



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

Iztapalapa

# LATERMOLUMINISCENCIA Y SUS APLICACIONES

Dr. Juan Azorín Nieto

Departamento de Física

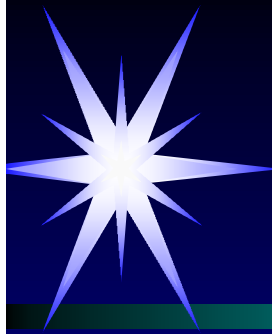


Casa abierta al tiempo

Universidad Autónoma Metropolitana

Iztapalapa



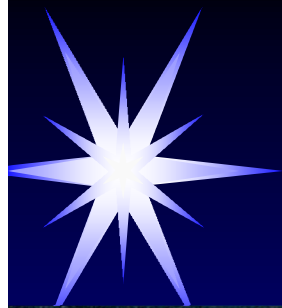


# Termoluminiscencia

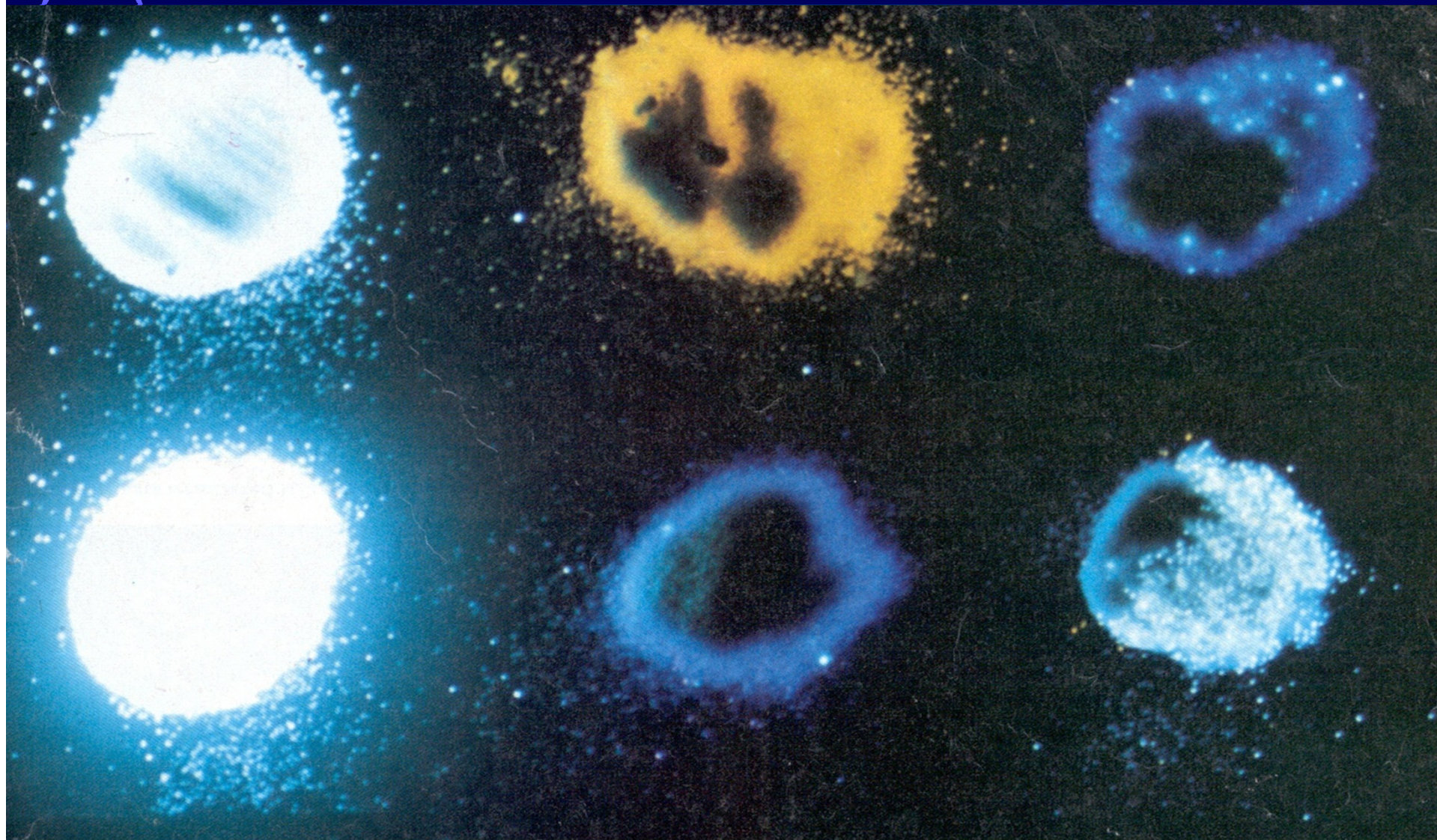
Termoluminiscencia (TL) es la emisión de luz por ciertos materiales al ser calentados por debajo de su temperatura de incandescencia, habiendo sido previamente expuestos a un agente excitante tal como las radiaciones ionizantes



