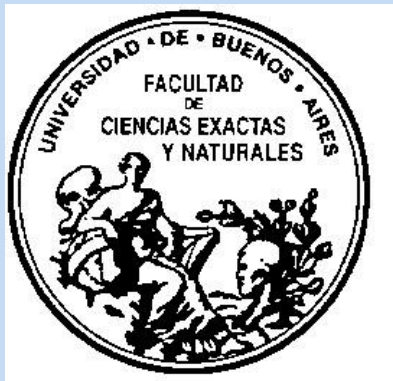


# PMT y Centelladores

Máximo Coppola, Mariano Santaya

Laboratorio 5, Lic. En Cs. Físicas,  
FCEyN, Universidad de Buenos Aires

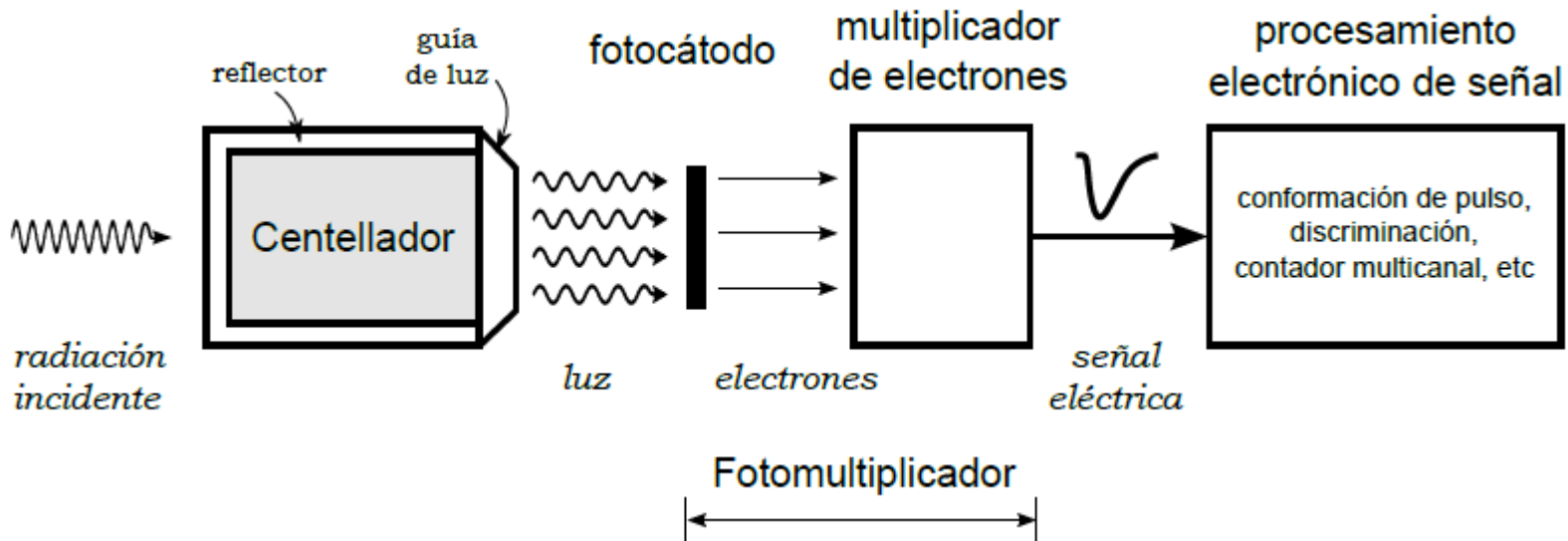
Abril de 2014



# Esquema de la Charla

- 1) **Detector centellador**
- 2) **Centelladores**
  - 2.1) **Orgánicos**
  - 2.2) **Inorgánicos**
  - 2.3) **Comparación entre ambos**
- 3) **Tubos fotomultiplicadores (PMT)**
  - 3.1) **Esquema**
  - 3.2) **Proceso de funcionamiento en 5 pasos**
  - 3.3) **Adquisición de datos**
  - 3.4) **Diferentes configuraciones**
- 4) **Otros Fotoreceptores**
- 5) **Aplicaciones**

# Detector Centellador



Fluorescencia



Emisión de luz en el orden de los 10ns (instantáneo)

Fosforescencia



Emisión de luz en el orden de los minutos u horas (retardado)

# Centelladores

(compuestos por un centellador primario que emite en UV y un *wavelength shifter*, que absorbe los fotones UV y los reemite en longitudes de onda más largas: para ajustarlos con la respuesta espectral del fotocátodo o para disminuir la absorción de los fotones por el mismo centellador)

## Orgánicos

- Más rápidos, emiten fluorescencia
- Producen poca luz
- Espectroscopia  $\beta$  y detección neutrones

