

Detectores Astronómicos en el Visible

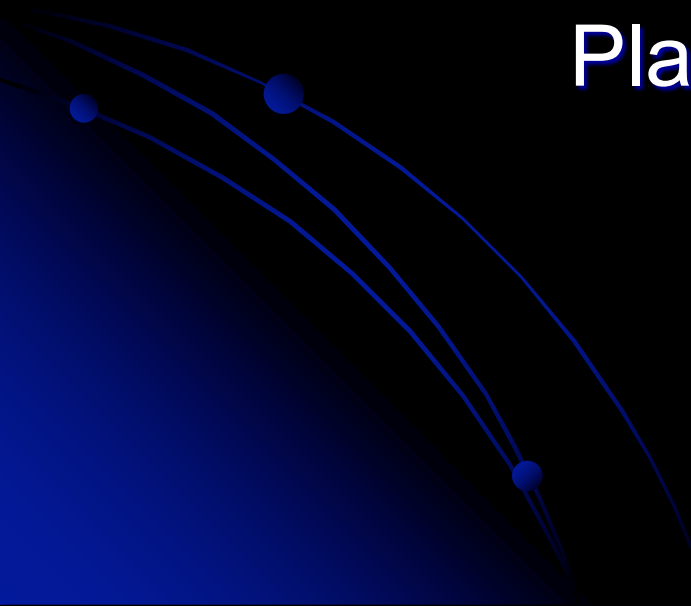
Ojo humano

Placas fotográficas

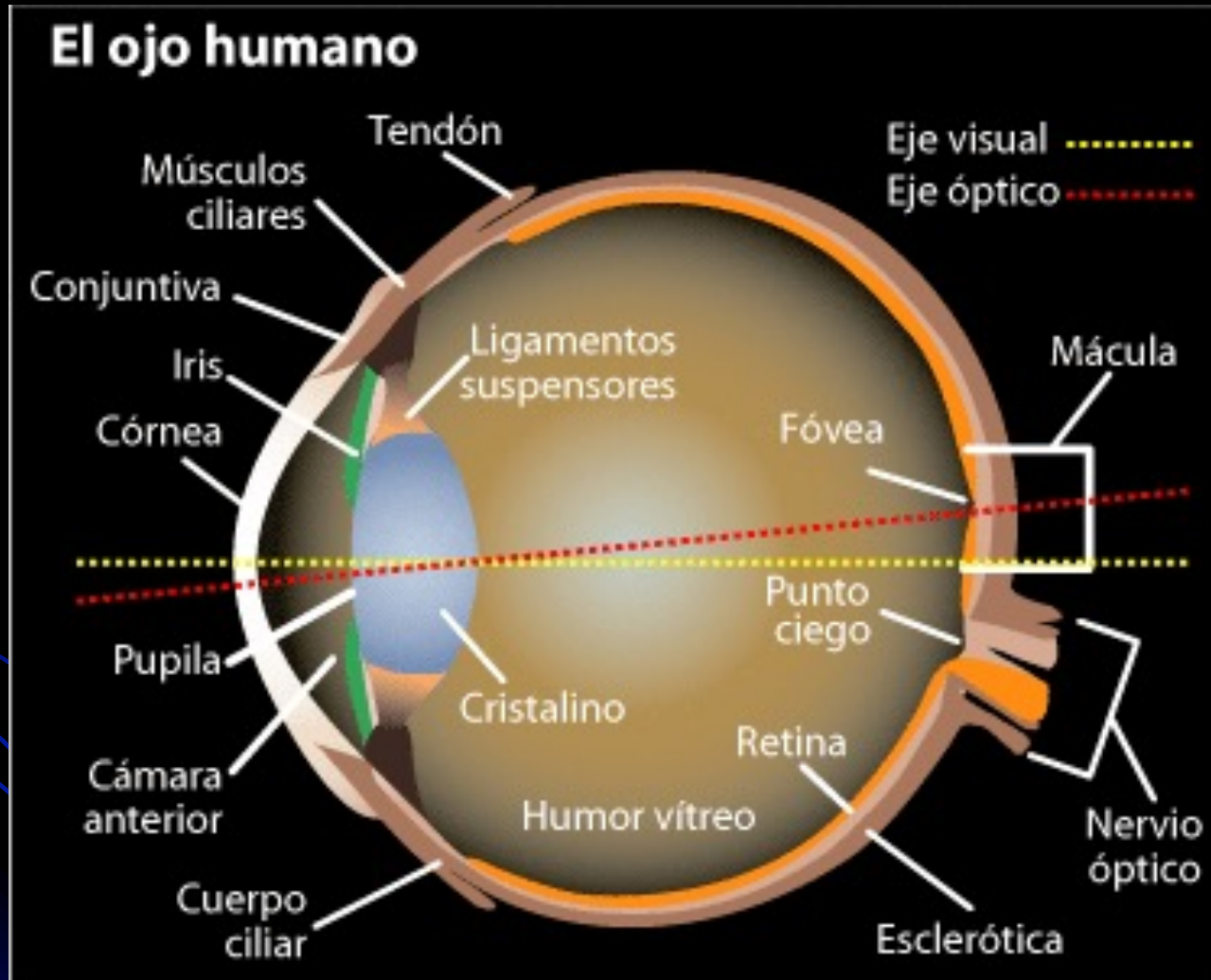
Fotómetros

CCDs

CMOS



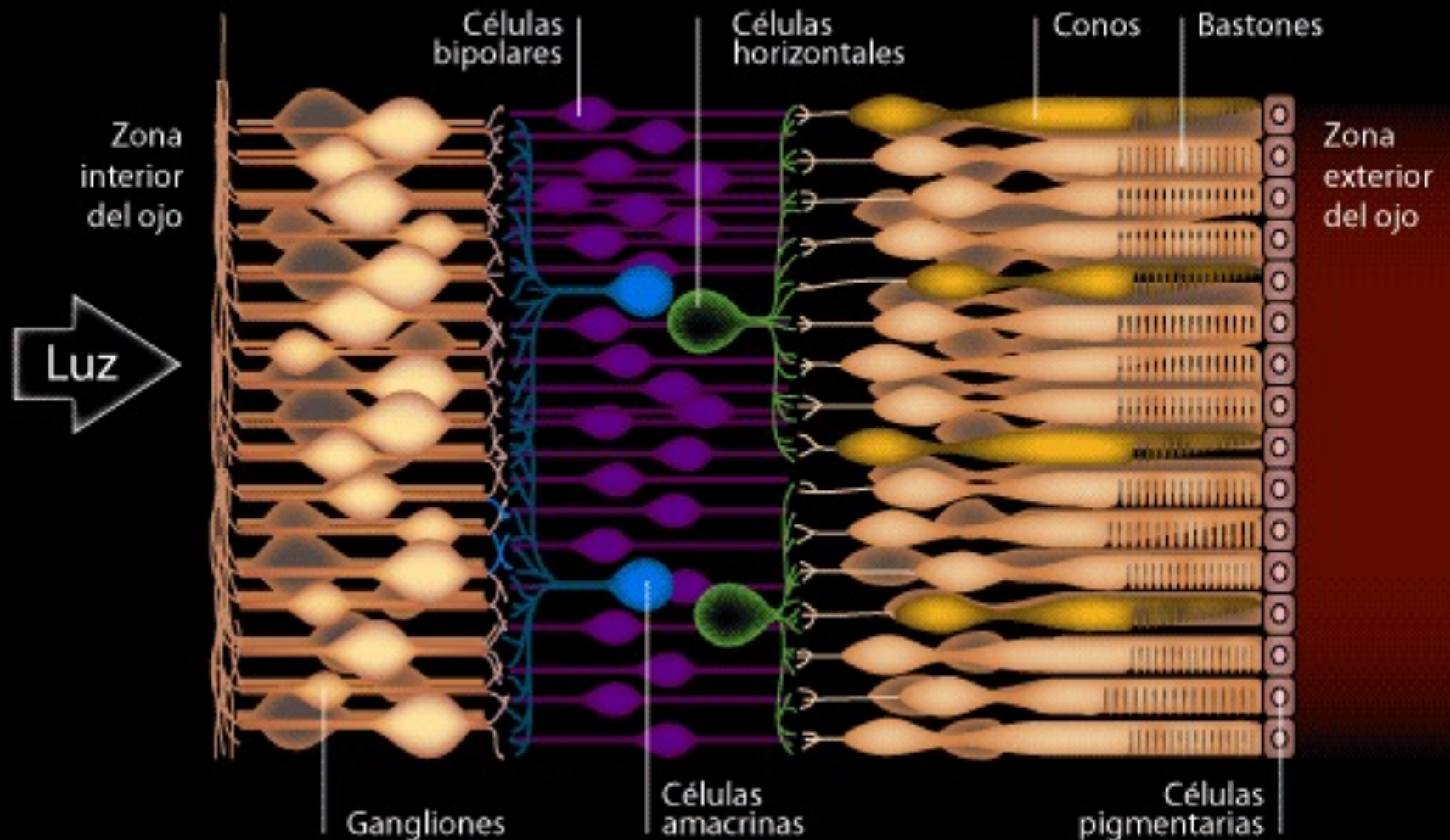
El Ojo humano



Globo 2,5 cm de diámetro, lleno de un gel transparente llamado humor vítreo.

Elementos sensibles

Conos y bastones en la retina



Conos y bastones

Absorption Spectra of Human Visual Pigments

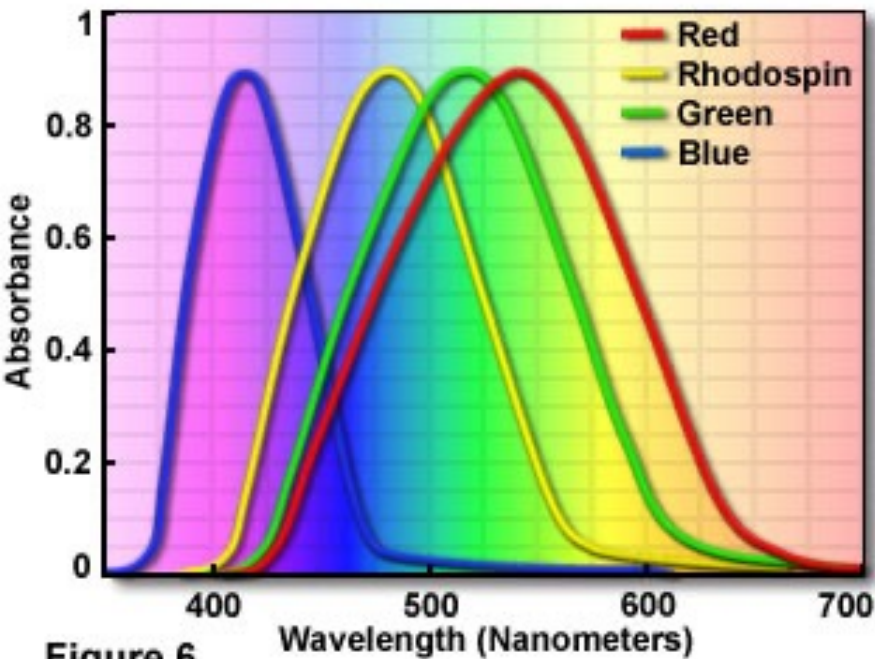


Figure 6

Cone and Rod Cell Distribution in the Retina

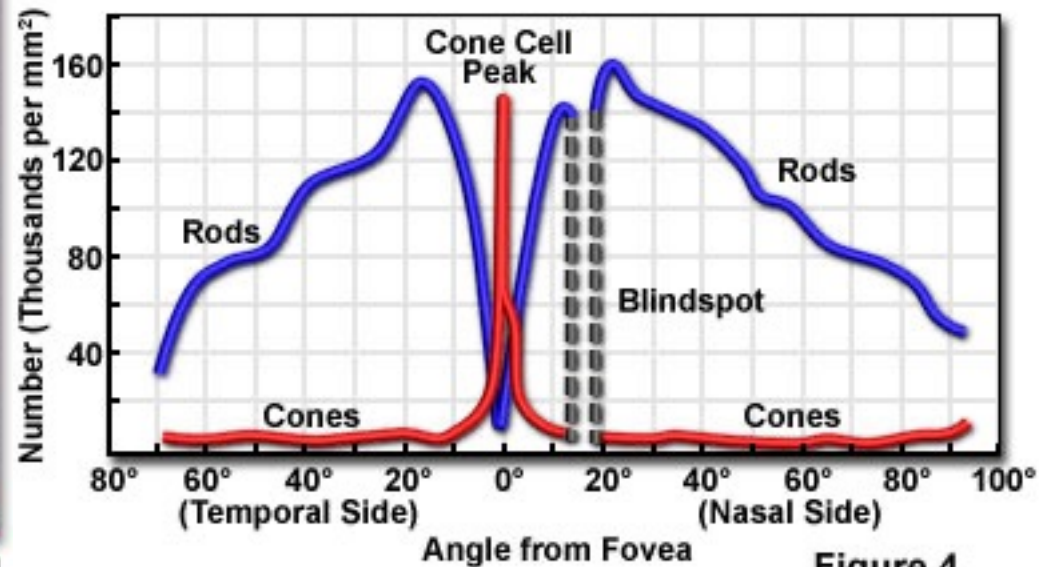


Figure 4

Pupila



Diámetro entre 3 y 4,5 milímetros en el ojo humano.
En la oscuridad puede llegar hasta los 5 a 9 mm.