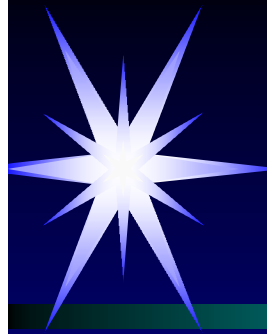




# Luz emitida por diversos materiales TL







# Historia

➤ Es muy probable que desde épocas prehistóricas, el hombre de las cavernas ya haya observado la emisión de luz al calentar ciertos cristales naturales en la oscuridad, efecto que seguramente conocieron también los alquimistas de la Edad Media.



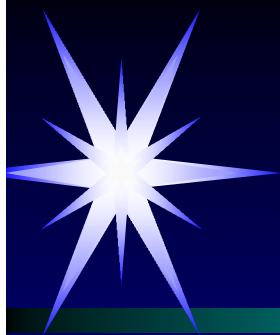


# Historia

Sir Robert Boyle, describió este fenómeno en 1663 cuando informó ante la *Royal Society of London* que había observado una extraña luminosidad al calentar un diamante en la oscuridad de su recámara







# Historia

Eleventhly, I also brought it to some kind of Glimmering Light, by taking it into Bed with me, and holding it a good while upon a warm part of my Naked Body.

Twelfthly, To satisfie my self, whether the Motion introduc'd into the Stone did generate the Light upon the account of its producing Heat there, I held it near the Flame of a Candle, till it was qualify'd to shine pretty well in the Dark,

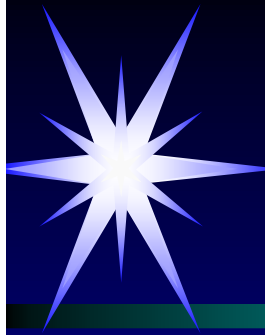
# Historia



*I also brought it to some kind of glimmering light by taking it into bed with me, and holding it a good while upon a warm part of my naked body. To satisfy myself, whether the motion introduced into the stone did generate the light upon the account of its producing heat there, I held it near the flame of a candle, till it was qualified to shine pretty well in the dark.*

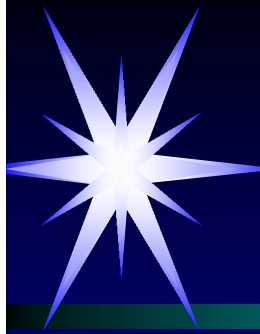
Sir Robert Boyle, 1663





# Historia

- Oldenberg, 1705
- Becquerel, 1883
- Wiedemann y Schimidt, 1895
- Urbach, 1930
- Randall y Wilkins, 1945, primer orden
- Garlick y Gibson, 1948, segundo orden
- Chen, 1984, orden general



