicas** en una capa tras la pantalla para captar suficiente energía solar para alimentar al propio dispositivo, haciendo innecesario recargar su batería mediante un cargador.

Más que para los *eReaders*, esta tecnología tiene una aplicación directa para cubrir superficies táctiles y personalizarlas *pintando* las teclas, desde los cuadros de mandos de la cabina de un avión hasta las propias carcasas de teléfonos móviles, permitiendo al usuario en este caso incluso personalizar su color o hacer que el terminal cambie de color cuando recibe una llamada. Esta tecnología la está investigando la empresa *Kent Displays*, una *spin-off* de la universidad estatal Kent, en Ohio.



Figura 3. Funcionamiento de la tecnología 3Qi.

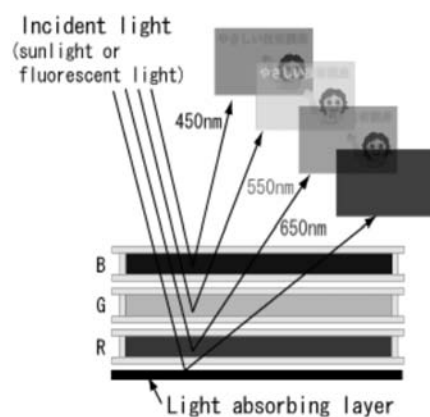


Figura 4. Tecnología colestérica.

Resonando por colores

La tecnología **MEMS** resulta un poco más cercana y conocida. Fue ideada por la empresa *Iridigm Display Corporation*, spin-off del MIT en 1996. La multinacional *Qualcomm* compró la empresa en 2004 y le ha dado el nombre comercial “**Mirasol**”. Las pantallas basadas en *Mirasol* utilizan un principio denominado *modulación interferométrica*. Un rayo de luz, dependiendo del color, tiene una longitud de onda entre 380 y 780 nm. Para hacernos una idea, un cabello mide entre 60 y 80 micras, es decir, unas 100 veces más. Si conseguimos construir una cavidad resonante con cada color —lo que quiere decir, que tenga el mismo tamaño que la longitud de onda del color que queremos capturar— podremos filtrar los rayos de ese color, y el mecanismo funcionará igual que la tecnología colestérica. Las ondas, cuando encuentran una cavidad del tamaño exacto de su longitud de onda, quedan atrapadas en ella, como el tacón del zapato de una mujer cuando pisa una alfombrilla con ranuras exactamente del mismo tamaño que aquél. Al aplicar un campo eléctrico, la microcavidad cambia de tamaño y deja de tener efecto sobre la luz que la atraviesa.

El problema de esta tecnología radica actualmente en los elevados costes de fabricación. Sin embargo, la intensidad de los colores resulta realmente interesante aunque, si se trata de representar una combinación de los tres colores primarios, esta luminosidad se reduce al 25%, que no es un buen dato, como ya hemos visto. Dos ventajas adicionales son su carácter biestable (sólo consume al cambiar la imagen) y la rapidez con la que se puede variar el tamaño de las cavidades (millonésimas de segundo), lo que permite la reproducción de imágenes en movimiento.

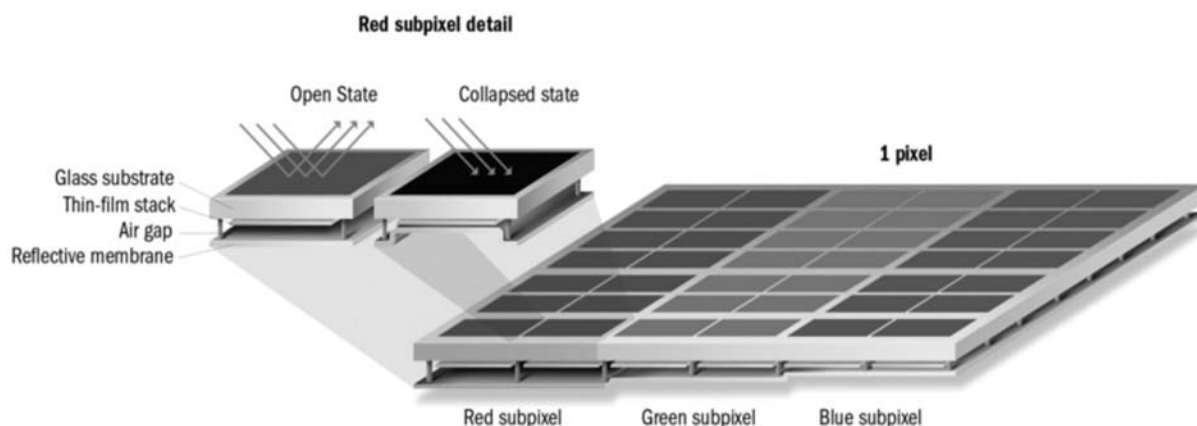


Figura 5. Tecnología Mirasol (MEMS).