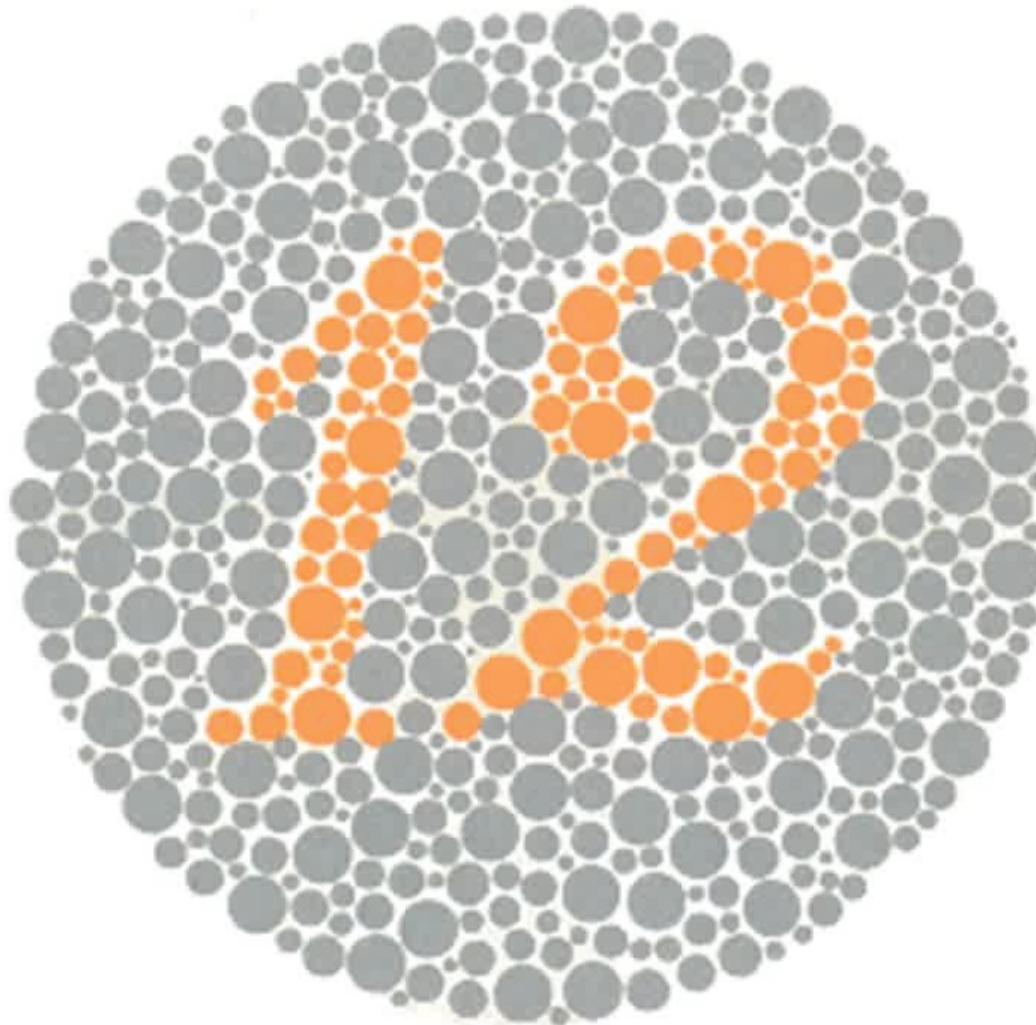
Defectos

- **Ceguera:** pérdida total o muy severa de la capacidad visual.
- **Miopía:** punto focal se forma delante de la retina
- **Hipermetropía:** punto focal se forma detrás de la retina
- **Astigmatismo:** diferente capacidad de refracción entre dos meridianos oculares, los objetos se ven desenfocados.
- **Presbicia:** pérdida progresiva y gradual de la elasticidad del cristalino, dificultad para ver con claridad los objetos cercanos
- **Daltonismo:** dificultad para distinguir el rojo y el verde, aunque hay casos en que también es difícil diferenciar otros colores.

Test de daltonismo de Ishihara

Test de Daltonismo

Fig. 1



Cartas de Ishihara

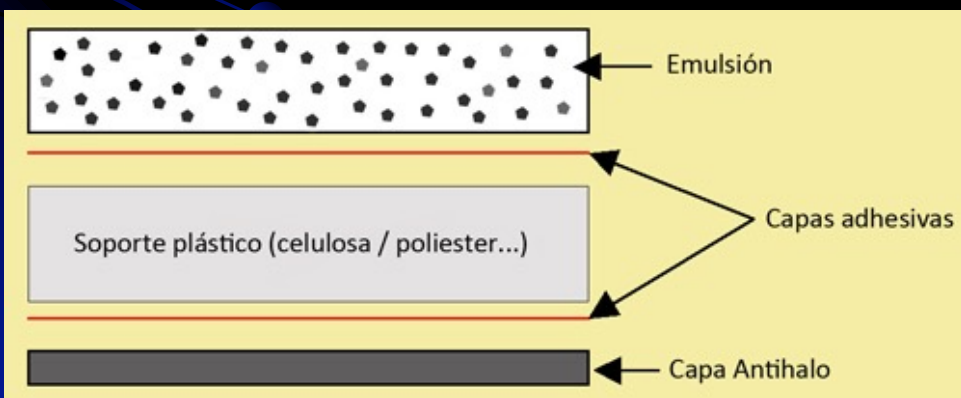
www.daltonismo.es

La emulsión fotográfica

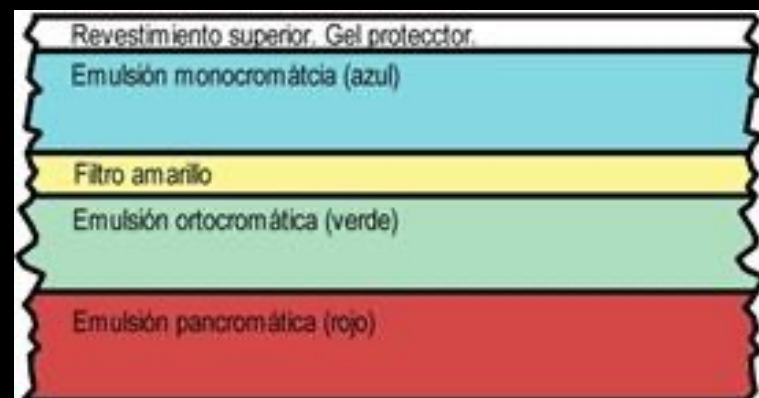
La emulsión fotográfica es un coloide sensible a la luz. Consiste en cristales de Haluro de Plata dispersos en Gelatina. La emulsión es depositada en un substrato de vidrio, film (nitrato de celulosa, acetato de celuloso o polyester), papel o tela.

No es realmente una emulsión, sino una suspensión de partículas sólidas en un fluido.

Blanco y Negro



Color

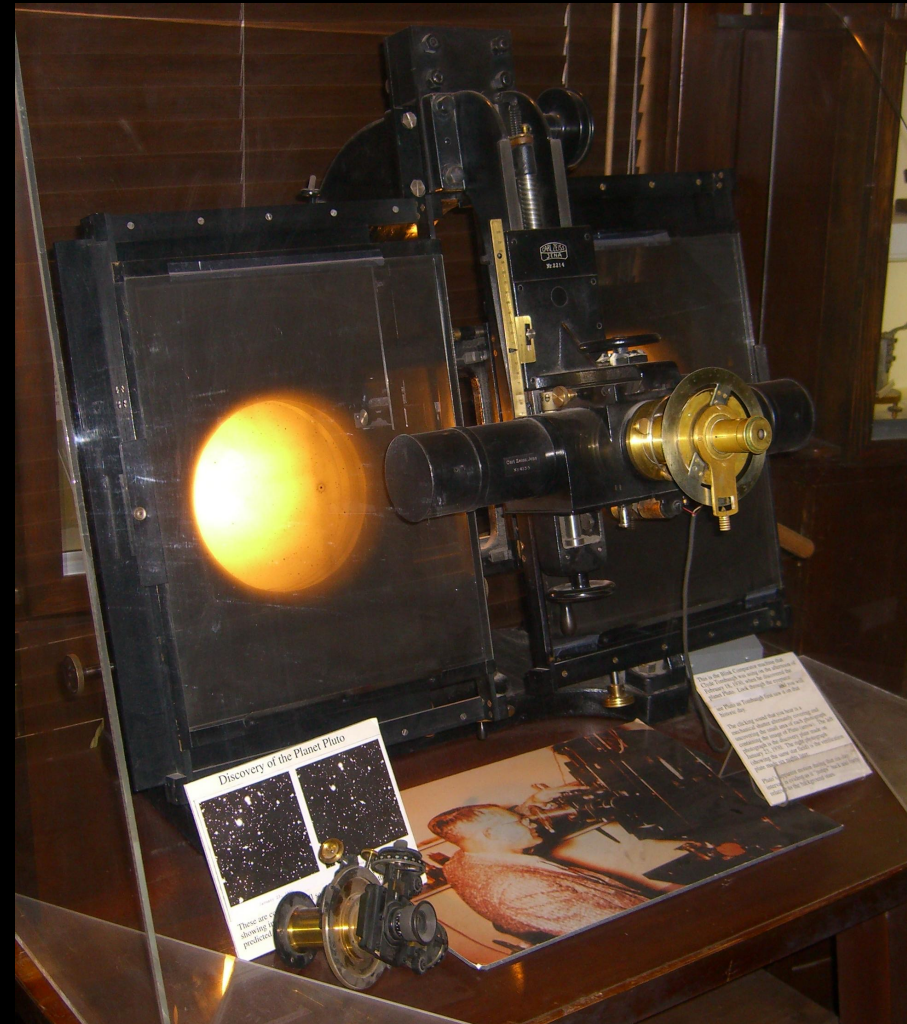


Pasos del revelado

- Revelado
- Baño de paro, detención del revelador
- Lavado
- Fijación
- Lavado
- Secado

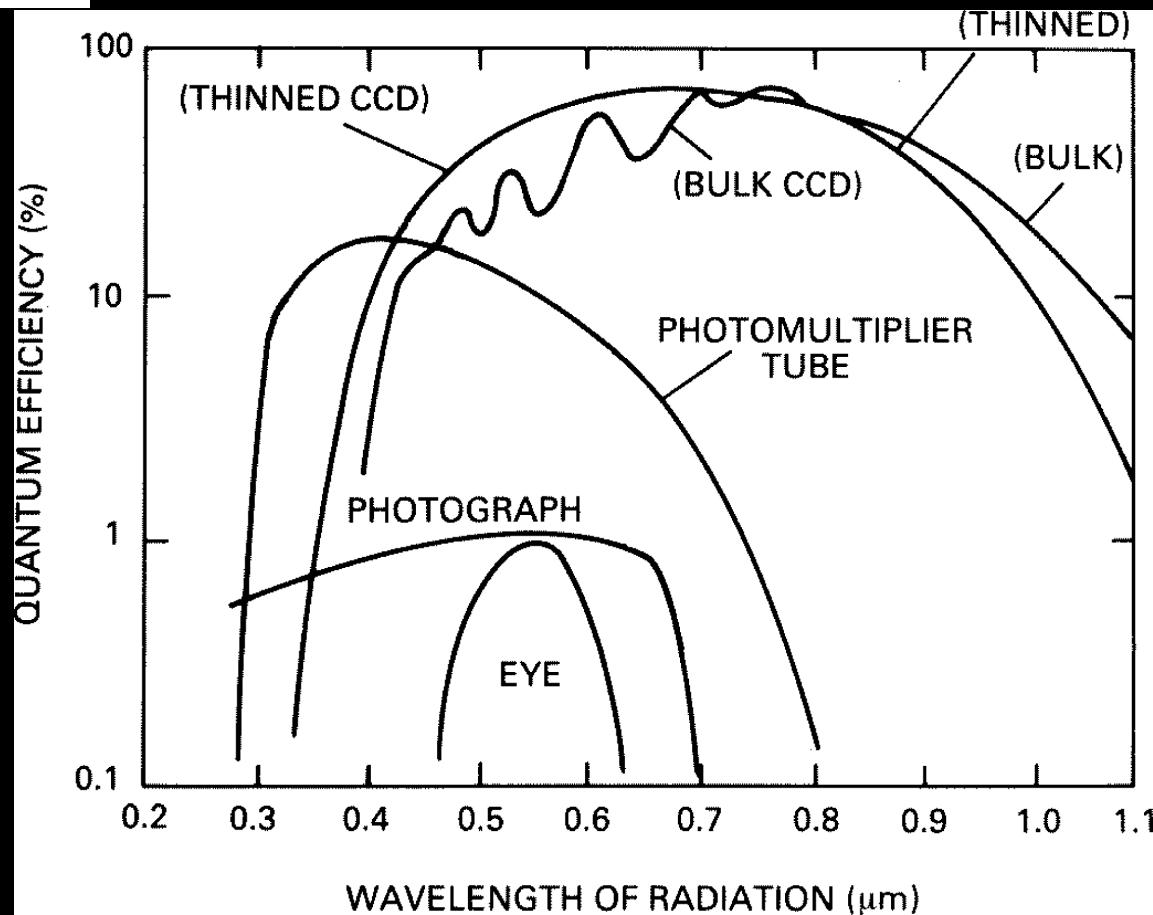
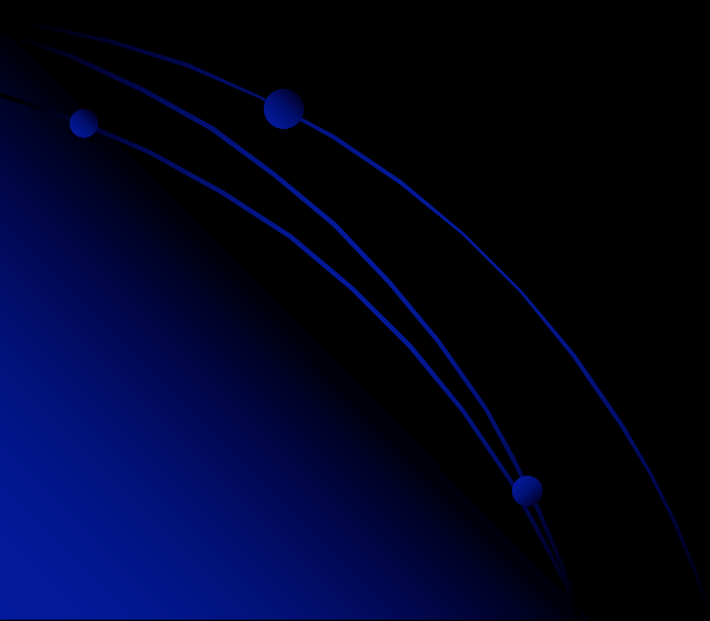