Líquidos

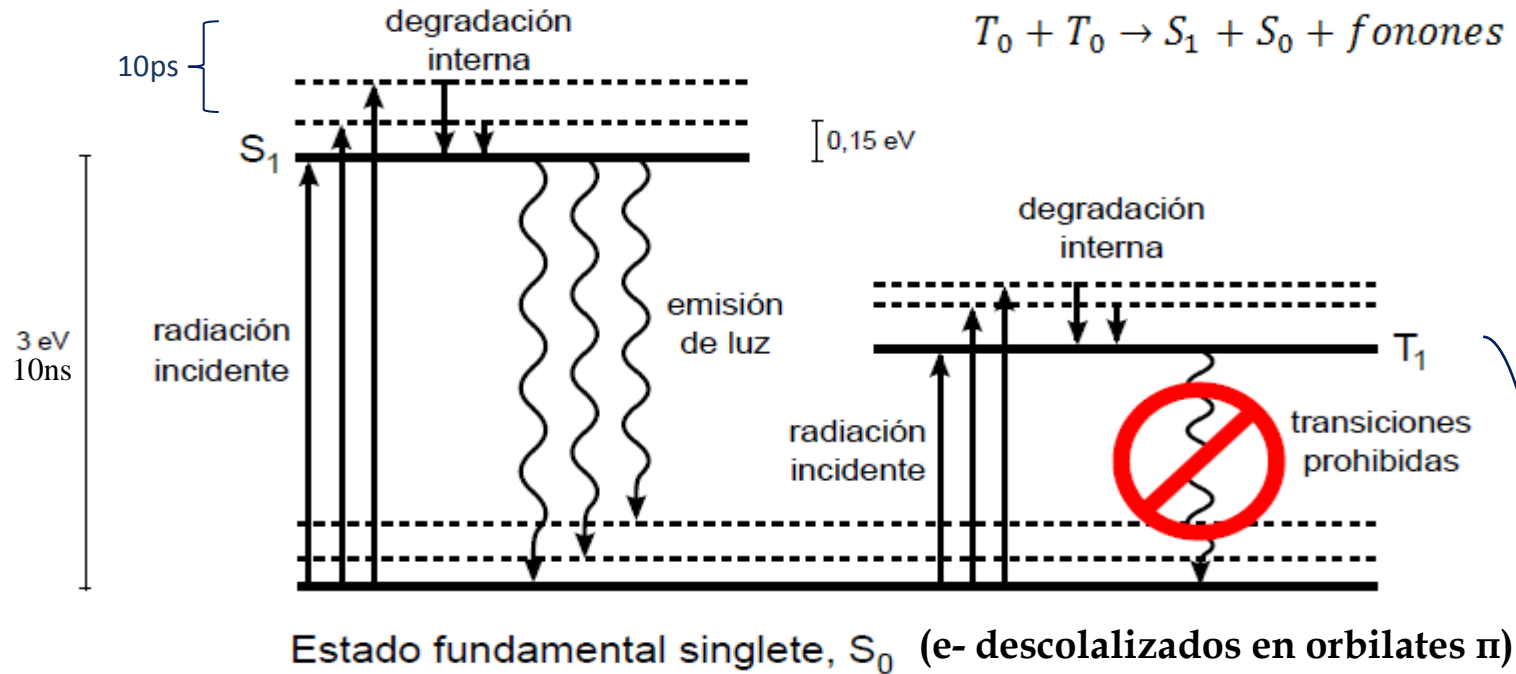
Plásticos

## Inorgánicos

- Más lentos, emiten fosforescencia
- Producen más luz y respuesta lineal
- Espectroscopia  $\gamma$

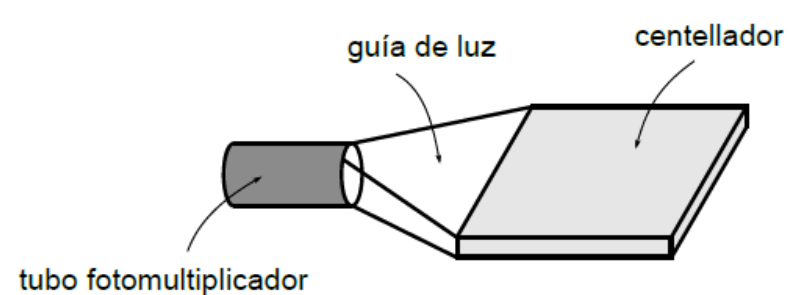
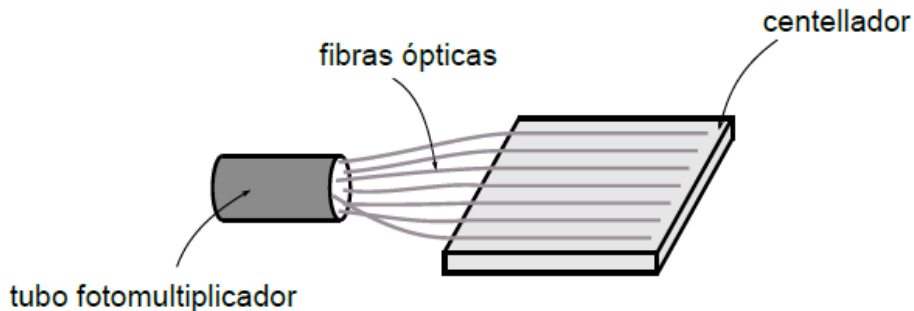
Cristales