# Historia



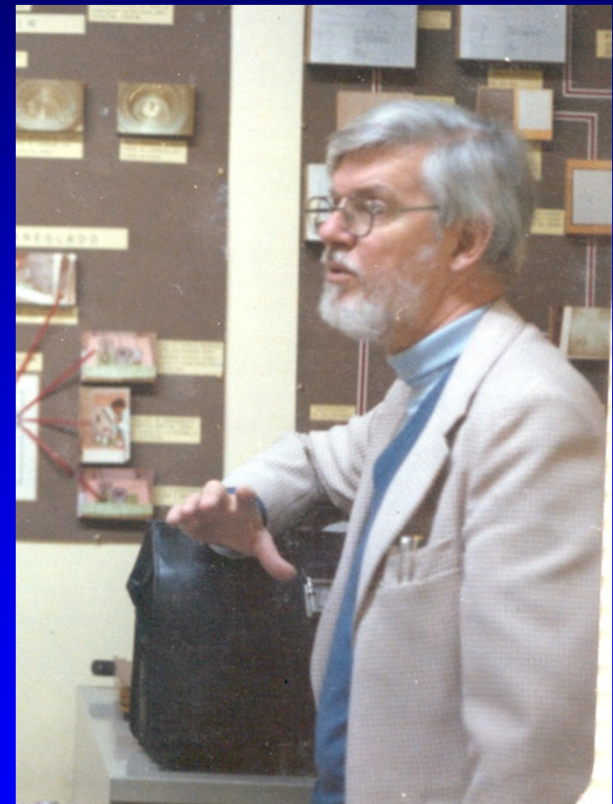
➤ Las aplicaciones prácticas de la TL se iniciaron después de la II Guerra Mundial, en la Universidad de Wisconsin, donde Daniels comienza a estudiar el LiF; sin embargo, tuvo que suspender su trabajo en 1956, debido a las características poco adecuadas de este material para dosimetría.





# Historia

➤ En 1960, Cameron, en la misma universidad, reanudó las investigaciones sobre la TL del LiF introduciendo a éste impurezas de Mg y Ti, llegando a desarrollar el famoso TLD-100

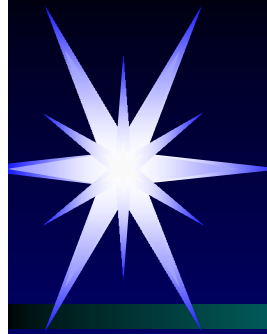




# Historia



- En México, la investigación acerca del fenómeno de TL y sus aplicaciones se inició en 1968. Desde entonces existen diversos grupos que la aplican en radioterapia, radiodiagnóstico, protección radiológica, radiobiología, fechamiento, etc.

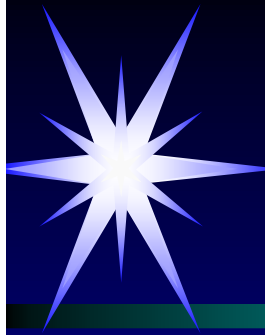


# Luminiscencia



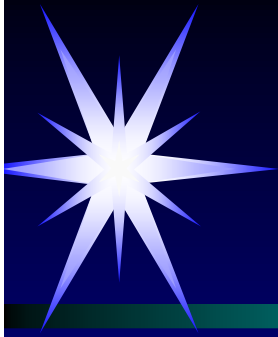
- La luminiscencia se presenta en una gran variedad de materiales tales como: cristales inorgánicos, vidrios, cerámicas y compuestos orgánicos, así como en ciertos materiales bioquímicos y biológicos.
- Pueden dividirse en: inorgánicos y orgánicos.