Placas fotográficas

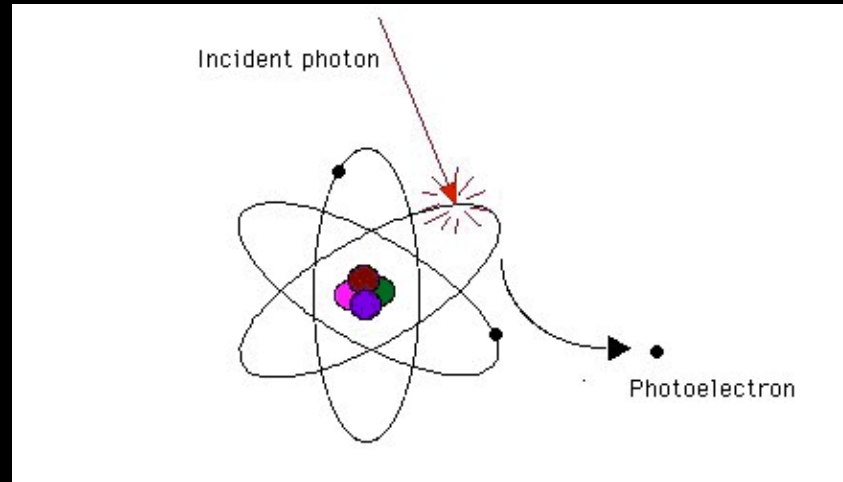


Eficiencia Cuántica

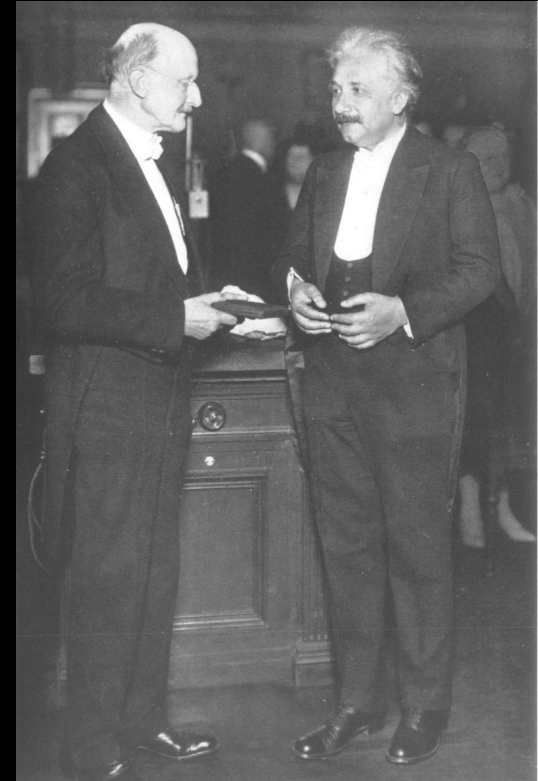
$$Q = \frac{\text{Numero de fotones registrados}}{\text{Numero de fotones incidentes}}$$



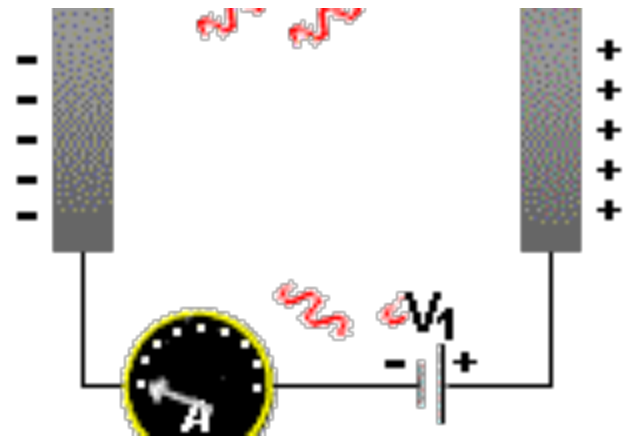
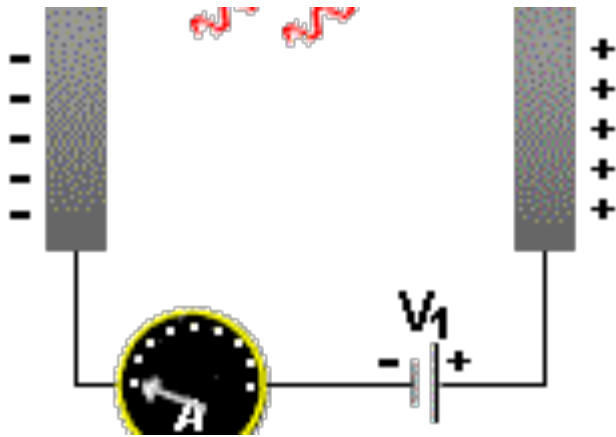
El efecto fotoeléctrico



*"On a Heuristic Viewpoint
Concerning the Production and
Transformation of Light"*
(1905, Premio Nobel 1921)



El efecto fotoeléctrico



La explicación de Einstein del efecto fotoeléctrico

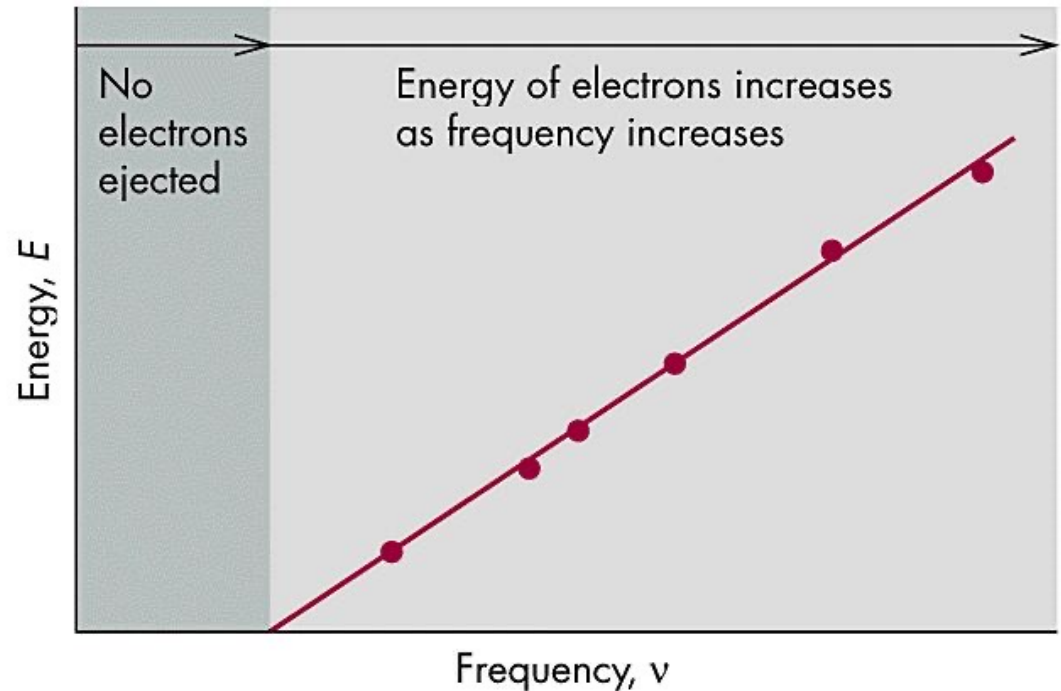
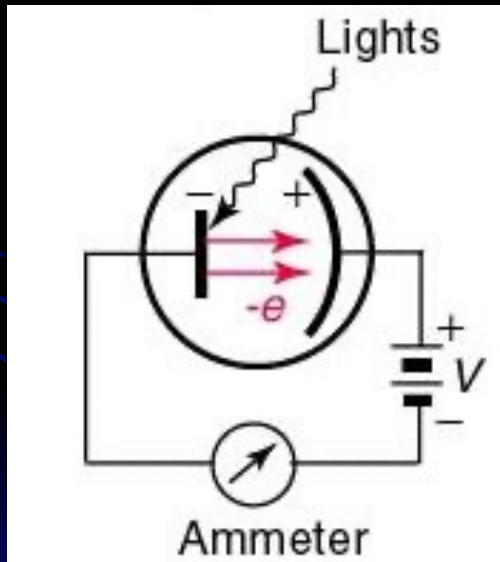
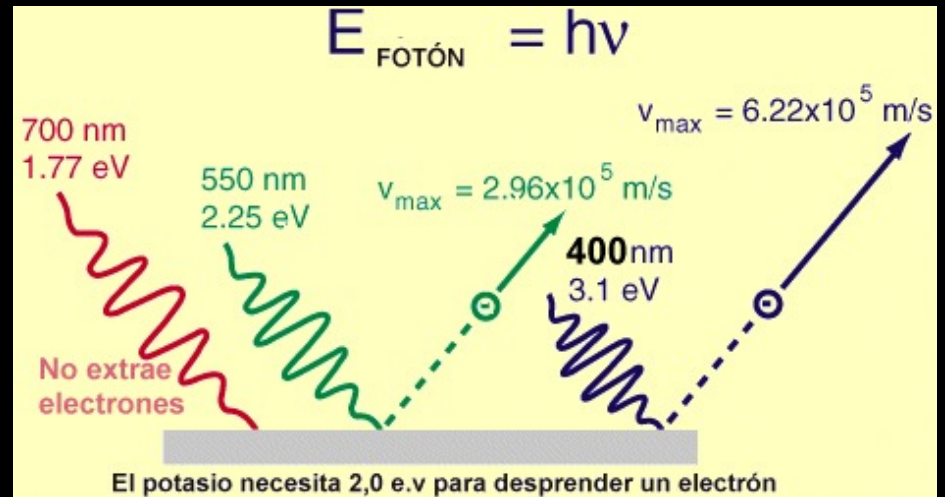
- Efecto: Iluminando un metal se pueden liberar electrones.
- Datos experimentales:
 - Mas sencillo con luz ultravioleta (altas frecuencias) y difícil para luz roja (bajas frecuencias)
 - Energía de los electrones depende de la frecuencia de la luz incidente
 - El incremento de la intensidad de la luz incrementa el número de electrones emitidos pero no la energía de cada electrón.
- Si la energía de la luz esta cuantizada, y esta depende de la frecuencia (ν)

$$E = h \nu$$

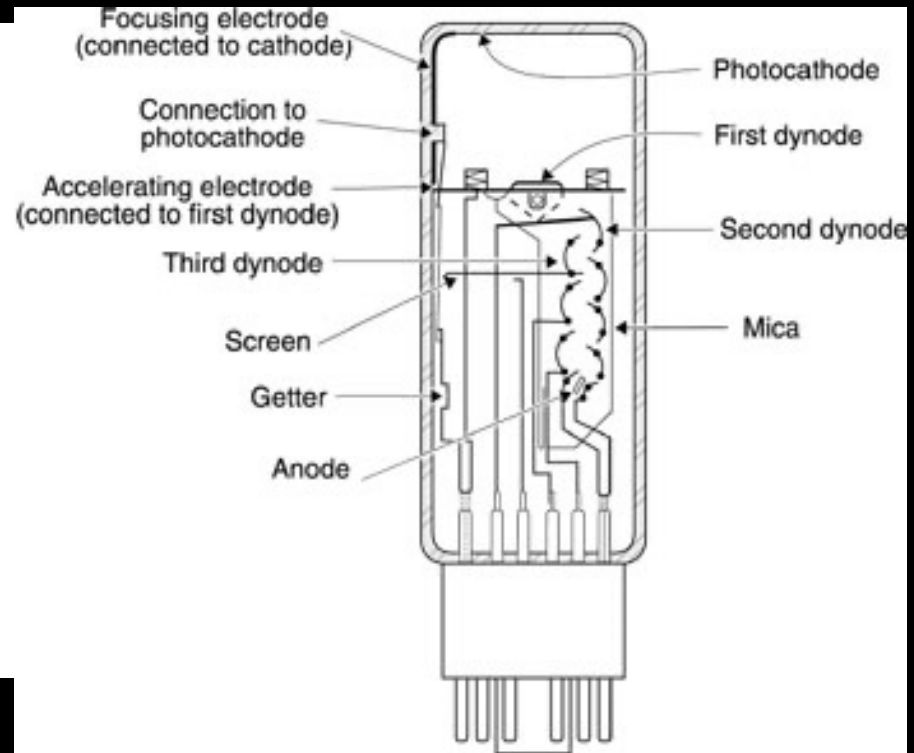
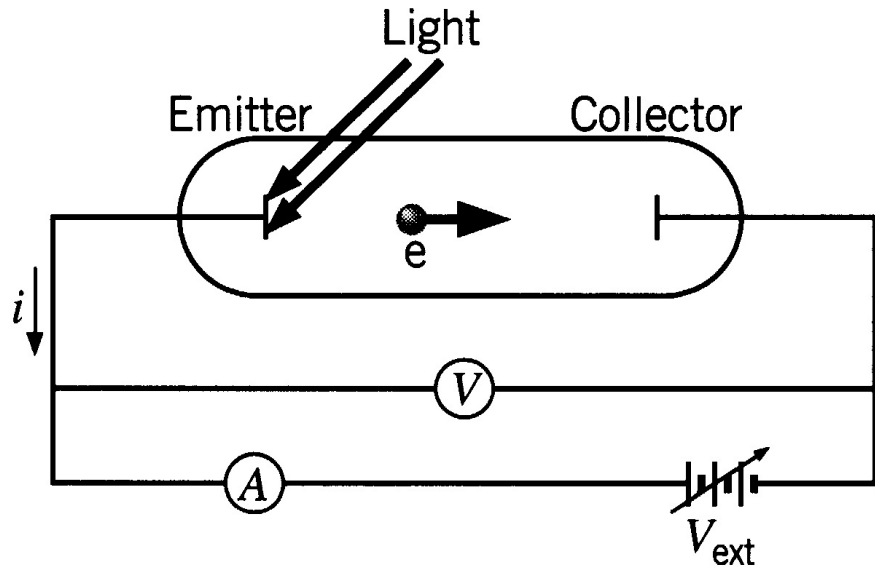
- La energía de los electrones liberados será igual a la energía del fotón incidente menos la energía del ligadura del electrón (E_0)

$$\Delta E = h \nu - E_0$$

Experimento de Millikan (1916)