# Centelladores Orgánicos

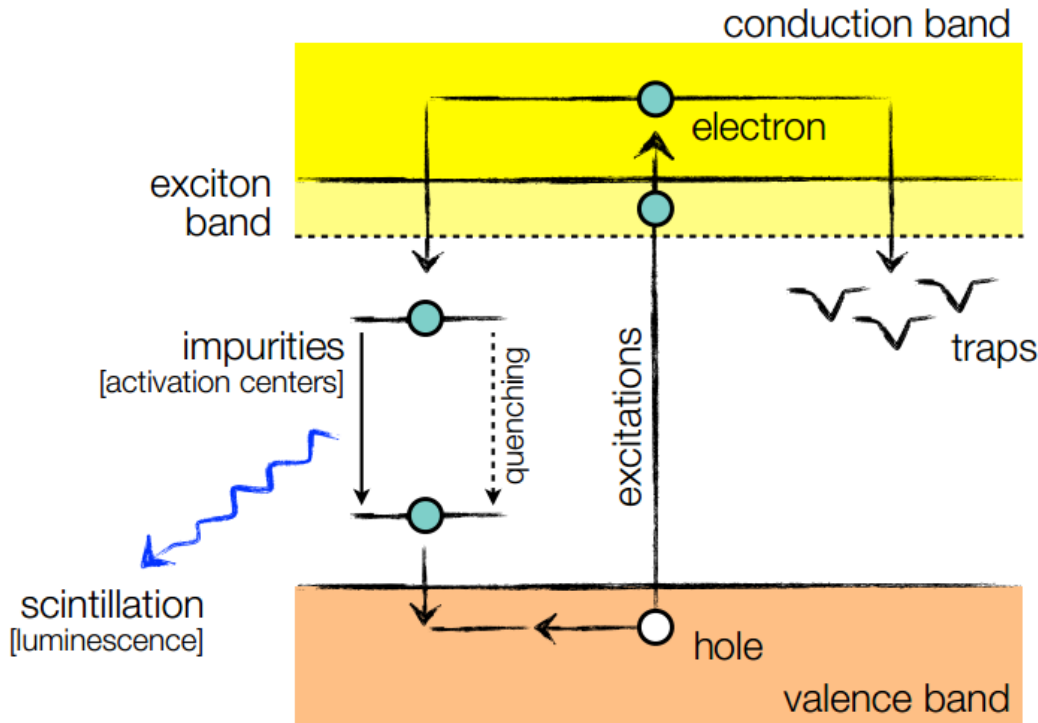


Fluorescencia

Fosforescencia  
(influye poco)



# Centelladores Inorgánicos



- El cristal define una estructura electrónica de bandas.

- El agregado de impurezas (activadores) genera estados energéticos accesibles dentro de la banda prohibida, por los que los electrones se des excitan para volver a la banda de valencia. Los activadores se eligen tal que el decaimiento emita fotones visibles.

En la activación, puede formarse una configuración meta estable en la que la transición directa al fundamental esta prohibida. Sin embargo, por absorción de energía térmica, el electrón puede acceder a niveles energéticos desde los cuales decaer emitiendo (lentamente) un fotón visible.

