

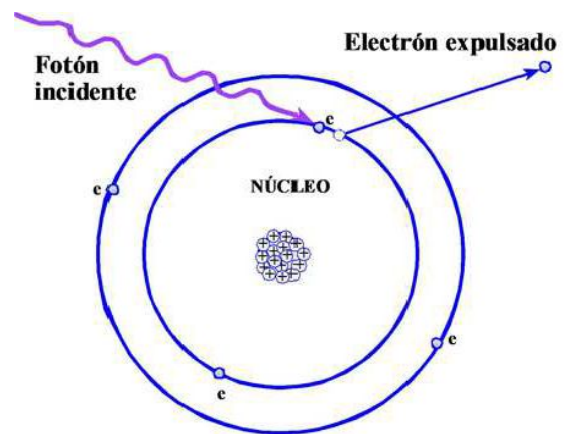
Taller de Imágenes - Grupo de Astrometría y Fotometría

UNIDAD 2

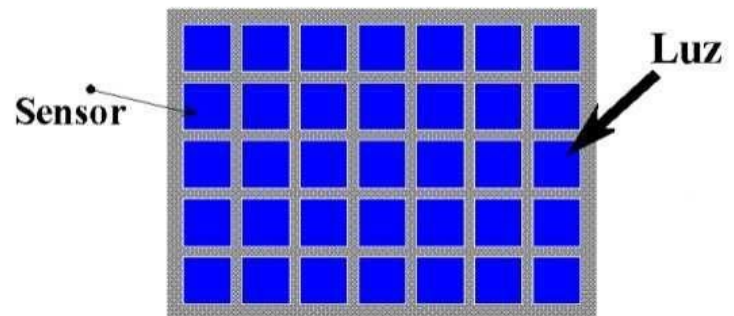
Sensores digitales

ANTECEDENTES: Las primeras fotometrías se hicieron con las cámaras fotográficas analógicas (químicas), que se basa en un proceso fisicoquímico en un material fotosensible aplicado sobre una placa de vidrio, o sobre una película flexible, y que reaccionan frente a la luz dejando una impresión en la placa, que debe ser estabilizada mediante un proceso de revelado. La fotografía química se utilizó durante casi 100 años desde fines del siglo XIX, y gran parte de la astronomía se ha hecho utilizando la fotografía química. La revolución se produjo a partir de la fotografía digital y la utilización de la cámara digital, muy utilizada en estas últimas décadas.

EFFECTO FOTOELÉCTRICO: El principio del funcionamiento de las cámaras digitales se basa en un sensor electrónico que utiliza el principio físico del “efecto fotoeléctrico” descrito a fines del siglo XIX y del cual no se encontraba explicación. Fue Albert Einstein quien explicó el porqué del efecto fotoeléctrico, y por ello mereció el Premio Nobel. Básicamente, demostró que al incidir una partícula de luz (fotón), sobre una placa de metal, un átomo de la placa se excita al absorber la energía del fotón y emite un electrón. El número de electrones liberados, es proporcional a la cantidad de fotones recibidos por el detector. Si se liberan electrones, podrían llegar a contarse y ello permitiría medir la luz que está incidiendo sobre la placa. A principio del siglo XX los experimentos sobre el efecto fotoeléctrico eran solo a nivel laboratorio, pero con el advenimiento de la era digital, se logró “contar” esos electrones y todo cambió rápidamente.



SENSOR DIGITAL: El desafío era lograr muchas placas de metal suficientemente pequeñas de tal modo que se pudiese detectar la posición donde incidiera cada punto de luz formando la imagen. Con esa matriz grande de puntos podemos lograr la construcción de la imagen de una manera similar a como lo consigue la fotografía química, pero reemplazando el principio de reacciones químicas por el efecto fotoeléctrico. Los sensores digitales constan de una placa de silicio de la que se desprenden electrones a medida que es alcanzada por fotones. Esa placa de silicio está dividida en pequeñas plaquitas o elementos llamadas “píxel” que significa: “elemento del paisaje de la figura”, se comporta como un minúsculo detector y tiene un electrodo con potencial positivo que retiene los electrones liberados por el efecto fotoeléctrico. Los píxeles están ordenados en forma de una cuadrícula con filas y columnas. Cuanto mayor sea el número de píxeles, mayor será la resolución de la imagen. Actualmente se los construye con millones de píxeles. Generalmente los píxeles son cuadrados, pero a veces son rectangulares. Cada píxel mide unos pocos micrones y el sensor suele medir unos pocos centímetros (o incluso