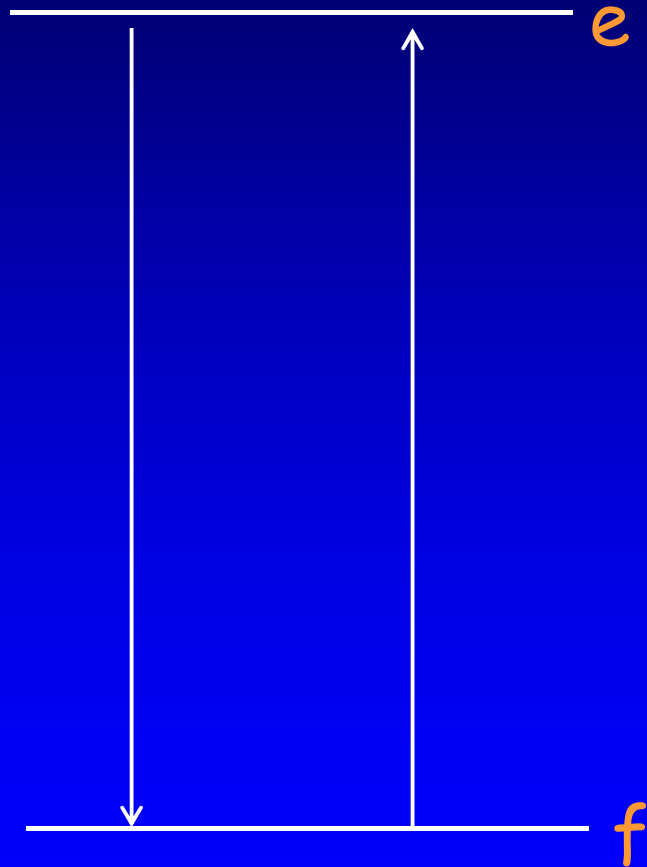


# Luminiscencia

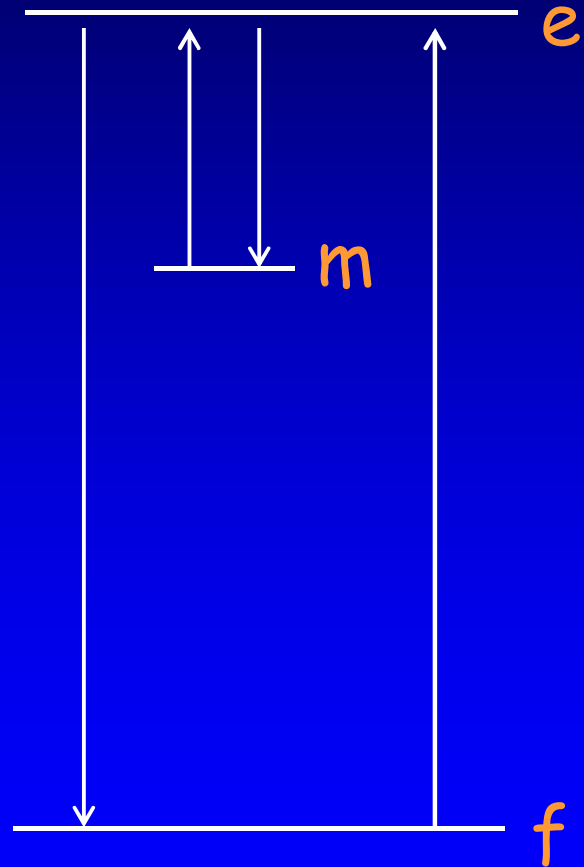
- Inorgánicos: la luminiscencia se debe principalmente a la formación de electrones libres y agujeros
- Orgánicos: la luminiscencia se debe principalmente a la formación de radicales libres