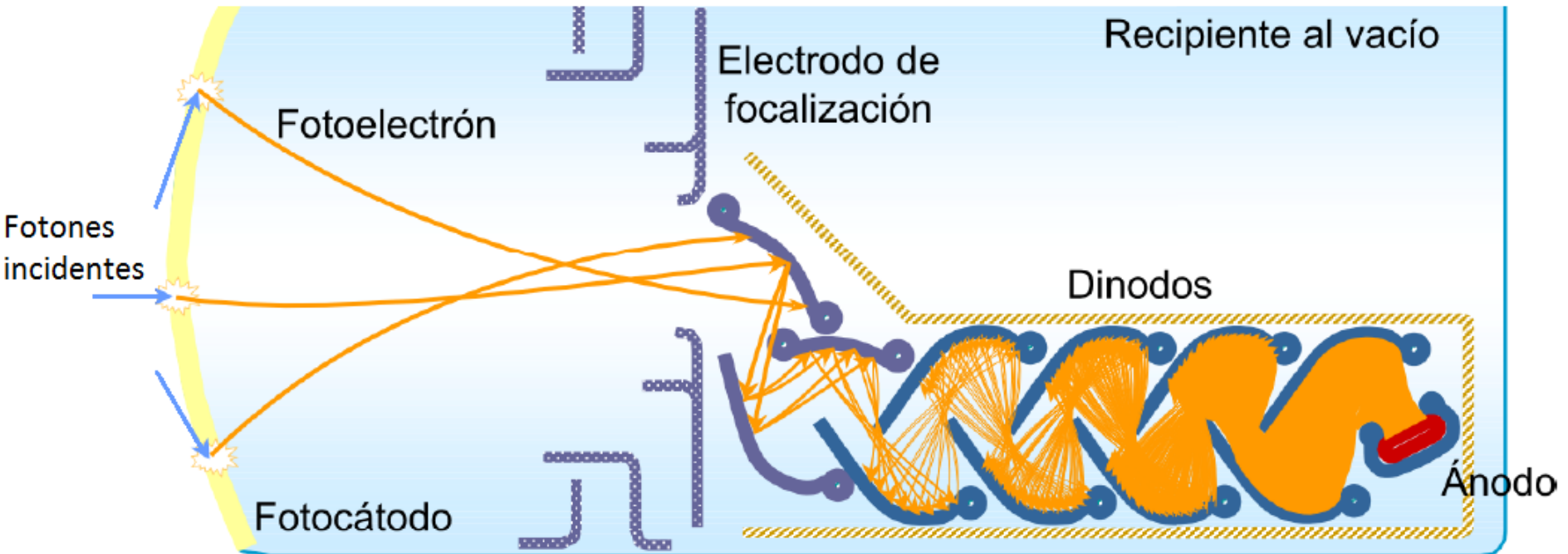
Fosforescencia

# Comparación entre Centelladores

Centellador	tipo	$\rho$ [g/cm <sup>3</sup> ]	fotones/MeV	$\tau_{\text{decay}}$ [ns]	$\lambda_{\text{max}}$ [nm]
NaI(Tl)	inorg	3,67	38 10 <sup>3</sup>	230	410
CsI(Tl)	inorg	4,51	65 10 <sup>3</sup>	1300	560
BGO	inorg	7,13	8,2 10 <sup>3</sup>	300	480
NE104	plástico	1,03	10 10 <sup>3</sup>	1,8	406
NE224	líquido	0.88	12 10 <sup>3</sup>	2,5	425

- Dado que los mecanismos de interacción de los fotones con la materia dependen fuertemente de Z y de la cantidad de átomos por unidad de volumen, los centelladores inorgánicos resultan adecuados para la detección y espectrometría de fotones.
- Los centelladores orgánicos tienen tiempos de respuesta y decaimiento menores que los inorgánicos. La rápida respuesta permite obtener la diferencia temporal entre dos eventos con gran precisión, y el tiempo de decaimiento se relaciona con la tasa de conteo máxima del sistema. Entonces, los centelladores orgánicos resultan adecuados cuando se desean obtener rápidas respuestas o altas tasas de conteo.
- Los centelladores orgánicos son más baratos.
- Con respecto a las propiedades mecánicas, los plásticos resultan mucho más nobles para maquinarse que los cristales inorgánicos, los cuales son frágiles y pesados.
- La radiación ionizante, como idea general, daña la materia, afectando el desempeño de los centelladores. El umbral de daño para los inorgánicos es más extendido.

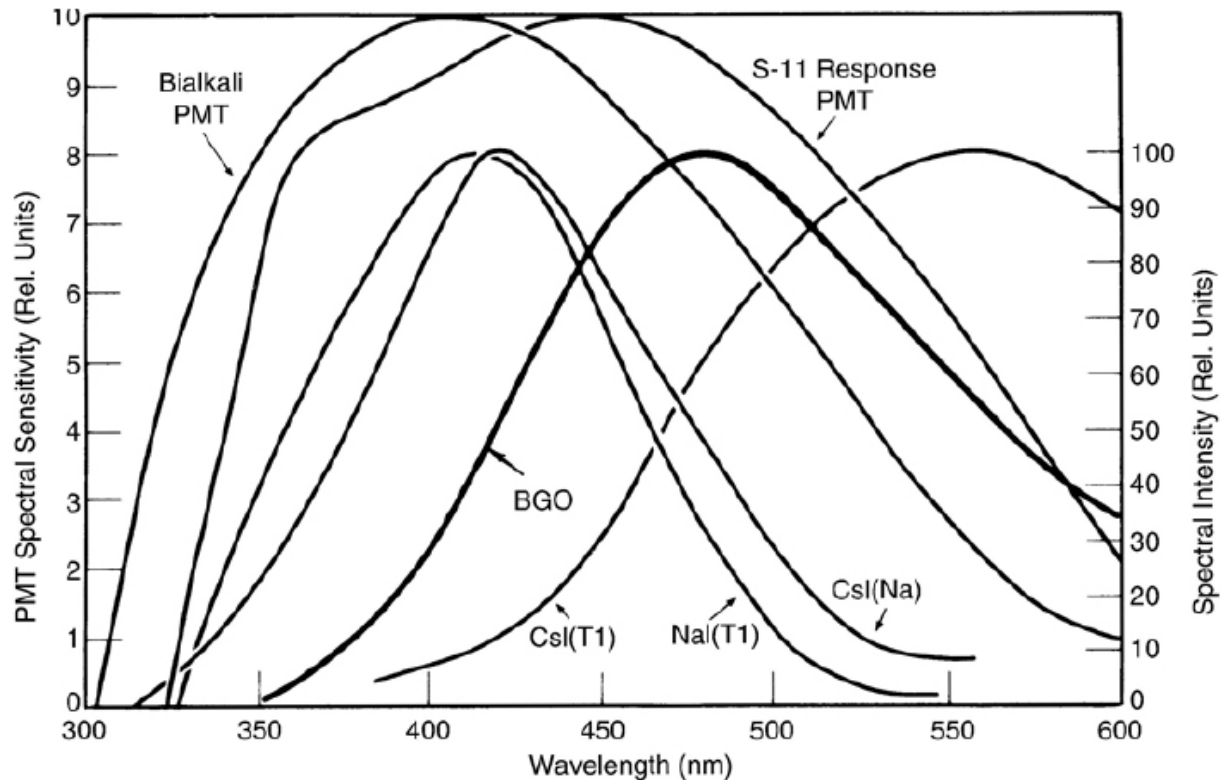
# Esquema de funcionamiento de un PMT



Un PMT es un detector óptico capaz de responder a niveles muy bajos de iluminación y con bajo nivel de ruido.