La técnica del camaleón

La piel del camaleón cambia de color según las circunstancias, adaptándose al color de la superficie sobre la que se encuentra u otros parámetros. Esto constituye un proceso biológicamente bastante complejo, pero ópticamente muy sencillo de comprender. La piel contiene pigmentos que se concentran en pequeños puntos cuando el músculo se encuentra relajado. Unas fibras musculares transparentes aprietan la piel cuando el músculo se contrae, y el pigmento se extiende por toda la superficie. Al relajarse de nuevo, los pigmentos vuelven a su posición inicial, formando pequeños puntos casi imperceptibles, nuevamente.

Las impresoras de tinta funcionan también de una manera parecida. Las imágenes son formadas mediante puntos de los tres colores secundarios (celeste, amarillo y lila), con gotas de más o menos cantidad de tinta, que forman círculos de mayor o menor tamaño sobre el espacio blanco del papel.

La Universidad de Cincinnati (Ohio) ideó la **tecnología de píxeles electrohumidificados** (*electrowetting pixels*) en 2006, basada en este principio de funcionamiento, y que será pronto comercializada por la empresa holandesa *Liquavista*, apoyada por Philips.

En 2007 realizó una mejora sobre la técnica empleada, sustituyendo el pigmento al óleo inicial por otros al agua, denominándola **tecnología electrofluidica**. El principio de funcionamiento se basa en perforar una superficie altamente reflectante con pequeños agujeros de 30 micras de profundidad, que se rellenan de tinta. Sobre esta superficie se sitúa otra a unas 3 micras de distancia, permitiendo que la tinta salga del agujero y se disperse por una pequeña celda

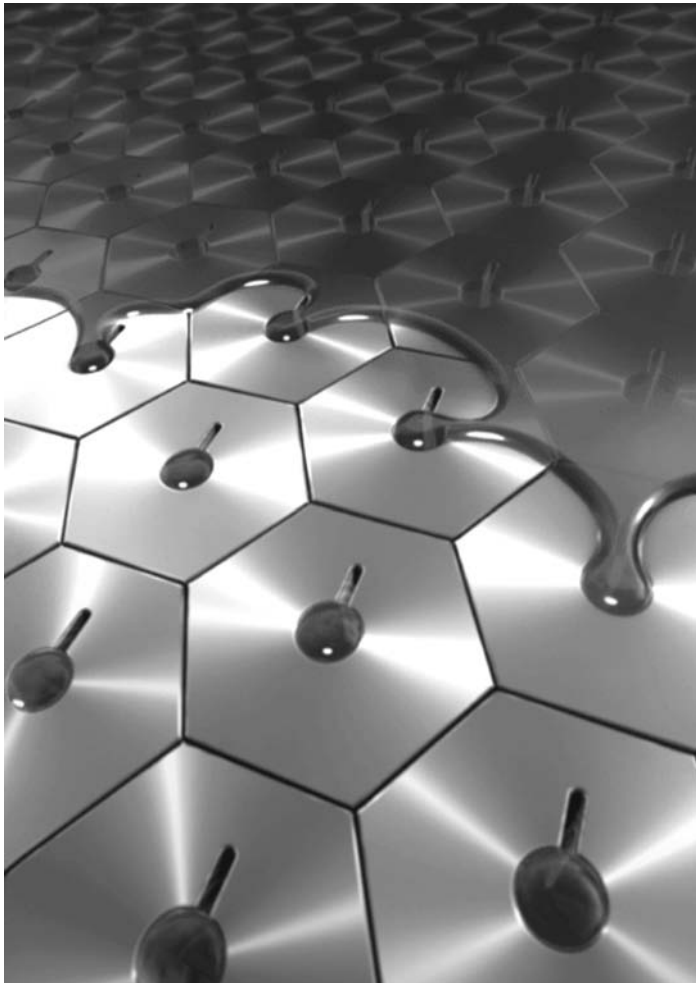


Figura 6. Pantalla electrofluidica al microscopio.

sobre la superficie, ante un campo eléctrico. Al cesar el campo eléctrico, la tinta vuelve al agujero por la propia tensión superficial (el mismo efecto por el que el agua tiende a formar una gota esférica). El proceso dura unas centésimas de segundo, suficiente para poder reproducir imágenes en movimiento.

La reflectancia es muy alta, en torno al 55%, pero esta tecnología no estará disponible hasta dentro de unos años, cuando la empresa *Gamma-Dynamics*, en Cincinnati, pueda llevarla al mercado. Además, no es biestable, por lo que estas pantallas consumirán energía de manera constante, aunque en menor medida que las actuales LCD.

Sin un movimiento

Por último, la *spin-off* de la Universidad de Toronto *Opalux* está investigando sobre la **tinta fotónica**. Mediante esta tecnología, los colores se forman mediante una pila de nano-gotas separadas con suma precisión. Un polímero situado entre ellas per-

mite mostrarlas o no, alterando el color mostrado. La ventaja es que todo se ubica en una sola capa, lo que permitiría incrementar la reflectancia. Aunque la idea parece muy interesante, el problema es que actualmente no se han conseguido fabricar prototipos con suficiente reflectancia y, aún peor, la vida útil de estas pantallas es limitada. Tendremos que esperar para poder ver mejores resultados en el futuro.