Tubos fotomultiplicadores



Animación de un tubo fotomultiplicador

Metal Oxide Semiconductors

Metal Oxide Semiconductor (MOS) Capacitor

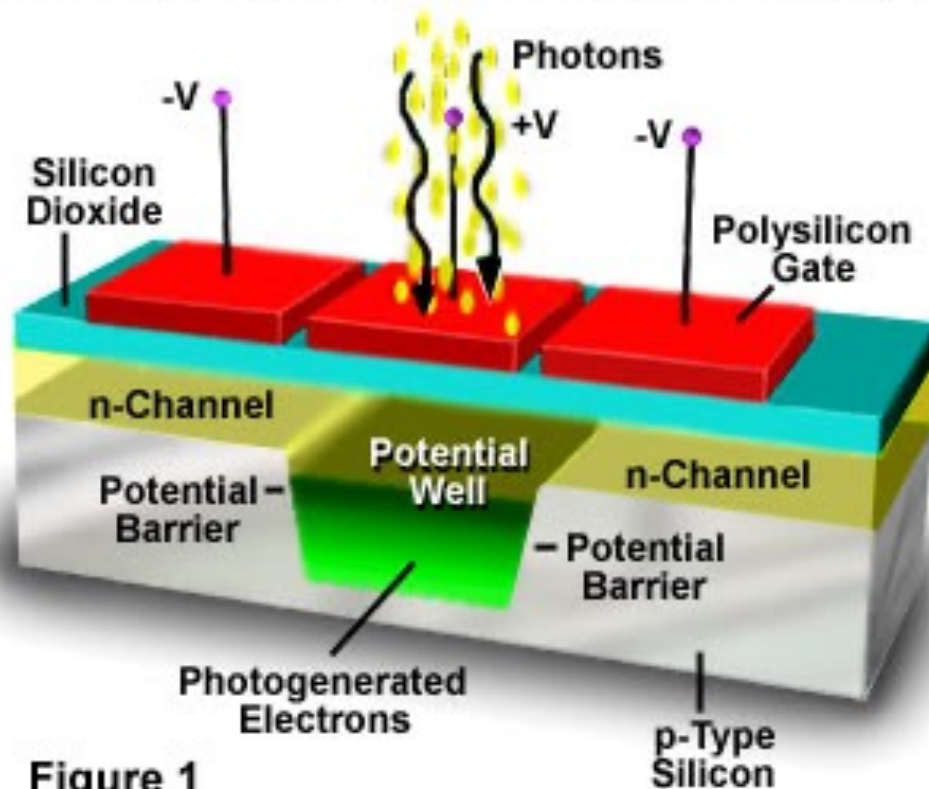
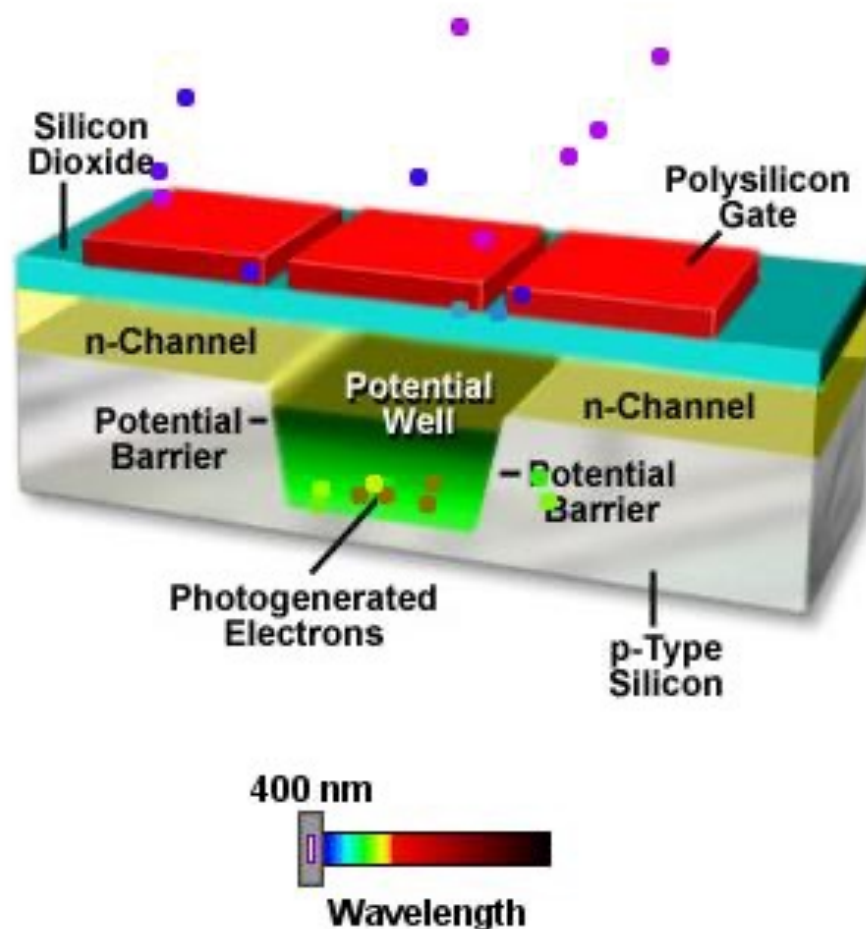


Figure 1

Fabricar un CCD

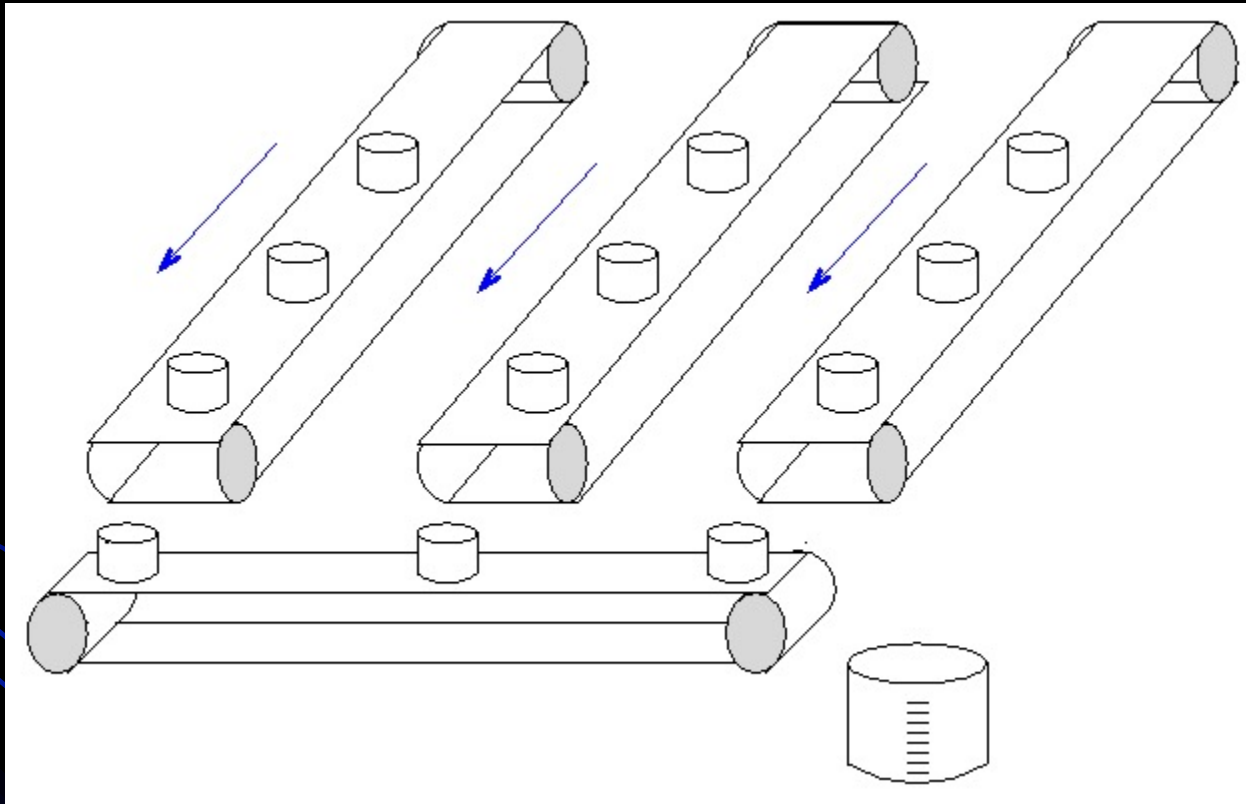
La respuesta color de los MOS



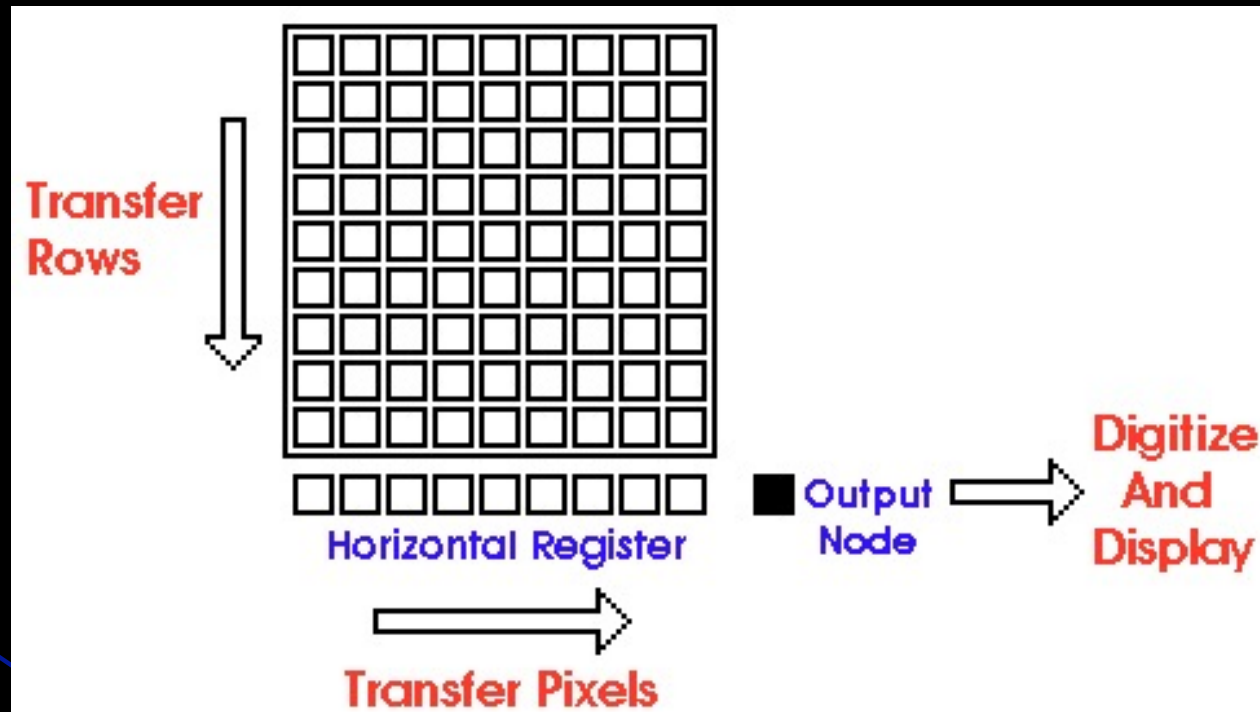
La dependencia con la longitud de onda

CCD (analogia)