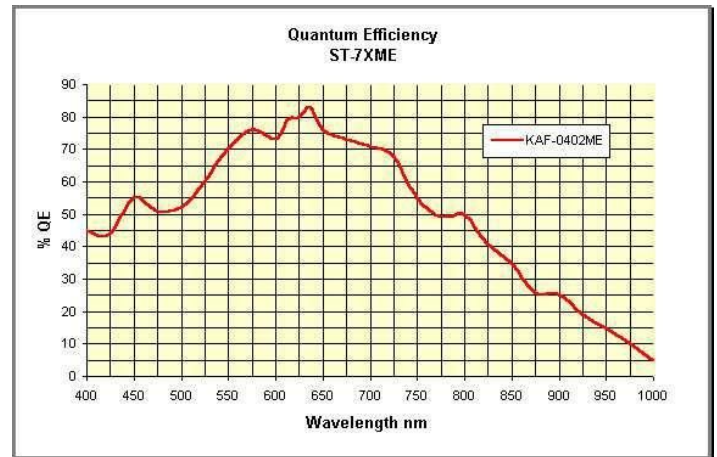


1cm). Un tipo de sensor digital es el CCD inventado en 1969 por W. Boyle y G. Smith por lo que recibieron el Premio Nobel en 2009, y es el que utilizaremos en las cámaras que dispone el OAC.

DIGITALIZACIÓN: Acabada la exposición se deben leer la cantidad de electrones almacenados en cada baldecito. Lo que se obtiene al medir, es una señal analógica en forma de tensión (diferencia de potencial) que es directamente proporcional a la cantidad de electrones. Se mide píxel a píxel, línea a línea, y luego toda la información pasa a un “convertor analógico digital” (CAD). La conversión analógica-digital –o digitalización– consiste en la transcripción de las señales analógicas en señales digitales, es decir, saltando escalones o niveles, comúnmente denominadas cuentas, y no en valores “continuos”. A veces a las cuentas se las llama ADUs, del inglés “analog-to-digital units”. Cuanta mayor cantidad de cuentas tenga la escala, mayor será la posibilidad de captar pequeñas variaciones de luz. Cuando se digitaliza una imagen, se convierte toda la información de la placa “en una cuadrícula con valores enteros”, es decir: en una matriz que se puede procesar matemáticamente, algo que no se podía hacer con la fotografía química.

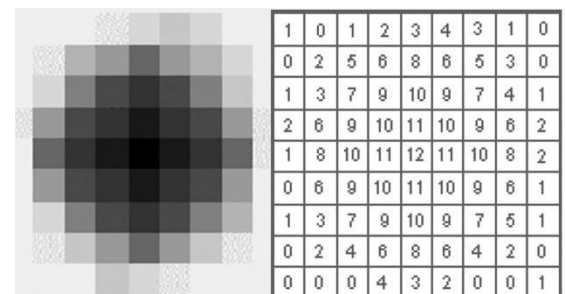
RANGO DINÁMICO: Las cuentas se almacenan como números enteros. Cada modelo de cámara asigna un número máximo al nivel de *saturación*. Las más sencillas admiten cuentas entre 0 y 255 cuentas (8 bits). Las cámaras profesionales suelen registrar intensidades de 0 a 65535 cuentas (16 bits). La cámara es capaz de leer valores en toda esa escala, a este intervalo de valores se lo conoce como “rango dinámico” de la cámara. Desde luego, para alcanzar la mayor precisión fotométrica interesa un gran rango dinámico, pero esto incrementa mucho el espacio ocupado por los archivos de imágenes.