# Fluorescencia y Fosforescencia



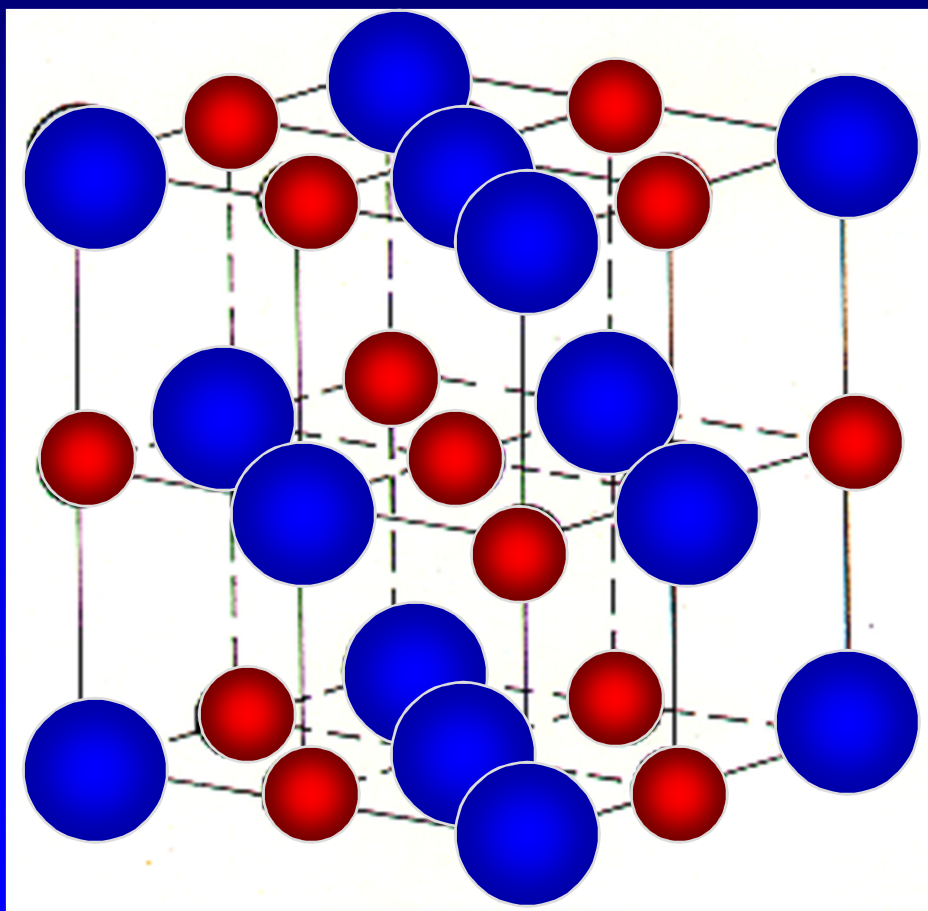
Fluorescencia



Fosforescencia



# Luminiscencia en cristales

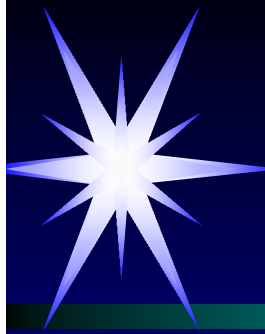


Representación  
esquemática de un  
halogenuro alcalino  
perfecto

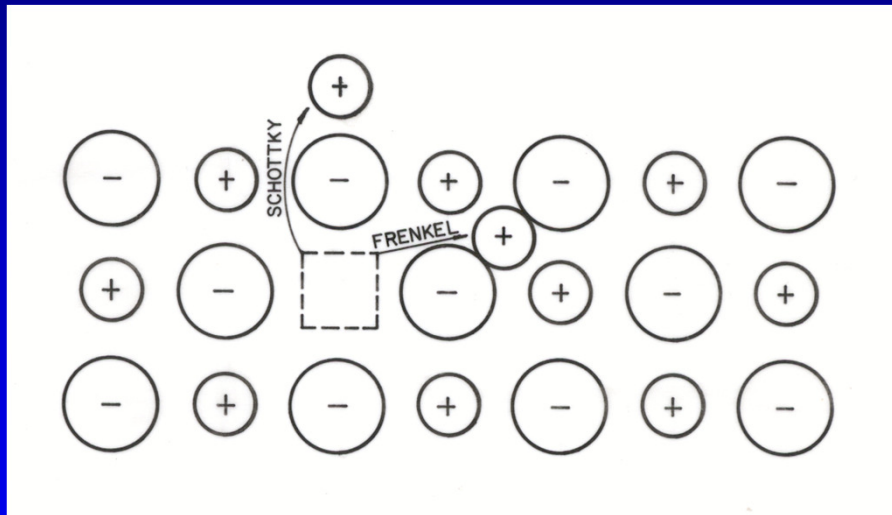
 Ion alcalino

 Ion Halógeno



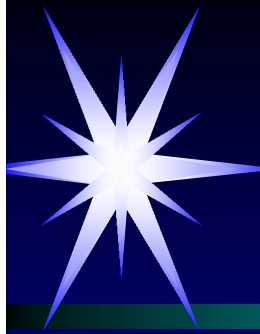


# Defectos

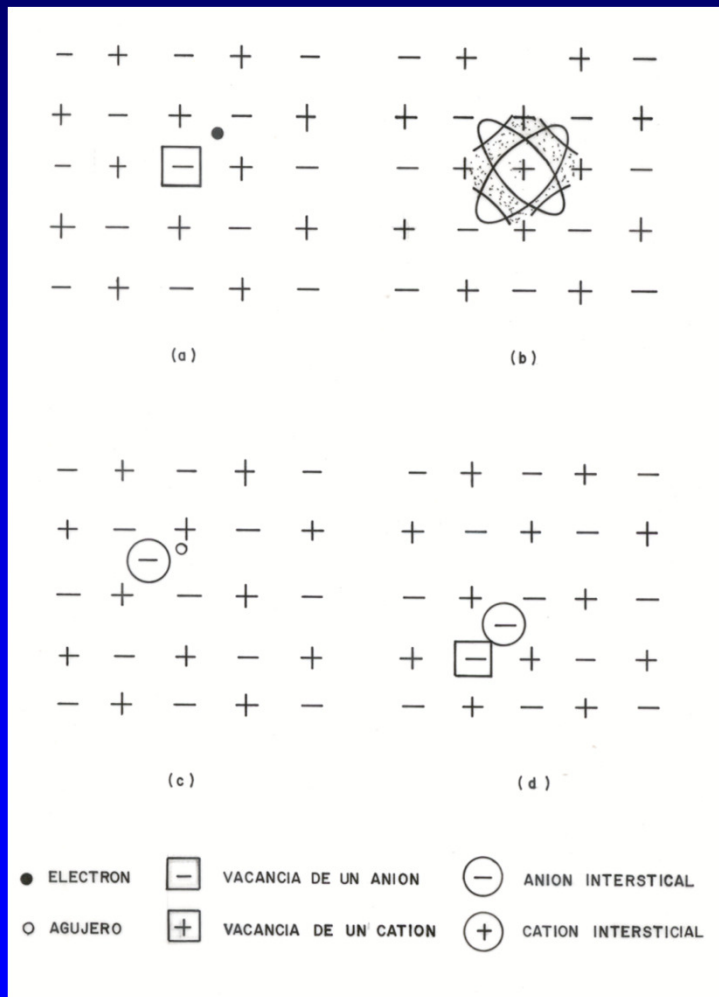