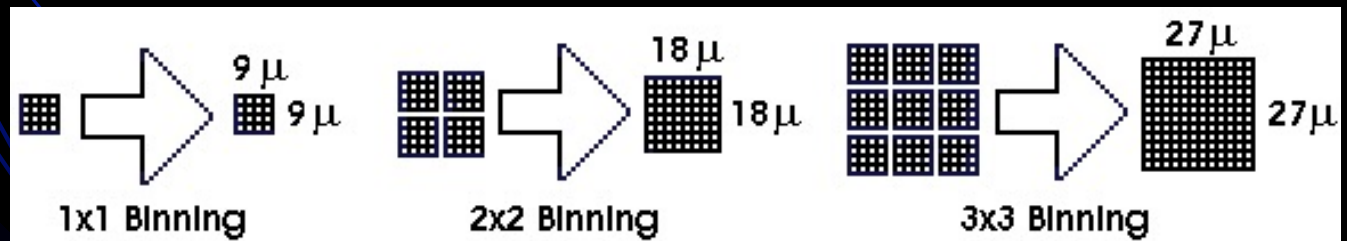
Charge-Coupled Device



Transferencia de cargas



Binning:
agrupamiento de
pixeles



Transferencia de electrones

Two Phase CCD Clocking

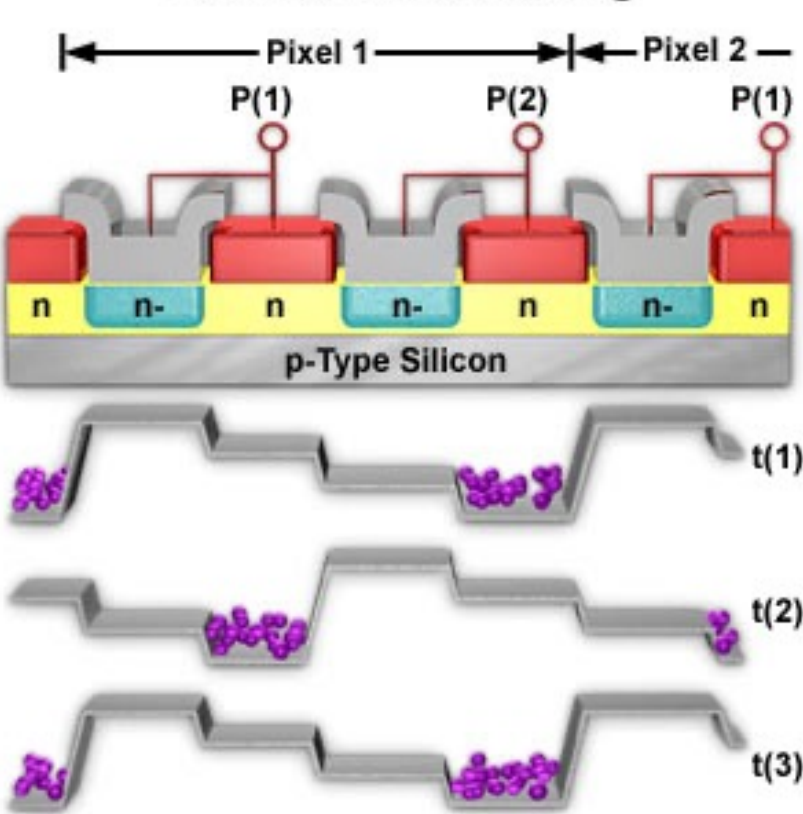
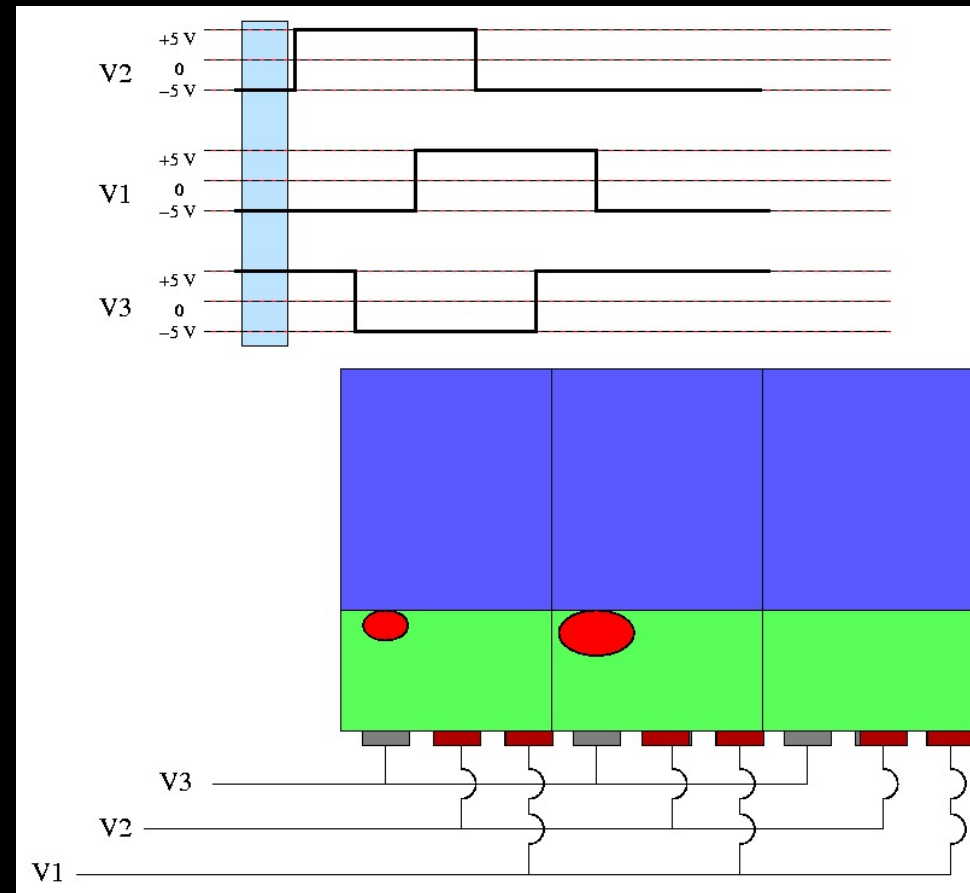
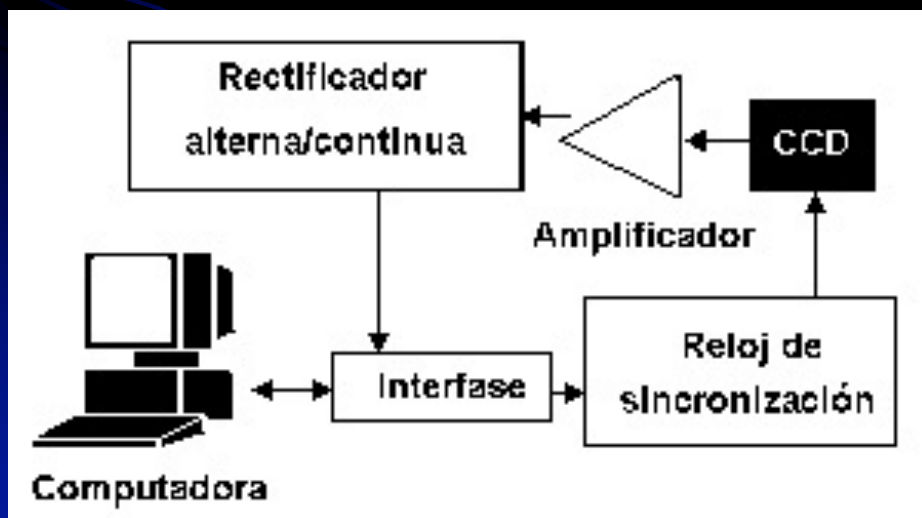
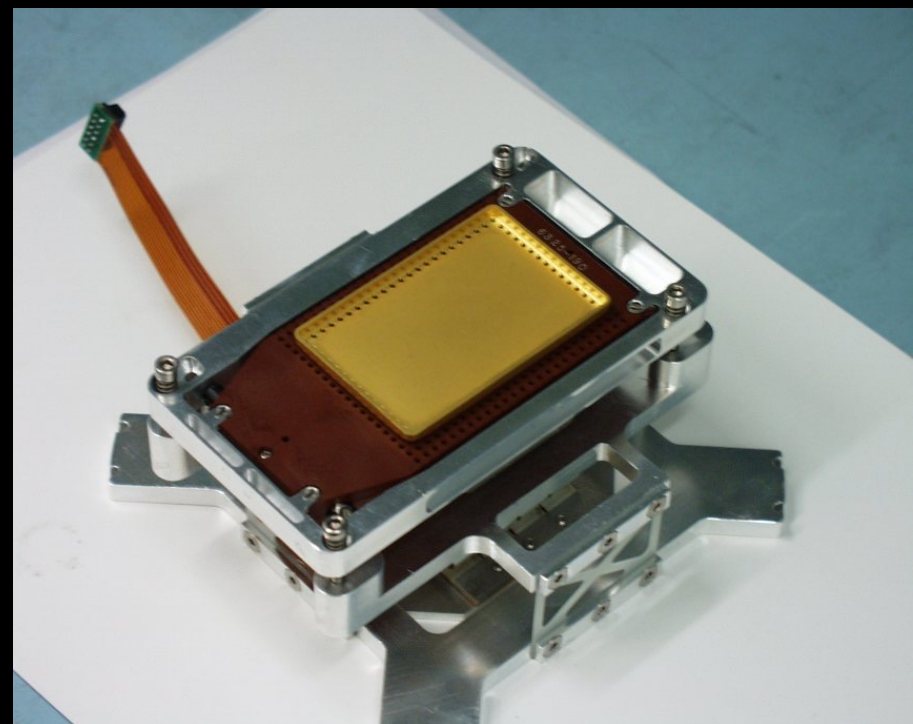
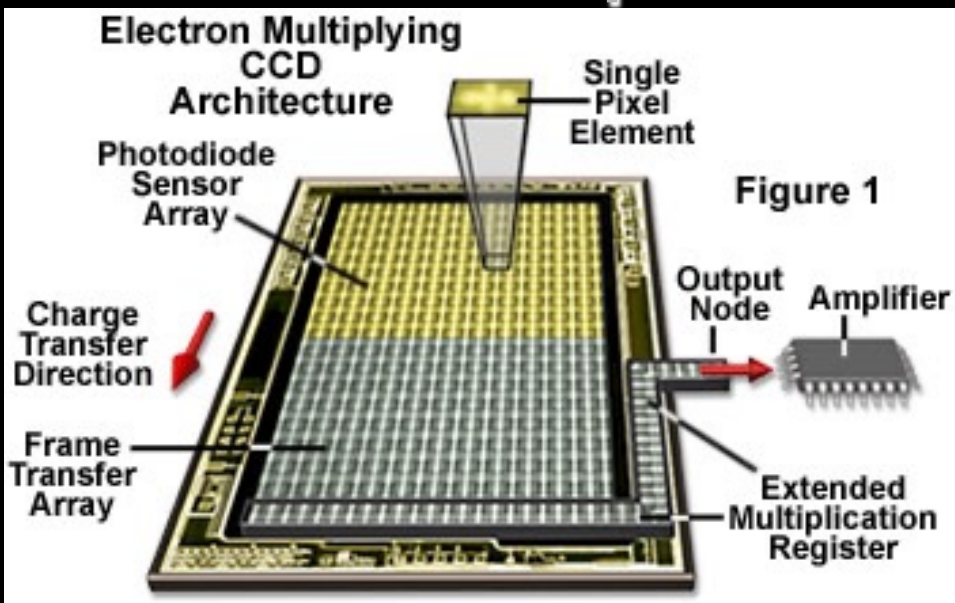


Figure 1

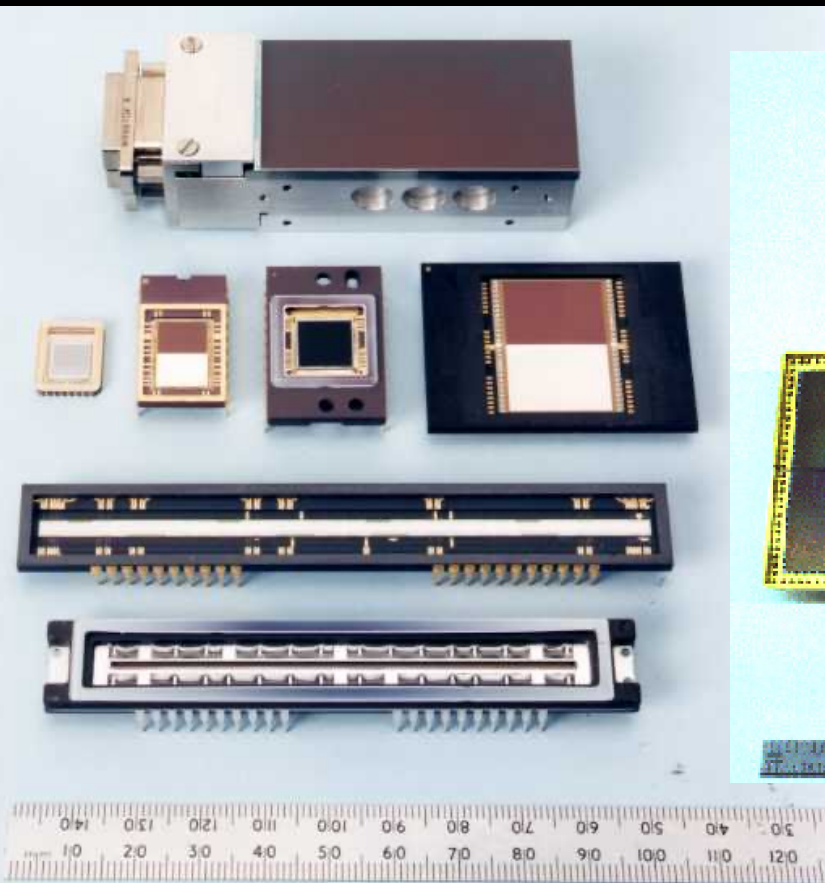
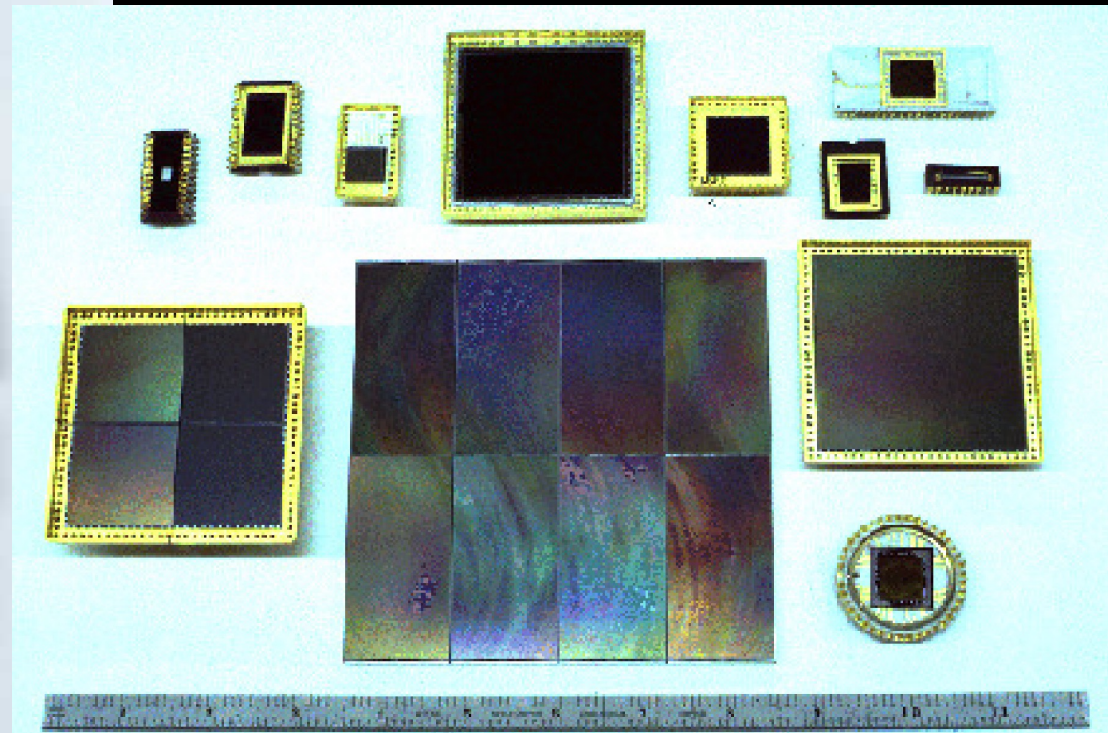


Animación de la transferencia de cargas

Componentes de CCD

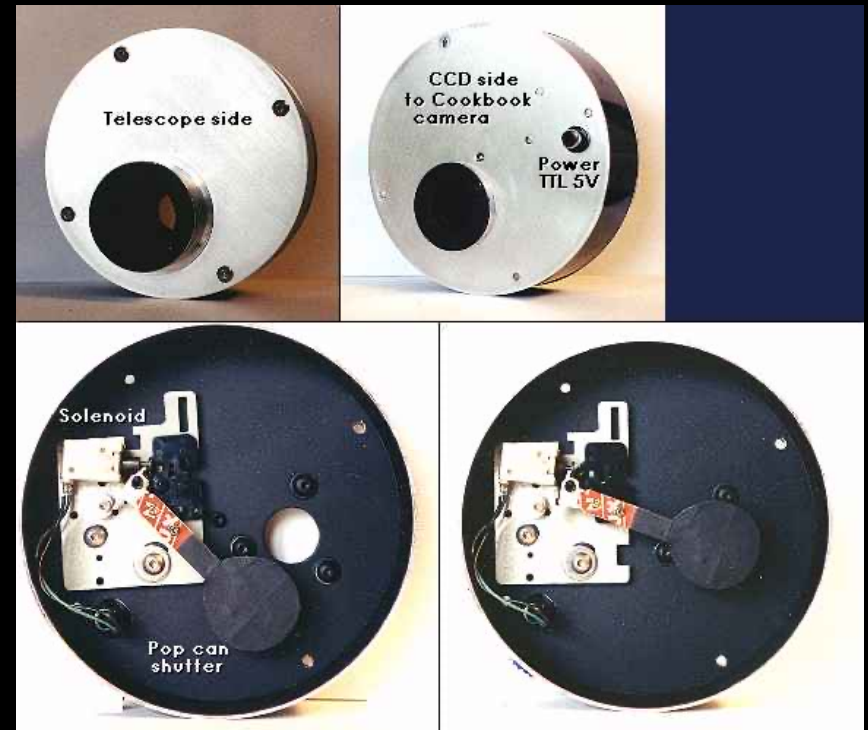


CCDs



El tiempo de integración

El chip se mantiene expuesto mientras se acumulan electrones en el pozo de potencial. Luego se cierra el obturador y se comienza el proceso de transferencia de cargas y de lectura.