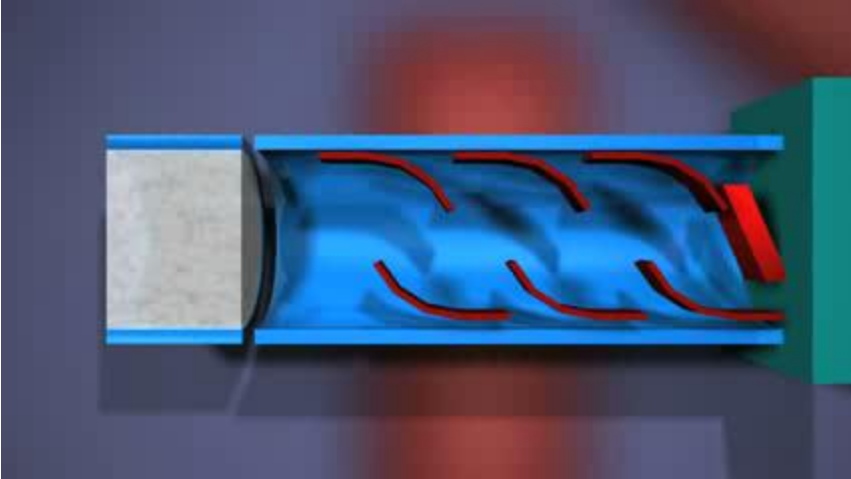
## Respuesta espectral de dos tubos fotomultiplicadores comparado con el espectro de emisión de centelladores inorgánicos



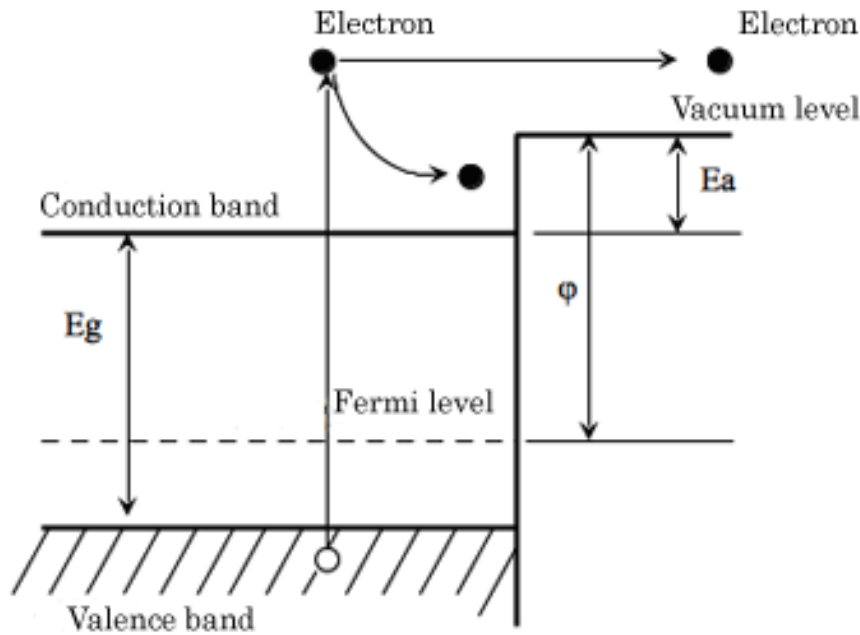
Es deseable que los máximos del espectro de emisión del centellador y de la respuesta espectral del fotocátodo coincidan, para lo cual es frecuente el uso de wavelength shifters.

# Proceso de funcionamiento de un PMT

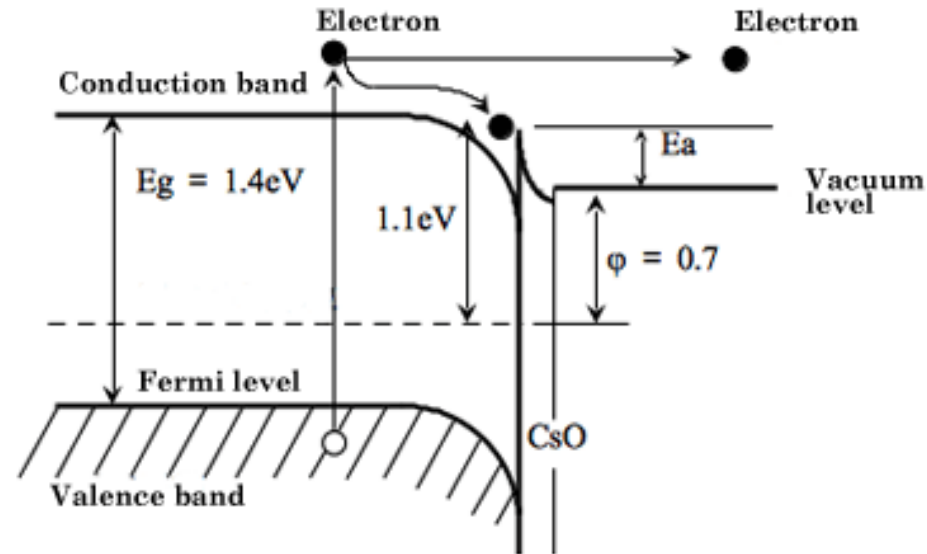
- 1-** Los fotones incidentes excitan a los electrones del fotocátodo y arrancan fotoelectrones (efecto fotoeléctrico).
- 2-** Los fotoelectrones son acelerados y focalizados hacia el primer dinodo por el electrodo de focalización.
- 3-** Los fotoelectrones inciden sobre el dinodo y este emite electrones secundarios .
- 4-** El proceso se repite en los sucesivos dinodos
- 5-** Los electrones secundarios salen del último dinodo y llegan al ánodo



**1-** Los fotones incidentes excitan a los electrones del fototubo y arrancan fotoelectrones (efecto fotoeléctrico).



Band model for alkali photocathode



Band model for GaAs photocathode

$E_g$ : Energy gap     $E_a$ : Electron affinity

## Relación entre los fotoelectrones emitidos y los fotones incidentes

$$\eta(\nu) = (1 - R) \cdot \frac{P_v}{k} \cdot \left( \frac{1}{1 + 1/k \cdot L} \right) \cdot P_S \quad \text{Fórmula de Spicer}$$

$R$ : Coeficiente de reflexión.