EFICIENCIA CUÁNTICA: Se refiere a la cantidad de fotones efectivamente registrados frente a los que efectivamente llegaron al sensor. Refleja la capacidad de un detector de tomar fotones y convertirlos en electrones. Se suele expresar en un porcentaje de la cantidad de fotones recibidos y que fueran efectivamente convertidos en electrones. Una cámara ideal –que fuera ultrasensible– convertiría el 100% de los fotones en electrones, pero no existe esa cámara. No solo que nunca alcanza el 100%, la eficiencia cuántica de un sensor también es diferente para las diferentes longitudes de onda de la luz. Si una cámara



se destina a observar siempre el mismo tipo de objetos, será conveniente comprar una considerando las longitudes de onda en las que emite ese tipo de objetos y las longitudes de onda en las que el detector tiene sus máximas eficiencias cuánticas. Los fabricantes de sensores digitales ofrecen curvas de eficiencia cuántica (o curvas de sensibilidad) que facilitan esa comparación. No todos los sensores tienen curvas iguales pueden tener distintos valores y formas y los picos de máxima eficiencia pueden estar en diferentes colores. Hoy se diseñan detectores para que sean sensibles a determinadas longitudes de onda. En general, los sensores digitales tienen sensibilidad mucho más alta que el ojo humano, y ven más longitudes de onda.

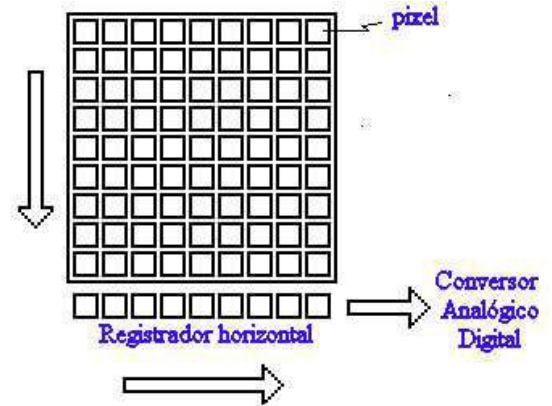
ESCALA DE GRISES: Se puede mostrar la matriz con los números correspondientes a cada píxel, pero nos resultaría más fácil de interpretar si en lugar de ver números, asignamos colores – en una escala de grises, por ejemplo- a los diferentes niveles de la escala digital y que la matriz se muestre con “colores” en lugar de



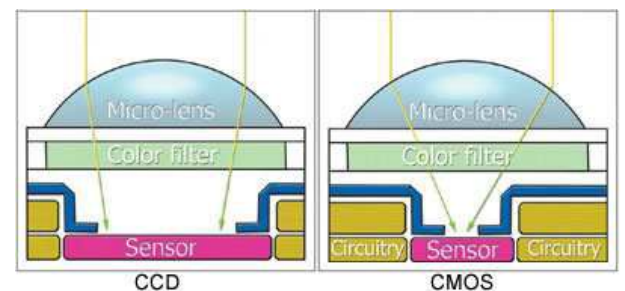
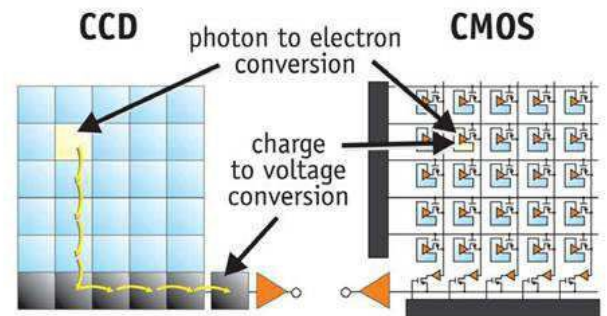
“números”. Aparecerá así una imagen de puntos coloreados en lugar de una matriz numérica. Un sensor de 4 bits tendría solo 16 tonalidades de grises (ejemplo de la figura), mientras que los de 16 bits –como los que utilizaremos en este taller- tienen 65536 grises, desde negro (0) al blanco (65535). Se suele utilizar la escala invertida para mejor visualización de los objetos puntuales más débiles.

