

# EINSTEIN Y EL CCD

## Un semiconductor se basa en el efecto fotoeléctrico

La cámara con dispositivo CCD (Charge Coupled Device) es un ejemplo de cómo la ciencia llamada básica, es decir sin ninguna aplicación inmediata, abre la puerta al desarrollo de aparatos imposibles ni tan siquiera de imaginar.

Por Luis Carlos PARDO, doctor en Ciencias Físicas por la UPC

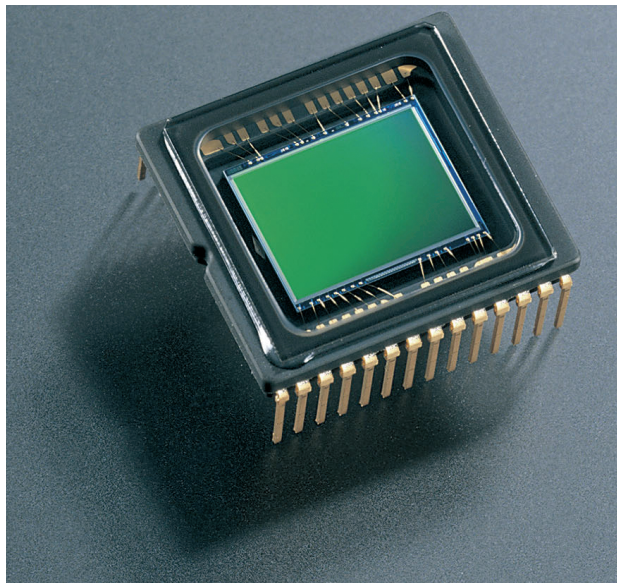
### ELECTRICIDAD Y LUZ: UNA NUEVA RELACIÓN

Einstein no ganó el premio Nobel de física en el año 1921 por la teoría de la relatividad, sino por la explicación de un experimento que tendría muchas implicaciones tecnológicas: el efecto fotoeléctrico.

Recordemos brevemente que antes del "annus mirabilis" (año maravilloso) de Einstein (1905), la luz se entendía exclusivamente como una onda electromagnética en la que un campo magnético y uno eléctrico oscilaban con una frecuencia que determinaba su color. Pues bien, numerosos experimentos de la época demostraban que al iluminar un metal con luz, de éste se desprendían electrones. Pero extrañamente su velocidad no crecía al aumentar la intensidad de la luz. Peor aún, al iluminar una placa de metal con diversos colores, a partir de una frecuencia (de un color) no había manera de arrancar electrones de la placa por muy fuerte que fuera la intensidad de luz, y para complicar un poco más las cosas, este color variaba entre diversos materiales.

Si la luz fuera una "simple" onda, cabría esperar que los electrones fueran ganando energía hasta poder ser arrancados del metal, como sucede en un acantilado en el que cada ola va desgastando la piedra, hasta que cae toda la pared formando un nuevo acantilado. Esto sucedería independientemente del color de la luz, es decir, de la frecuencia, o en el ejemplo de las olas, de la distancia entre crestas, y sería más fácil arrancar electrones cuanto mayor fuera la intensidad, es decir, la altura de las olas... pero no es así.

La solución a este problema es un "paso atrás" conceptual: ¿qué sucedería si



El CCD es uno de los causantes del abaratamiento y reducción del tamaño de las cámaras de vídeo y del fenómeno de la fotografía digital

la luz fuesen partículas con una energía proporcional a su color (a su frecuencia)? Imaginemos por un lado la luz como un flujo de pequeños cuerpos, que llamaremos fotones, y un átomo como un electrón ligado al núcleo por una fuerza eléctrica. En este caso, si queremos arrancar un electrón del átomo, debemos utilizar un fotón con una determinada energía (color). Si no llegamos a este mínimo, ya podemos lanzar tantas partículas como queramos (es decir, aumentar la intensidad del haz de luz), que no arrancaremos ni un solo electrón. ¿Es por tanto la luz un flujo de partículas o una onda? Como vimos en un artículo anterior, la luz es una entidad que se puede entender como flujo de partículas o como onda según el experimento que se realice.

Podemos imaginar ahora la cantidad de aplicaciones que puede tener este efecto, una de las más simples son las pequeñas células fotoeléctricas de los ascensores: al recibir luz la célula crea una

pequeña corriente que cesa cuando un obstáculo se interpone entre ella y el emisor. De todos modos, aún más interesante es iluminar, no un metal, sino un semiconductor...