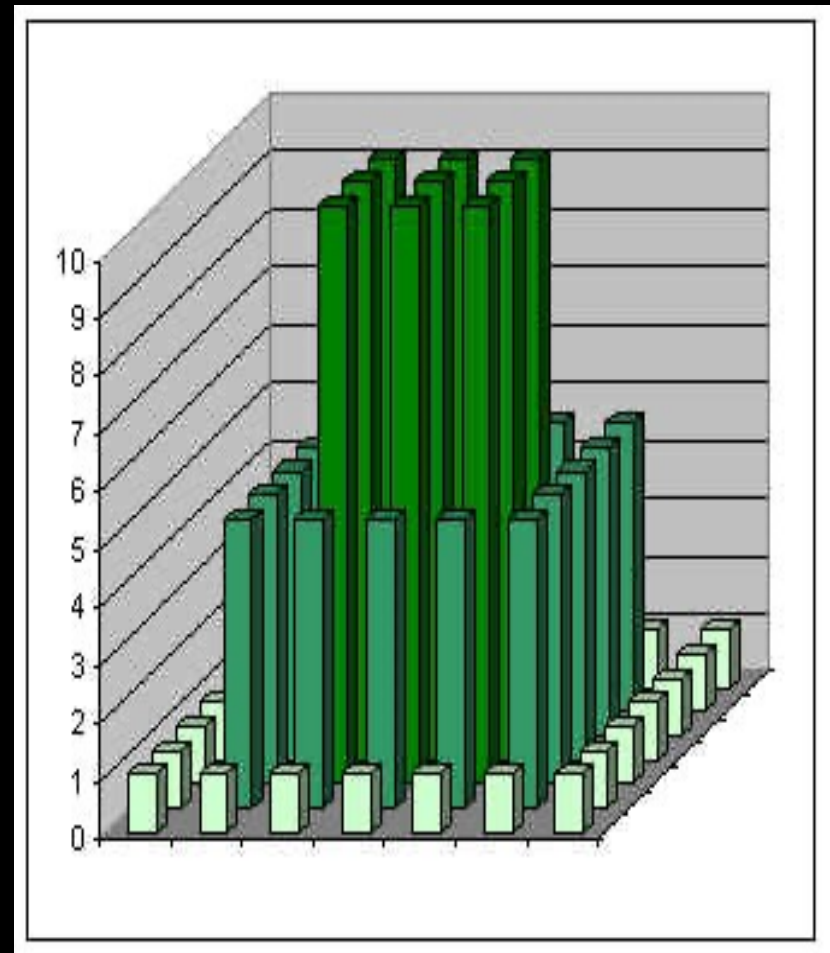


Salida

Matriz digital en formato binario

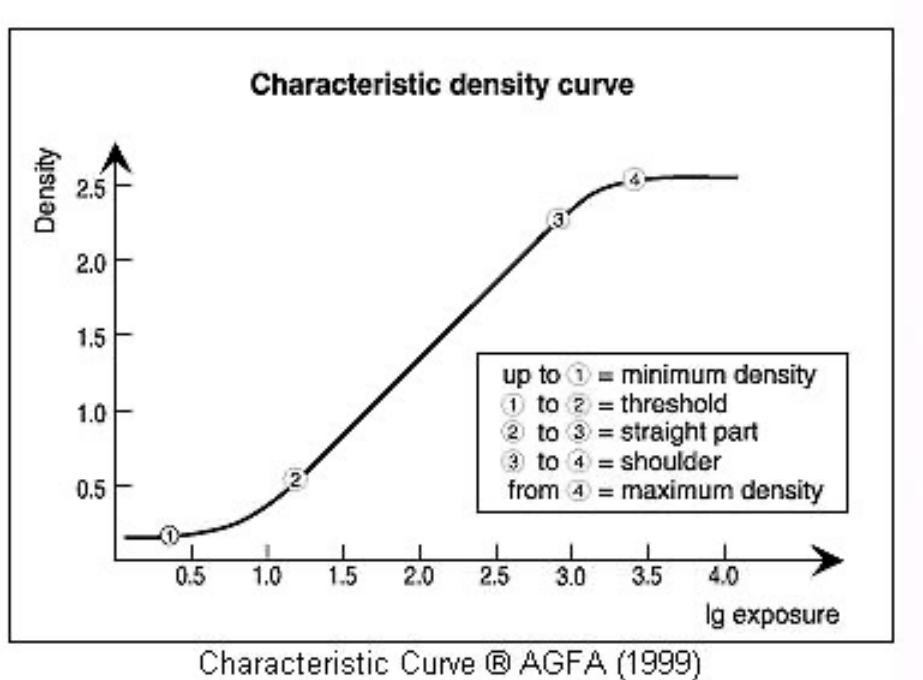
Los valores de cada pixel se denominan ***cuentas***

1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	5	5	5	5	5	1	1
1	1	5	10	10	10	5	1	1
1	1	5	10	10	10	5	1	1
1	1	5	10	10	10	5	1	1
1	1	5	10	10	10	5	1	1
1	1	5	10	10	10	5	1	1
1	1	5	5	5	5	5	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1

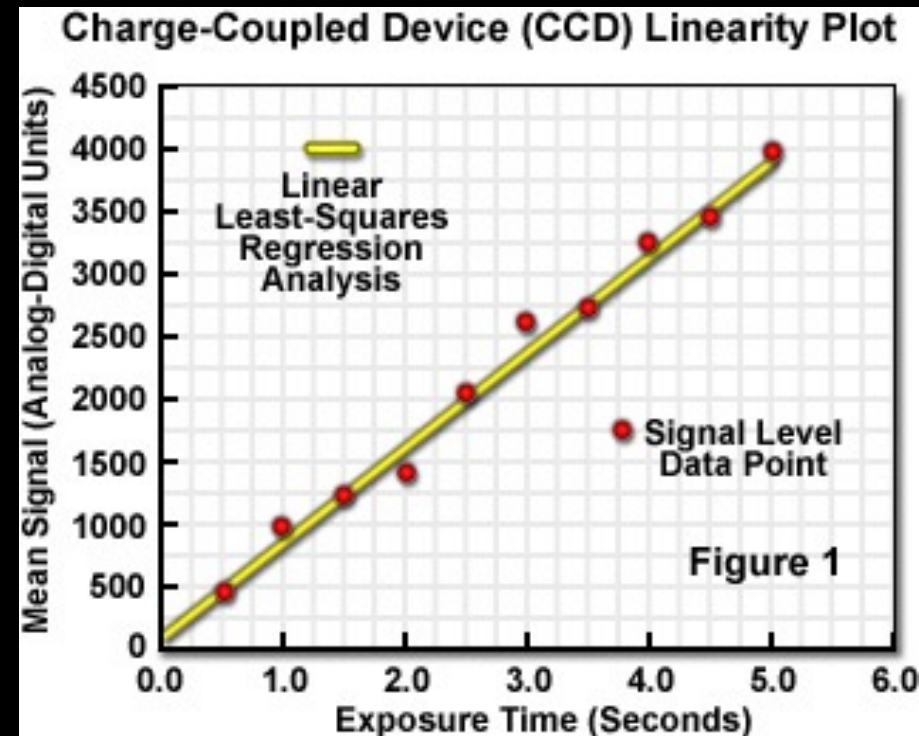


Linearidad del CCD

Respuesta logarítmica de las películas fotográficas y del ojo humano

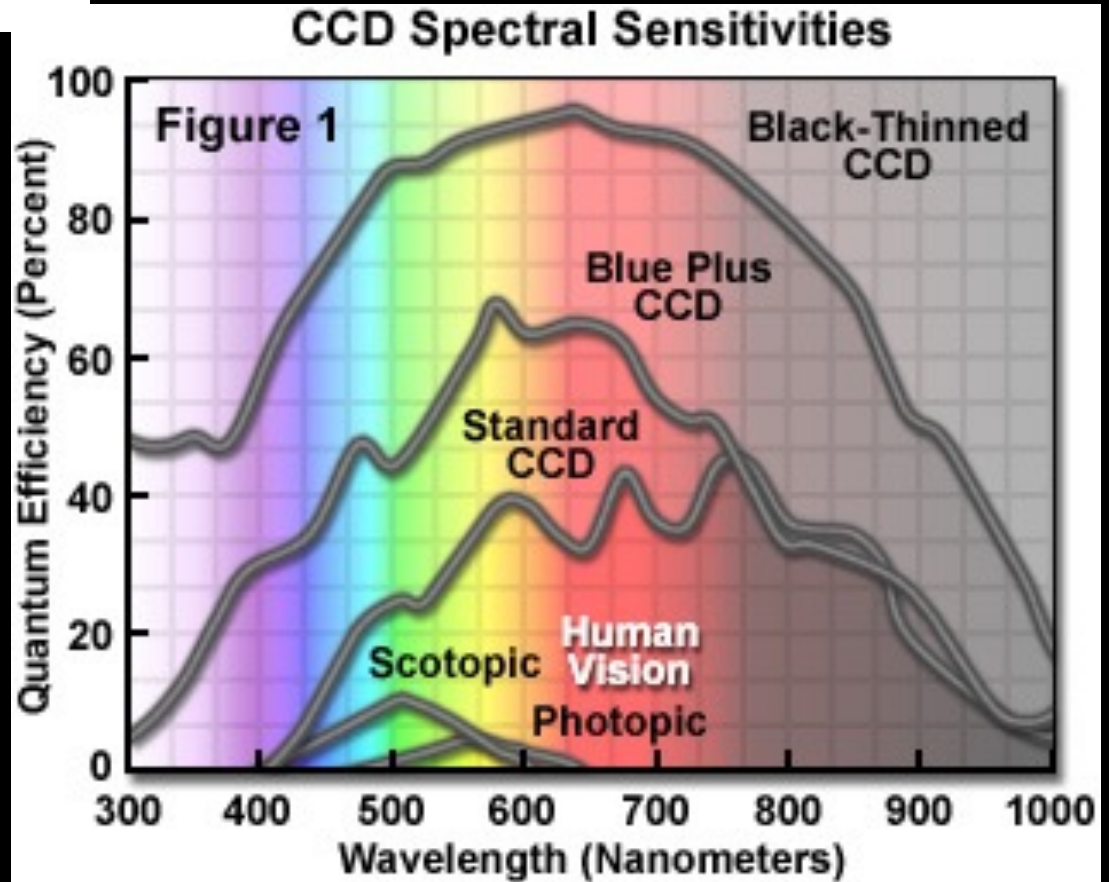


Respuesta lineal del CCD



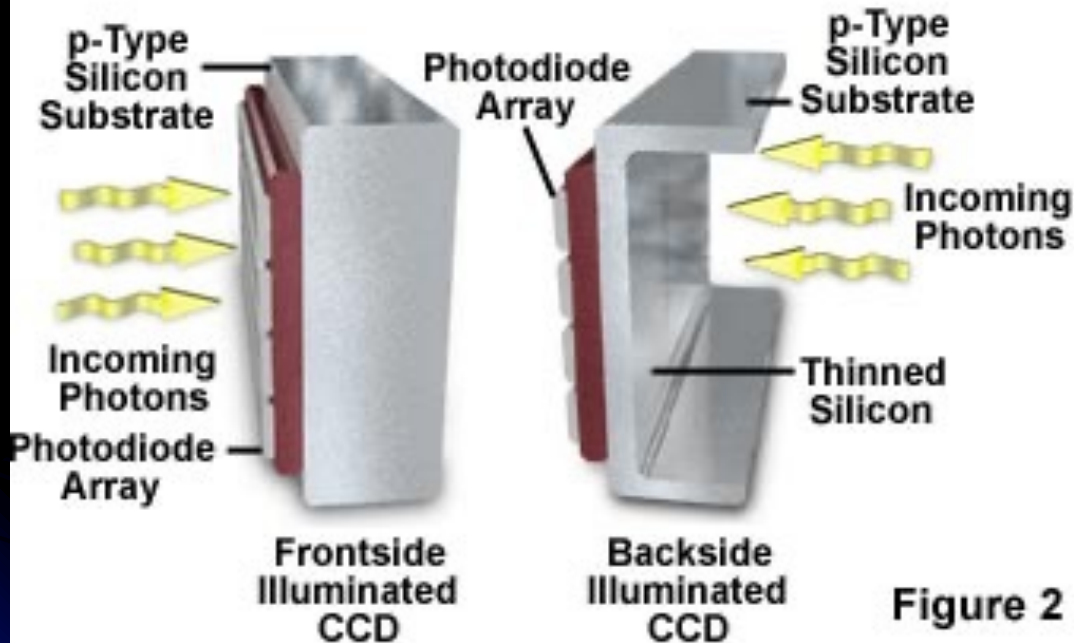
Eficiencia Cuántica

$$Q = \frac{\text{Numero de fotones registrados}}{\text{Numero de fotones incidentes}}$$