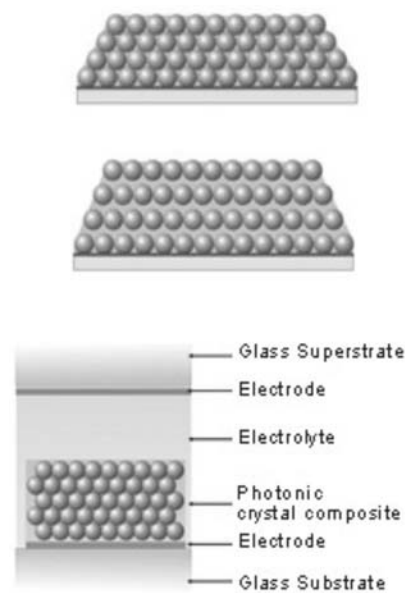


Figura 7. Tecnología de tinta fotónica.

Más allá del eReader

Aunque la aplicación más inmediata de la tinta electrónica son los ya conocidos *eReaders*, o lectores de libros electrónicos, es muy probable que en un futuro próximo no sea la aplicación más evidente.

La fabricación de **etiquetas basadas en tinta electrónica** para los lineales o estanterías de supermercados son una aplicación muy suculenta, tanto para ahorrar costes —imagina los costes que suponen para los supermercados los cambios de precios vinculados a períodos de rebajas o a la subida del IVA— como para poder establecer una política de precios variable en función del día de la semana, de la hora del día, del número de personas que haya en el pasillo del lineal o de la cantidad de producto restante.

Otra aplicación que probablemente veremos en unos años, utilizando determinadas tecnologías que permiten construir películas de tinta electrónica transparentes, es la **utilización en ventanas**, que se comportarán de manera inteligente según la claridad exterior o incluso el tono de luz, para regular el tintado de

la ventana en tiempo real. De la misma manera, se podrá regular la opacidad del cristal desde el interior, por ejemplo para ganar intimidad. Sin embargo, más interesante será poder establecer **filtros infrarrojos regulables** basados en la tecnología de tinta electrónica que, aplicados en estas ventanas, permitan reflejar las ondas de calor en verano y transmitir las al interior en invierno, para caldear la estancia.

Resulta inmediata también la aplicación de la tinta electrónica a las **señales y paneles informativos** de tráfico. El considerable ahorro de energía y la posibilidad de reconfigurar las señales —por ejemplo, los límites de velocidad en función de las condiciones meteorológicas o el nivel de congestión de la vía— son motivos más que suficientes para sustituir las obsoletas señales metálicas y los paneles basados en *led*, con un elevado consumo, por tecnología de tinta electrónica.

Por último, la posibilidad de utilizar la tinta electrónica en aplicaciones militares, como **técnica de camuflaje**, resulta interesante para potenciar la investigación en las tecnologías asociadas. Lo que queramos o no, las partidas presupuestarias destinadas a Defensa suelen ser de las más relevantes en todos los países, y si una tecnología tiene aplicación militar, su rápido progreso está prácticamente garantizado. No hay más que recordar los orígenes de Internet o los de las técnicas criptográficas utilizadas en las transacciones *online* y la telefonía móvil en la actualidad.

Se puede afirmar, sin lugar a equivocarnos, que la tinta electrónica revolucionará muchas cosas durante los próximos años y es muy probable que hoy no seamos capaces ni de imaginar las mayores innovaciones que iremos presenciando en este campo.

Bibliografía

- Jason Heikenfeld. "The Electronic Display of the Future". Revista IEEE Spectrum (Vol. 47, marzo 2010). ISSN: 0018-9235
- Marie Granmar & Adrian Cho. "Electronic Paper: A Revolution About to Unfold?". Revista Science (Vol. 308, 6/05/2005, N° 5723, pp. 785 - 786). DOI: 0.1126/science.308.5723.785
- Robert A. Hayes & B. J. Feenstra. "Video-speed electronic paper based on electrowetting". Revista Nature (Vol. 425, 25/09/2003, pp. 383 - 385).
- Matthias Marescaux, Filip Beunis & Filip Strubbe. "Electrochromic materials for electronic paper". Proceedings of 8th FirW PhD Symposium. Ghent, Belgium December 5 2007.
- Wei Man Chim, Nitz Saputra, Alessandro Baiano, John Long, Ryoichi Ishihara & Arjan van Genderen. "A Flexible Active-Matrix Electronic Paper With Integrated Display Driver Using The μ -Czoehralski Single Grain TFT Technology". Proceeding of PRORISC, 2008.
- W. C. Yip & H. S. Kwok. "Cost-effective Driving Scheme for Bistable Cholesteric Displays". The Japan Society of Applied Physics. Vol. 39 (2000). pp. 5169-5172. Part 1, N° 9A, Sep. 2000