### EL PUNTO MEDIO: LOS SEMICONDUCTORES

Un conductor consiste en electrones unidos a sus átomos tan débilmente que se pueden mover libremente por todo el material. Por el contrario, un aislante consiste en un conjunto de átomos celosos de guardar para sí los electrones. De todos modos también en física hay entre el blanco y el negro una escala de grises que en este caso corresponde a los semi-

conductores. En cierto tipo de átomos como el germanio y el silicio los electrones, aunque unidos a los átomos, pueden ser arrancados al darles un poco de energía. De esta manera el electrón salta y queda libre en el material, dejando tras de sí un "agujero" (llamado exactamente así en electrónica). De esta manera, al aplicar un campo eléctrico, el electrón se desplaza creando una corriente eléctrica.

Pero lo que es aún más curioso es que el agujero también es capaz de conducir corriente eléctrica. Esto se puede entender imaginando una cola de coches en una autopista una calurosa tarde de agosto (esto último no es indispensable). Un coche se mueve, dejando un "agujero" tras de sí, el conductor siguiente al moverse hacia delante deja ese "agujero" tras de sí, que vuelve a dejarlo el coche siguiente al avanzar una posición. Imaginemos esto visto desde el aire: veremos que el agujero se va desplazando en sentido contrario a los coches. Si sustituimos la palabra

"coche" por la palabra "electrón" tendremos una explicación perfecta de la conducción por agujeros.

Ahora bien, ¿cómo arrancamos el electrón? Una posibilidad es mediante calor. Al aumentar la temperatura, los electrones se mueven más rápido hasta que saltan del lugar que les corresponde. Además saltarán más electrones (es decir, el semiconductor conducirá mejor la electricidad) cuanto más alta sea la temperatura: de esta manera funcionan algunos termómetro digitales, midiendo la capacidad de conducir la electricidad de un semiconductor, es decir, su resistencia. De todos modos, para arrancar electrones se realiza mediante fotones, es decir: luz.

### UNA COMBINACIÓN PRODUCTIVA

Un dispositivo de carga acoplada, en inglés Charge Coupled Device o CCD, funciona gracias a que un semiconductor tiene los electrones unidos de manera que un simple fotón es capaz de arrancar un electrón. En un aislante esto no es posible porque los electrones están muy unidos a los átomos, y en un metal, están tan poco unidos que saldrían volando de él, o pasa-

rían a circular por un circuito exterior, si el fotón tiene suficiente energía. Cuando un fotón llega a un semiconductor, se arranca un electrón que queda libre en el material, y por tanto se crea una pareja electrón-agujero. El número de parejas que se for-

**“Un CCD funciona de manera que un simple fotón es capaz de arrancar un electrón”**

marán será tanto más grande cuanto mayor sea el número de fotones que incidan en una zona. Por lo tanto, ya tenemos un dispositivo capaz de generar una imagen utilizando cargas eléctricas en vez de luz: las zonas claras estarán formadas por muchas cargas, y las zonas más oscuras por pocas cargas eléctricas. Además, para evitar que éstas caigan en la tentación de moverse de sitio, al transcurrir el tiempo quedarán pegadas en una cara del semiconductor en que se encuentran numerosas plaquitas metálicas que se pueden cargar positiva o negativamente:

los agujeros quedarán acumulados donde se encuentren las placas cargadas negativamente.

Ahora necesitamos "descargar" la imagen, es decir, mover las cargas. Esto se hace de manera ordenada al desplazar la carga positiva de las plaquitas metálicas en una dirección, que vendrán seguidas por las cargas que forman la imagen. De esta manera tendremos un vaciado de la imagen fila por fila hasta que se haya descargado completamente.

Poco se imaginaba Einstein, en su aventura intelectual, que la explicación del efecto fotoeléctrico daría lugar a un dispositivo con el que tomar imágenes de forma instantánea. Entender que la luz, formada por partículas (y a veces comportándose como una onda) pudiera arrancar electrones, y además llegar a comprender los secretos de la materia, formada por electrones unidos a los núcleos, nos ha dado la posibilidad de idear y fabricar cámaras con dispositivos CCD. Si además añadimos el descubrimiento de los semiconductores, podremos permitirnos el lujo de tomar unas fotos de un pequeño escritorio de la calle Kramgasse 49 en Berna, donde Einstein fundó las bases de la física moderna ■