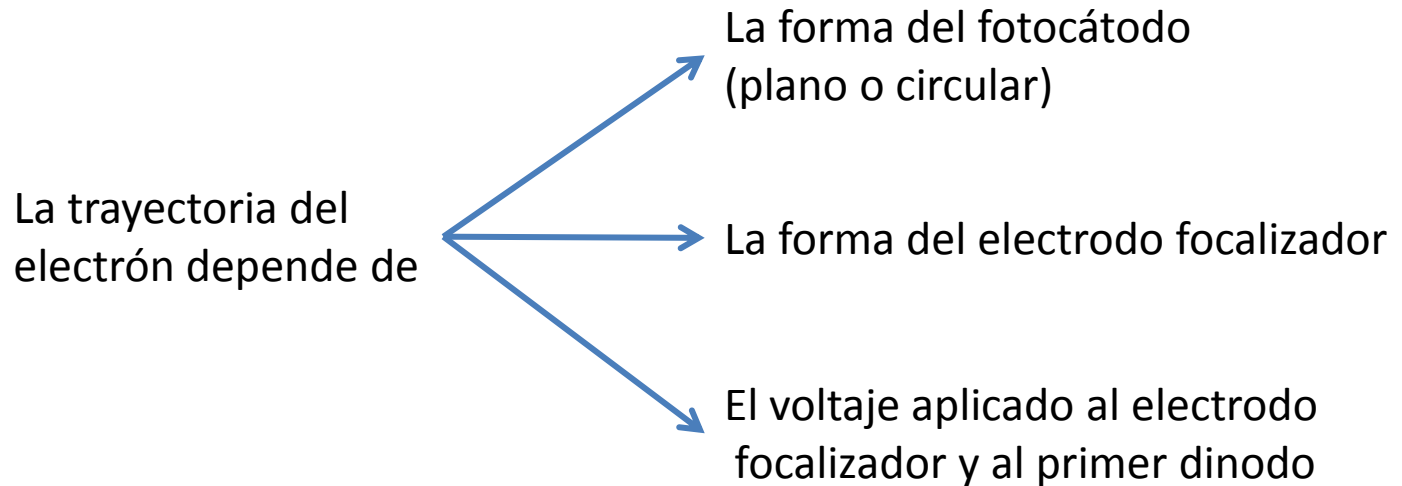
$P_v$ : Probabilidad de que la luz absorbida excite electrones a un nivel mayor que el nivel de vacío.

$k$ : Coeficiente de absorción total de fotones.

$L$ : Distancia media de escape.

$P_s$ : Probabilidad de que los electrones que llegan a la superficie del fotocátodo sean emitidos al vacío.

**2-** Los fotoelectrones son acelerados y focalizados hacia el primer dinodo por el electrodo de focalización.



Es posible realizar predicciones sobre la trayectoria del electrón mediante simulación numérica.

---

Eficiencia de colección de fotoelectrones:

$$Eficiencia = \frac{\text{electrones que llegan al 1}^\circ \text{dinodo}}{\text{fotoelectrones emitidos}} \sim \text{entre } 0.6 \text{ y } 0.9$$

*3- Los fotoelectrones inciden sobre el dinodo y este emite electrones secundarios .*

*4- El proceso se repite en los sucesivos dinodos*

Factor de multiplicación del dinodo:

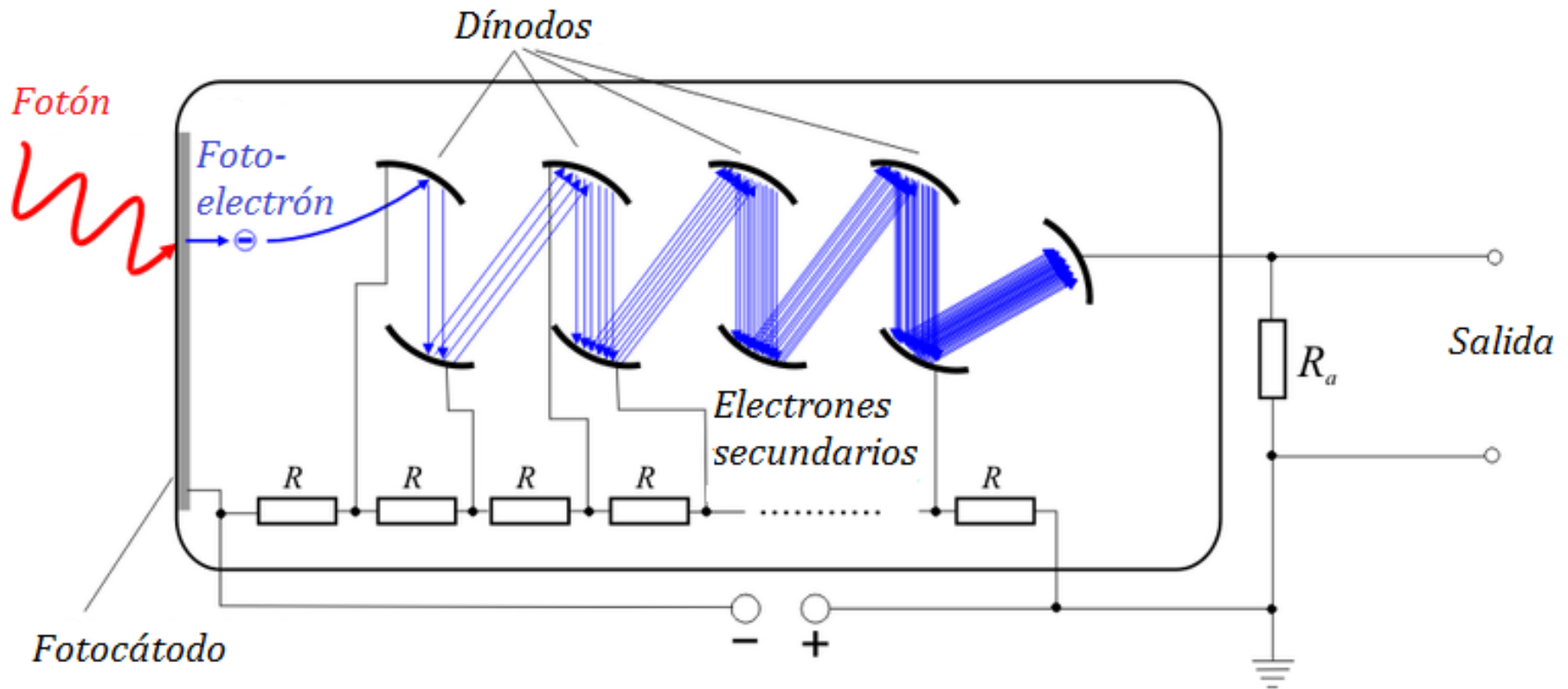
$$\delta = \frac{\text{electrones emitidos}}{\text{electrones incidentes}} \sim 5$$

Usualmente se usan del orden de 10 dinodos, para obtener una ganancia total de  $\approx 10^6$ , típica de un PMT comercial.

*5- Los electrones secundarios salen del último dinodo y llegan al ánodo, obteniéndose así la corriente de salida.*

Luego la señal es procesada y enviada al sistema de adquisición. La señal de salida está formada por pulsos de corriente.

## Esquema de conexiones de un PMT



El circuito de la figura permite que los electrones que salen de un dinodo sean atraídos por el siguiente, pues cada uno tendrá un potencial mayor que el anterior.



# Adquisición de datos

Discriminador



Compara la señal con una tensión umbral. Si la señal es mayor a este valor aparece un pulso cuadrado en la salida, cuyo tiempo y amplitud pueden ser fijados.

Módulo de coincidencias



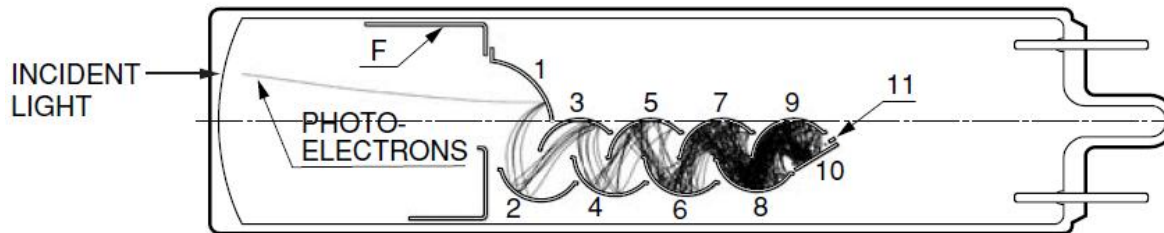
Entrega un pulso digital cuando en sus entradas aparecen pulsos digitales coincidentes.

Contador de pulsos



Cuenta el número de veces que ocurre un suceso y envía una señal cuando este número coincide con el que determina el usuario.