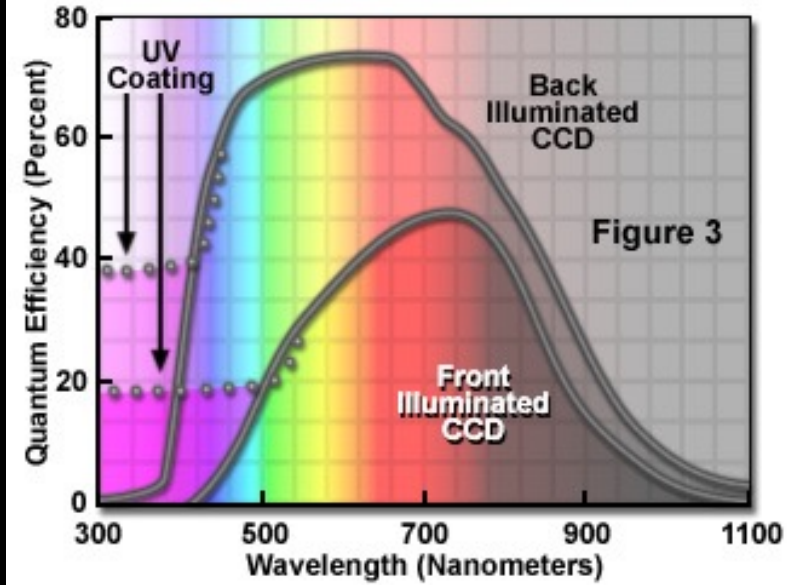


Back vs Front Illuminated

Frontside and Backside Illuminated CCDs

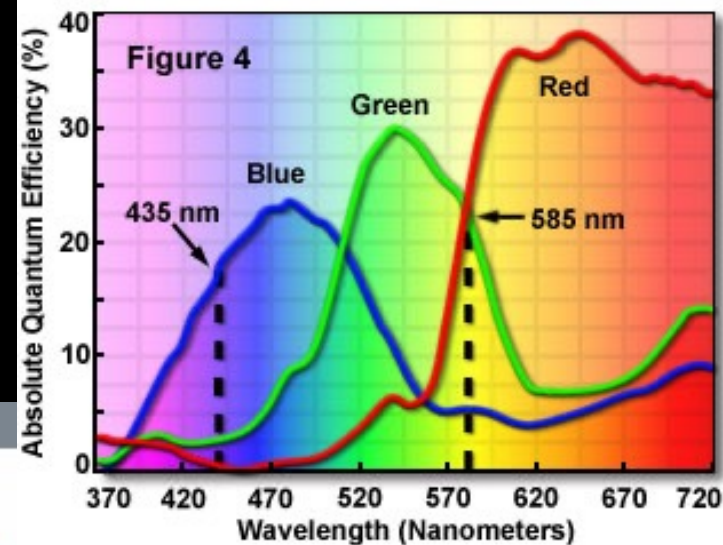


Frontside and Backside CCD Quantum Efficiency

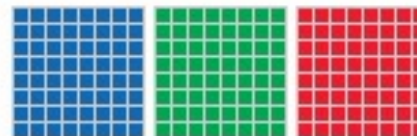
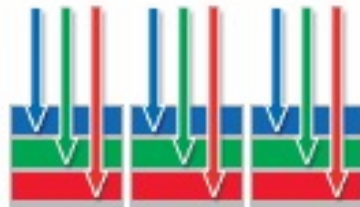
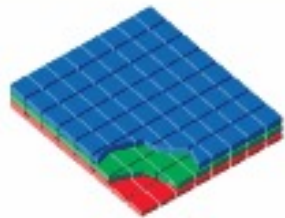


El color en los CCD

Bayer Filter Transmission Spectral Profiles



Foveon X3 Capture

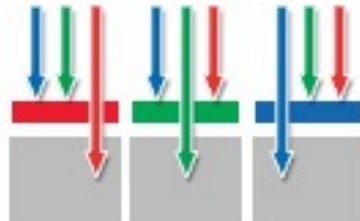


A Foveon X3 image sensor features three separate layers of photo-detectors embedded in silicon

Since silicon absorbs different wavelengths of light at different depths, each layer captures a different color.

As a result, only Foveon X3 image sensors capture red, green and blue light at every pixel location.

Mosaic Capture



In conventional systems, color filters are applied to a single layer of photo-detectors in a tiled mosaic pattern.

The filters let only one wavelength of light—red, green or blue—pass through to any given pixel, allowing it to record only one color.

As a result, typical mosaic sensors capture 50% of the green and only 25% of the red and blue light.

CCD vs CMOS

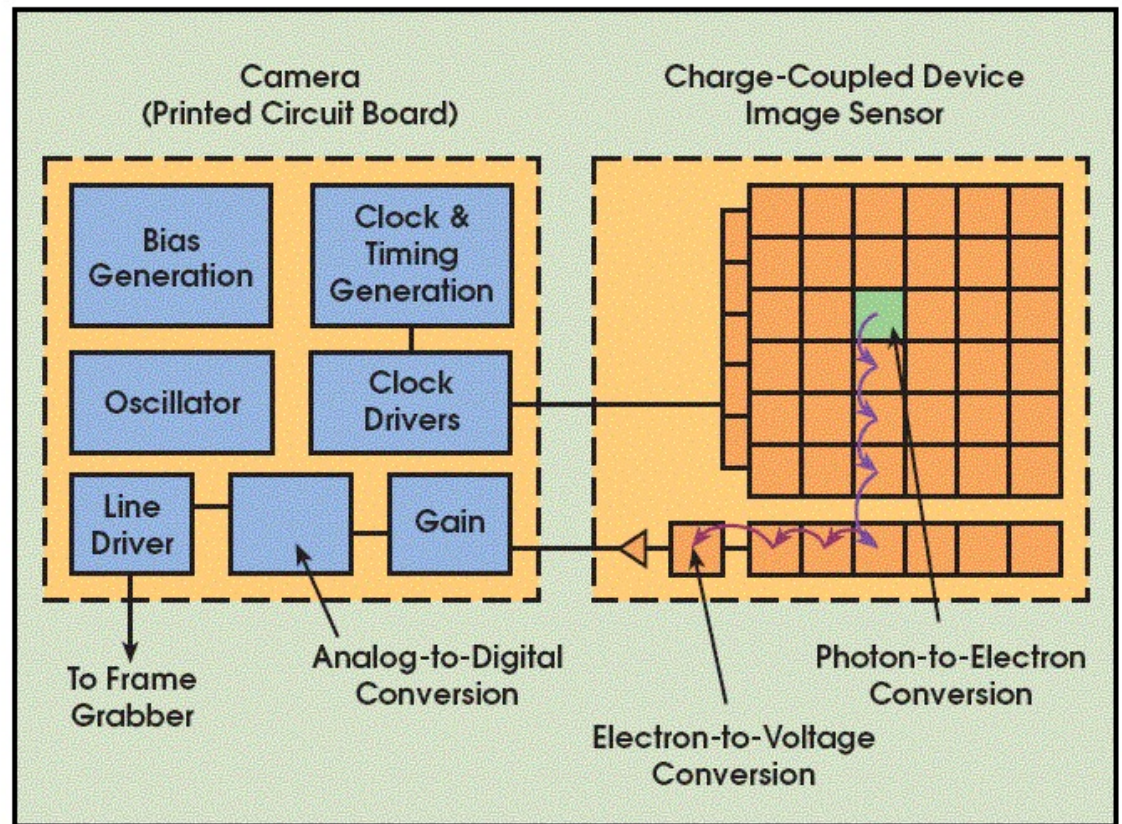


Figure 1. On a CCD, most functions take place on the camera's printed circuit board. If the application's demands change, a designer can change the electronics without redesigning the imager.

CCD vs CMOS

Camera
(Printed Circuit Board)

Complementary Metal Oxide Semiconductor
Image Sensor

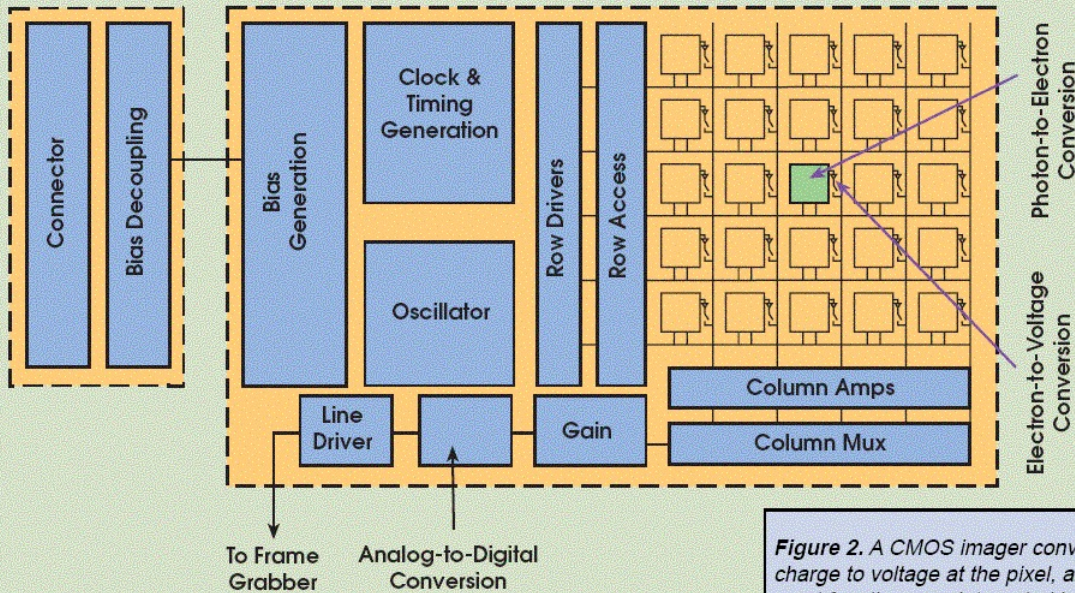
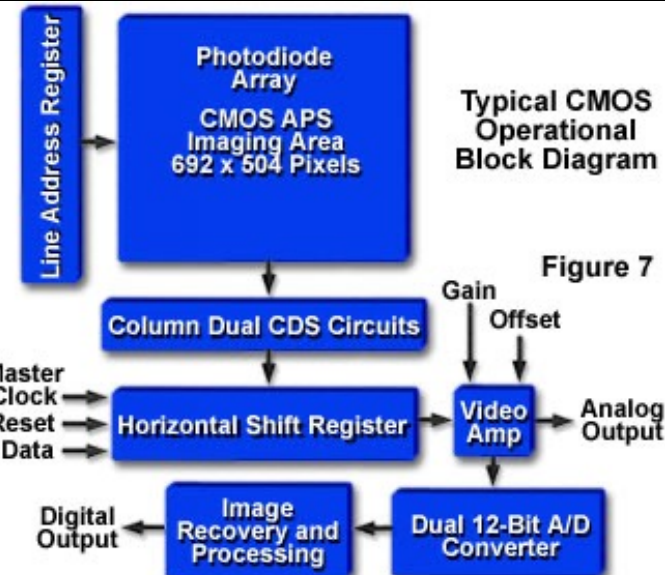


Figure 2. A CMOS imager converts charge to voltage at the pixel, and most functions are integrated into the chip. This makes imager functions less flexible but, for applications in rugged environments, a CMOS camera can be more reliable.



**Typical CMOS
Operational
Block Diagram**

Figure 7

CMOS

CMOS Image Sensor Integrated Circuit Architecture

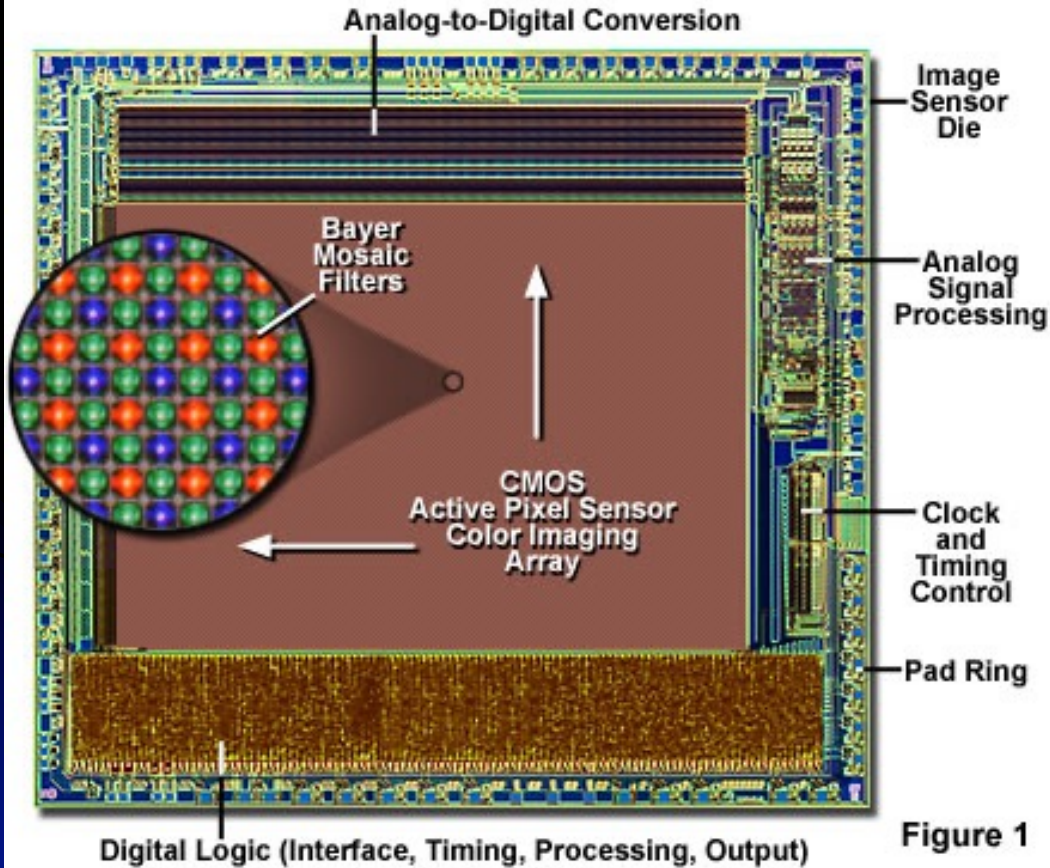


Figure 1

Anatomy of the Active Pixel Sensor Photodiode

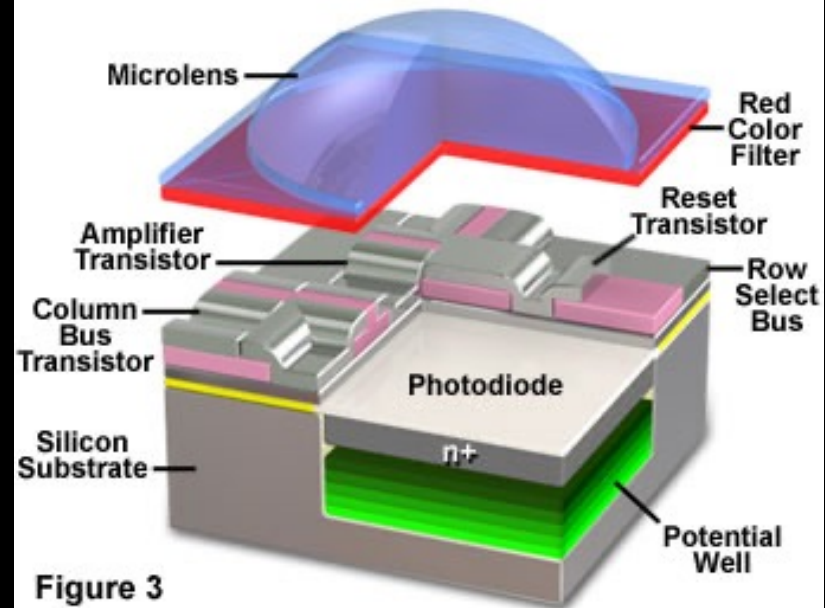
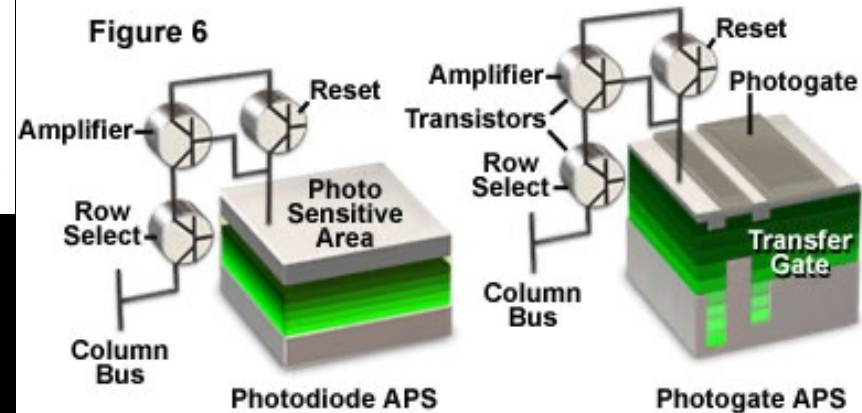