TIPOS DE SENSORES:

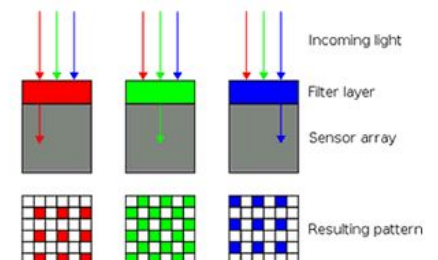
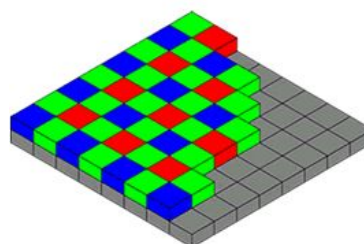
- **SENSOR CCD:** En este sensor, la señal eléctrica producida en cada píxel tiene que ser enviada a un registrador -exterior al detector- y desde allí a un amplificador y CAD que cuenta los electrones de cada píxel y transforma ese valor en un número de la escala digital. Los CCD necesitan una electrónica externa compleja que eleva el costo de este tipo de detectores. Todos los píxeles de un CCD pasan por una etapa común de amplificación y conversión digital, de este modo se evita el problema de los CMOS en los que actúan amplificadores diferentes para cada píxel. En todos los CCD el ruido electrónico aumenta frecuentemente con la temperatura y suele duplicarse cada 6 u 8°C. En aplicaciones astronómicas de la fotografía CCD es necesario refrigerar los detectores para poder utilizarlos durante largos tiempos de exposición.



- **SENSOR CMOS:** A diferencia del CCD, se incorpora un amplificador de la señal eléctrica en cada píxel y es común incluir el convertor digital en el propio chip. La ventaja es que la electrónica puede leer directamente la señal de cada píxel con lo que se soluciona el problema conocido como *blooming*. La desventaja es que entre los receptores de luz (píxeles) se encuentra mucha electrónica que no es sensible a la luz, lo que implica que no puede captar tanta luz en una misma superficie del chip. La solución al problema, no sólo por una mayor densidad de integración (por lo que la electrónica no sensible se reduciría de tamaño) sino por la aplicación de microlentes que a modo de lupa concentran la luz de cada celda en su píxel. Los sensores CMOS tienen un elevado ruido porque tienen un amplificador en cada píxel. Estos amplificadores normalmente no son uniformes por todo el chip, la desigualdad residual incrementará el ruido. Tienen un bajo consumo de energía y son de menor costo que los CCD. Lectura simultánea de mayor número de píxeles, lo que disminuye el tiempo de lectura. Tienen una escasa sensibilidad a la luz ultravioleta e infrarroja.



- **CÁMARA COLOR:** Existen cámaras digitales color, pero en realidad son cámaras monocromáticas. Para poder representar el color y saber si el objeto que estamos viendo tiende al rojo, al



azul o al verde, los píxeles tienen filtros de diferentes colores que trabajan simultáneamente. Estos filtros solo van a dejar pasar los fotones que vengan de dicha longitud de onda. Los píxeles con filtro azul, van a dejar pasar fotones de esa longitud de onda y el resto los rechaza. Los píxeles rojos dejan pasar sólo el rojo y lo correspondiente ocurre con los verdes. Si leemos sólo los azules, podemos medir qué tan azul es este objeto, y así con los otros filtros. La imagen color se logra combinando la información de los tres tipos de filtros, haciendo una sola captura de luz. En astronomía se usan cámaras monocromas y se usan filtros que se anteponen a todo el detector. Se puede sacar imágenes sucesivas en los tres filtros y luego se pueden combinar para convertirla en una imagen de color. De todos modos, para aplicaciones científicas interesa más el análisis de imágenes con filtros adecuados, y no las combinaciones de imágenes en diferentes filtros.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA FOTOGRAFÍA DIGITAL:

- La sensibilidad de un detector digital puede alcanzar hasta un 70%, comparada con la sensibilidad típica de películas fotográficas, en torno al 2%.
- La facilidad con que la imagen puede corregirse de defectos por medios informáticos, además de otras ventajas técnicas. Cada vez que la cámara toma una foto, crea un archivo de datos no visuales y guarda: la fecha, la hora y otra información relevante de la captura; denominado *header* o cabecera.
- Permite disponer de las imágenes visuales al instante, sin necesidad de llevar la película al laboratorio y revelar los negativos para poder ver las imágenes. Se pueden ver en una pantalla las fotos que se acaban de tomar.
- Una desventaja importante de las cámaras digitales frente a la película convencional es la reducida área de los sensores digitales, lo que impide tomar fotografías de gran campo comparable a algunas tomadas con película clásica.