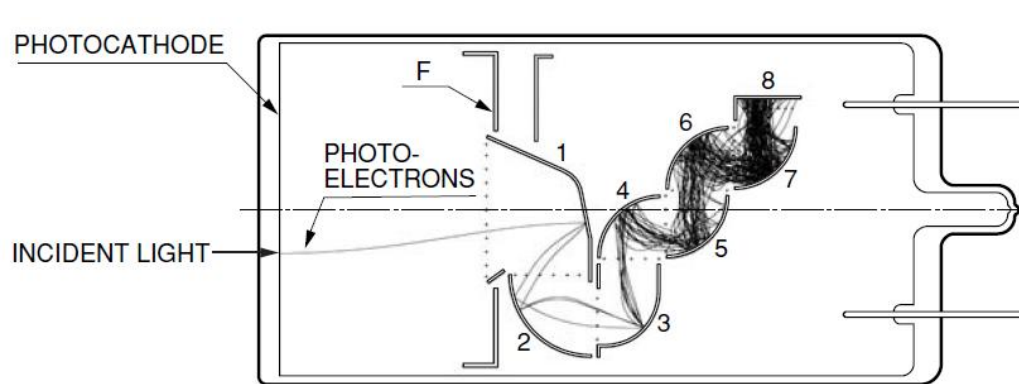
# Diferentes Configuraciones de PMT



1 to 10 = DYNODES  
11 = ANODE  
F = FOCUSING ELECTRODE

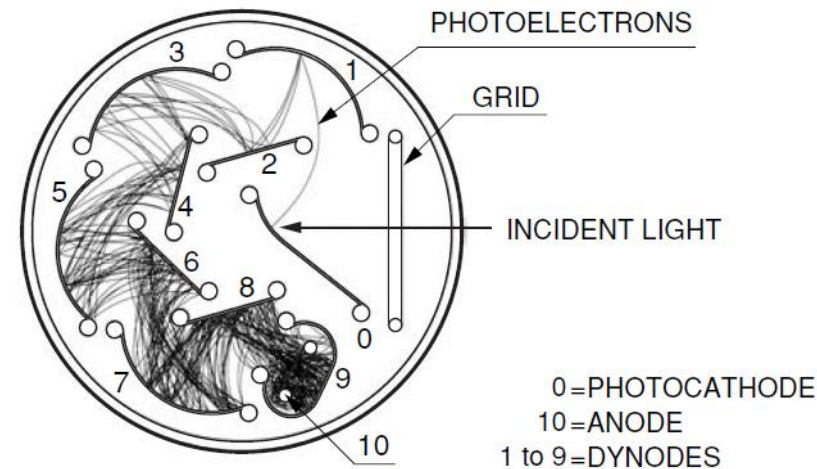
## Linear-Focused Type

(respuesta rápida en tiempo, linealidad de pulso)



1 to 7 = DYNODES  
8 = ANODE  
F = FOCUSING ELECTRODE

**Box-and-grid Type**  
(eficiencia colección, uniformidad)

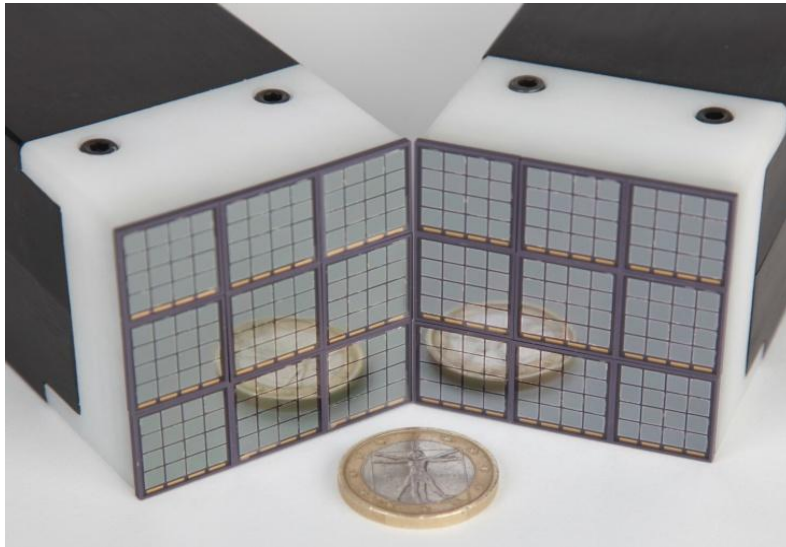


0=PHOTOCATHODE  
10=ANODE  
1 to 9=DYNODES

**Circular-cage Type**  
(compacto, respuesta rápida)

# Otros Fotoreceptores

Fotodiodo de silicóna



Fotodiodo de avalancha



Fotomultiplicador



Otros:

- Micro Channel Plates
- Photo Diodes
- HybridPhoto Diodes
- Visible Light Photon Counters

# Aplicaciones en otras áreas

*Detección de neutrinos*

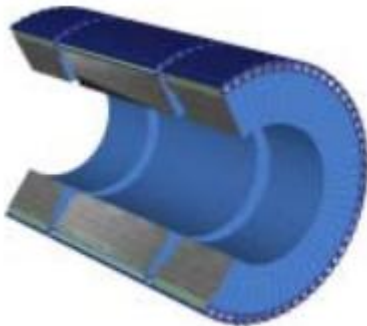


Los neutrinos al interactuar con la materia producen partículas cargadas. Estas dejan una traza de ionización y excitación que es convertida en fotones a través de centelladores.

*Calorímetros*



Se utiliza para medir la energía de las partículas que inciden sobre él. Para ello cuentan con centelladores transversales y axiales, obteniendo información de la naturaleza y dirección de las partículas incidentes.



Calorímetro de tejas compuesto por tejas de hierro (material pasivo) y por tejas de plástico centellador (material activo)

The image features three blue, 3D rectangular frames arranged in a diagonal line from the top-left to the bottom-right. Each frame is a hollow rectangular prism. The frames are set against a dark, almost black background. In the foreground, there are several horizontal, glowing blue lines that appear to be part of a larger structure or a light effect. The word "FIN" is written in a bold, black, sans-serif font, centered over the middle frame. Below the text, there is a faint, semi-transparent reflection of the word "FIN".

**FIN**

FIN