Figure 3

Photodiode and Photogate Structural Features



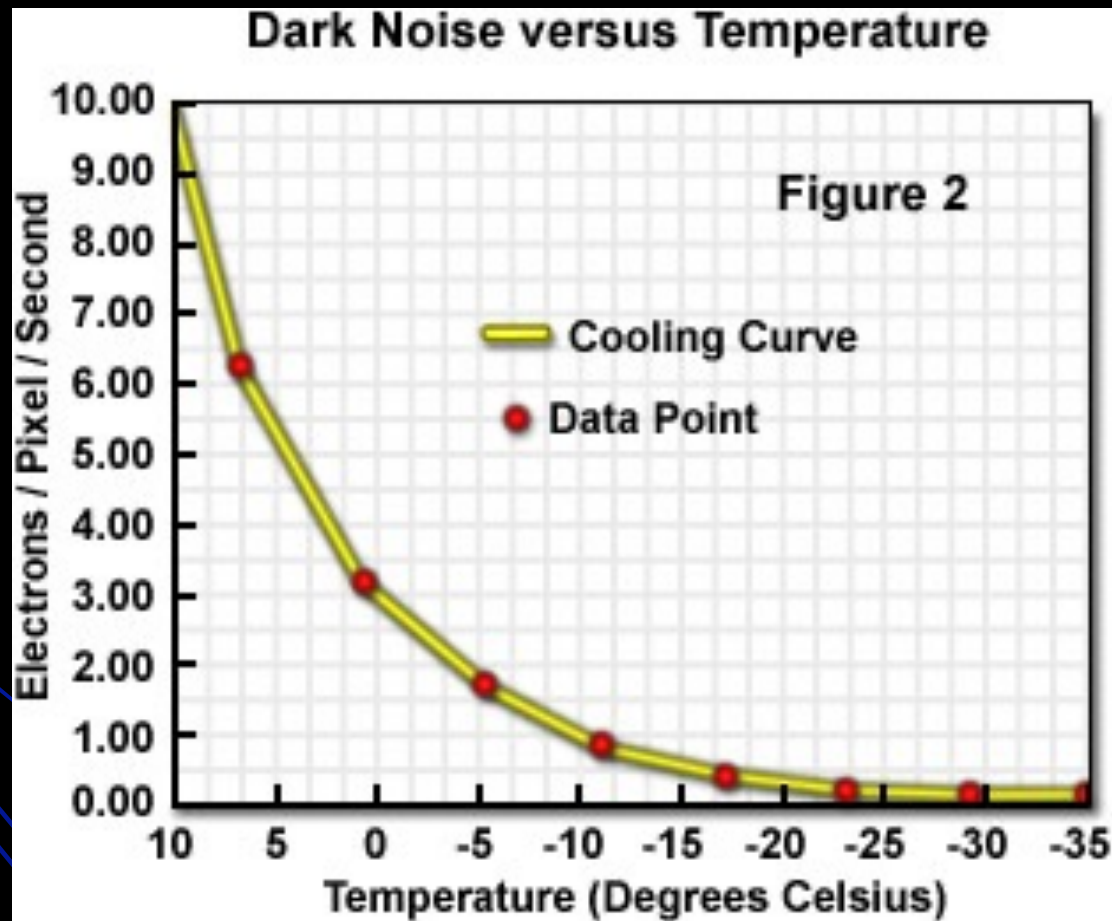
CCD vs CMOS (comparación)

Feature	CCD	CMOS
Signal out of pixel	Electron packet	Voltage
Signal out of chip	Voltage (analog)	Bits (digital)
Signal out of camera	Bits (digital)	Bits (digital)
Fill factor	High	Moderate
Amplifier mismatch	N/A	Moderate
System Noise	Low	Moderate to High
System Complexity	High	Low
Sensor Complexity	Low	High
Camera components	PCB + multiple chips + lens	Chip + lens
Relative R&D cost	Depends on Application	Depends on Application
Relative system cost	Depends on Application	Depends on Application
Performance	CCD	CMOS
Responsivity	Moderate	Slightly better
Dynamic Range	High	Moderate
Uniformity	High	Low to Moderate
Uniform Shuttering	Fast, common	Poor
Uniformity	High	Low to Moderate
Speed	Moderate to High	Higher
Windowing	Limited	Extensive
Antiblooming	High to none	High
Biasing and Clocking	Multiple, higher voltage	Single, low-voltage

Las fuentes de ruido

- **Ruido de lectura** – presente en los preamplificadores y conversores A/D
- **Ruido térmico u oscuro** – depende de los electrones generados térmicamente en la estructura de silicio. Depende fuertemente de la temperatura del chip.
- **Ruido de fotones** – Resulta de la variación estadística inherente a la tasa de arribo de fotones al CCD. Los intervalos de arribo de fotones están gobernados por una estadística de Poisson, y por tanto son equivalentes a la raíz cuadrada de la señal.

Corriente Oscura

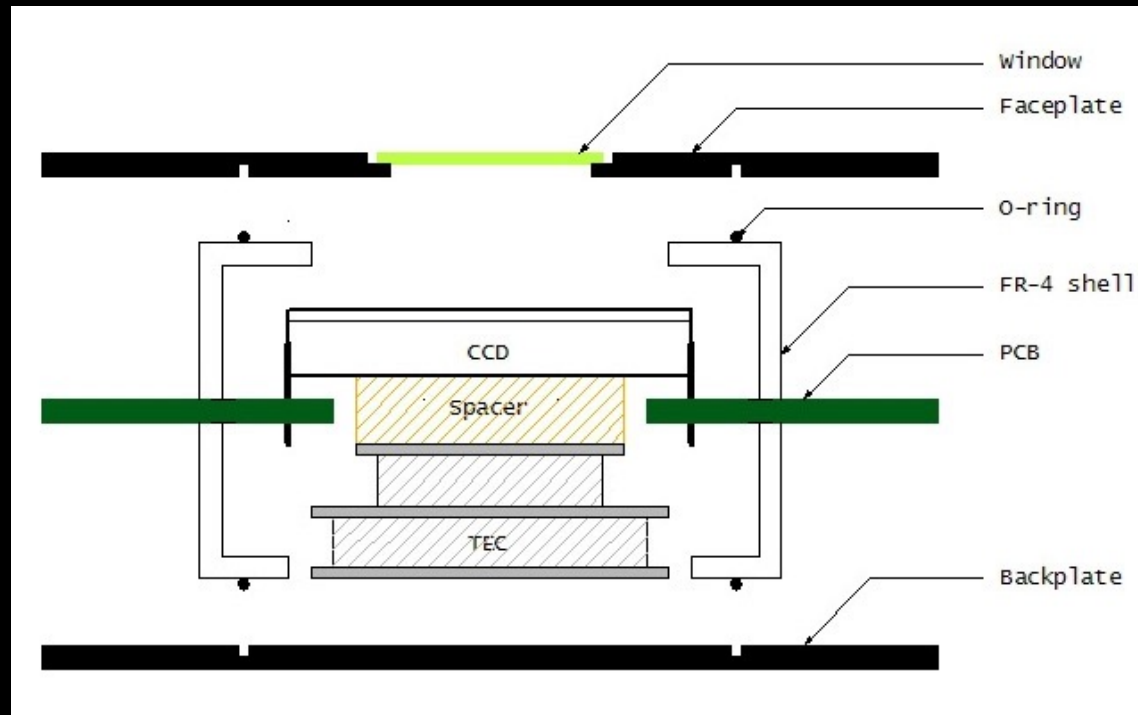


Enfriamiento

Nitrógeno líquido



Enfriamiento termoelectrico – Efecto Peltier



La razón Señal/Ruido (SNR)

$$SNR = \frac{Señal}{Ruido} = \frac{P Q t}{\sqrt{P Q t + D t + N^2}}$$

Ruido
fotónicoRuido
térmico
oscuraRuido de
lectura

P es el flujo incidente (fotones/pixel/segundo)

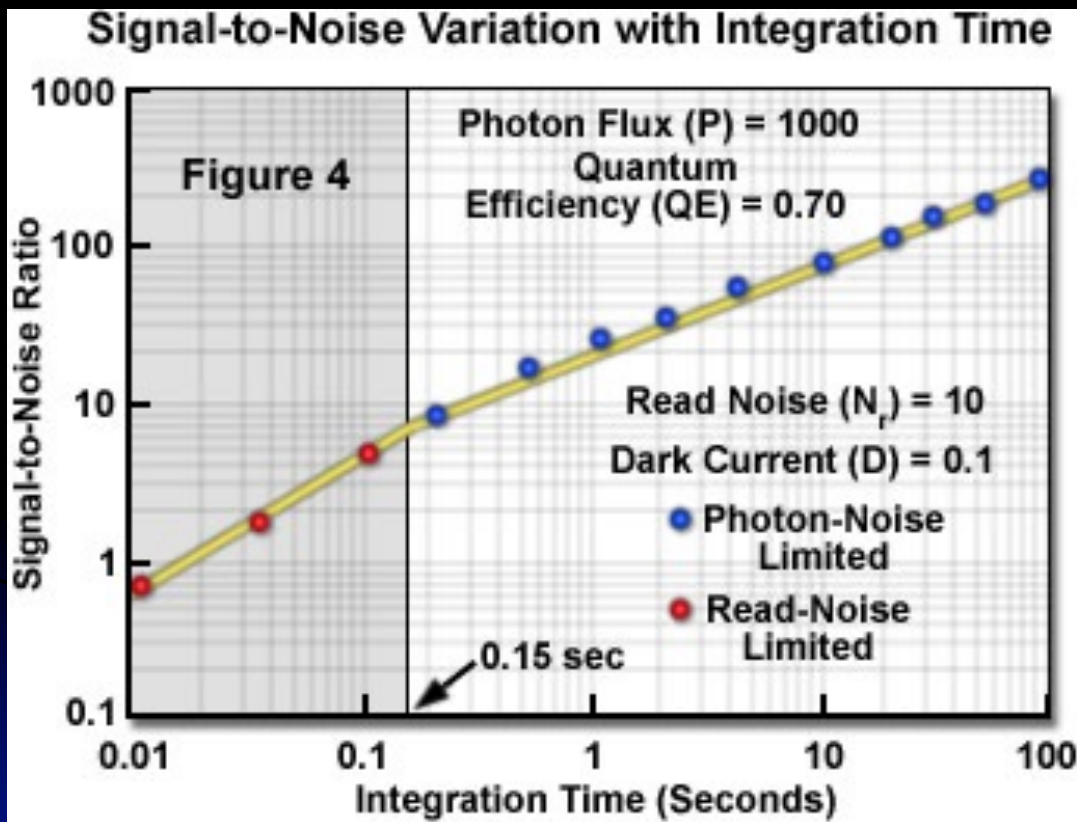
Q representa la Eficiencia Cuántica del detector

t el tiempo de integración (segundos)

D es el valor de corriente oscura (electrones/pixel/segundo)

N representa el ruido de lectura (electrones/pixel).

SNR vs tiempo de integración



$$SNR = \frac{P Q t}{\sqrt{P Q t + D t + N^2}}$$

SNR proporcional a
 t para cortos tiempos
 $t^{1/2}$ para largos tiempos

Blooming and Streaking Artifacts in CCD Images

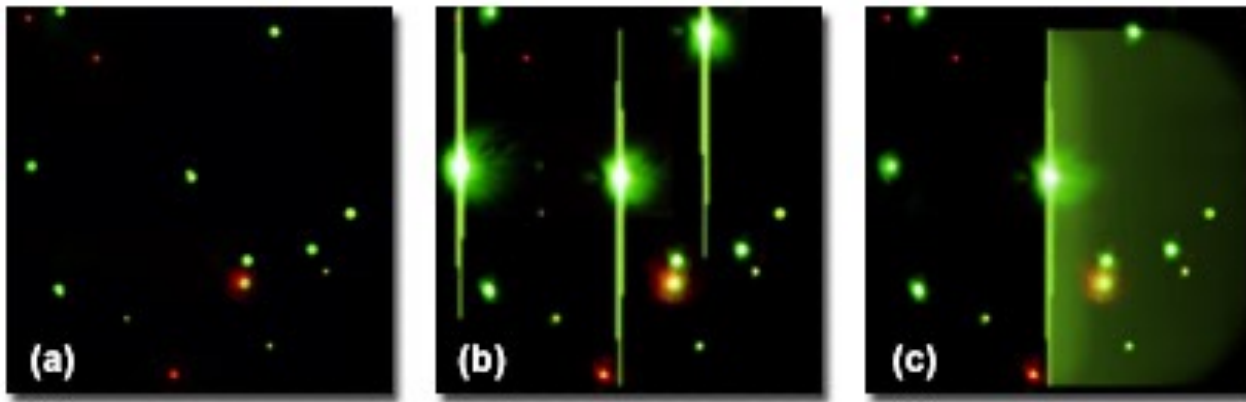


Figure 1

Saturación y
Blooming