Los defectos pueden ser vacancias o iones intersticiales.

- Defectos Schottky: en la superficie del cristal
- Defectos Frenkel: en posiciones intersticiales



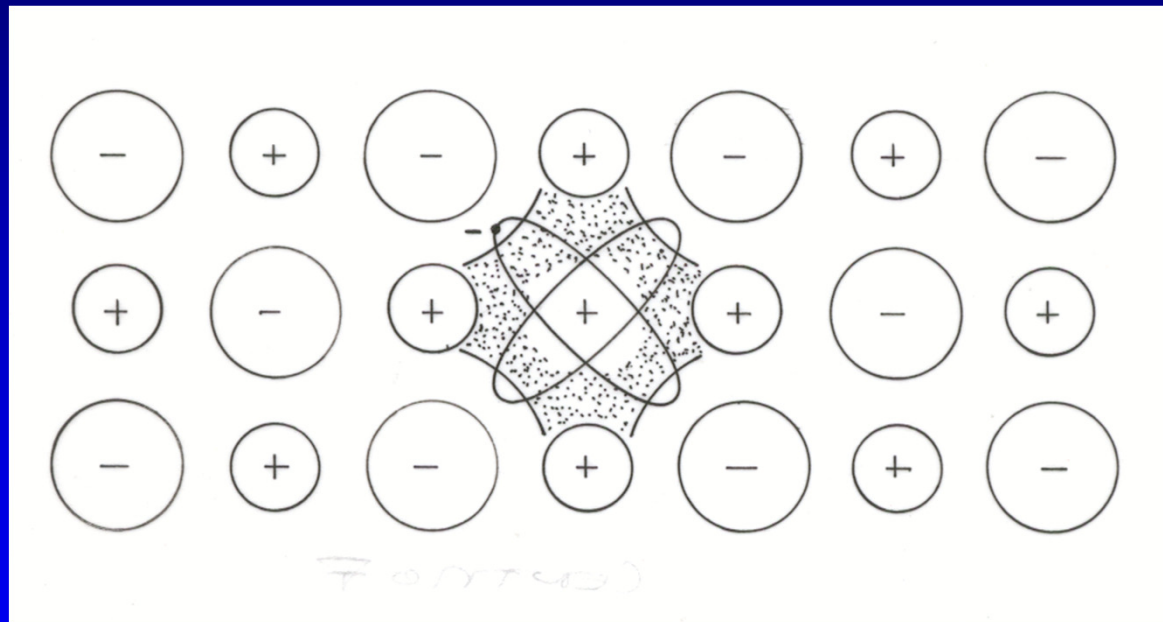
# Centros de color



Son configuraciones electrónicas originadas por defectos de la red cristalina, cuyos niveles de energía producen bandas de absorción óptica en longitudes de onda a las que el cristal es normalmente transparente



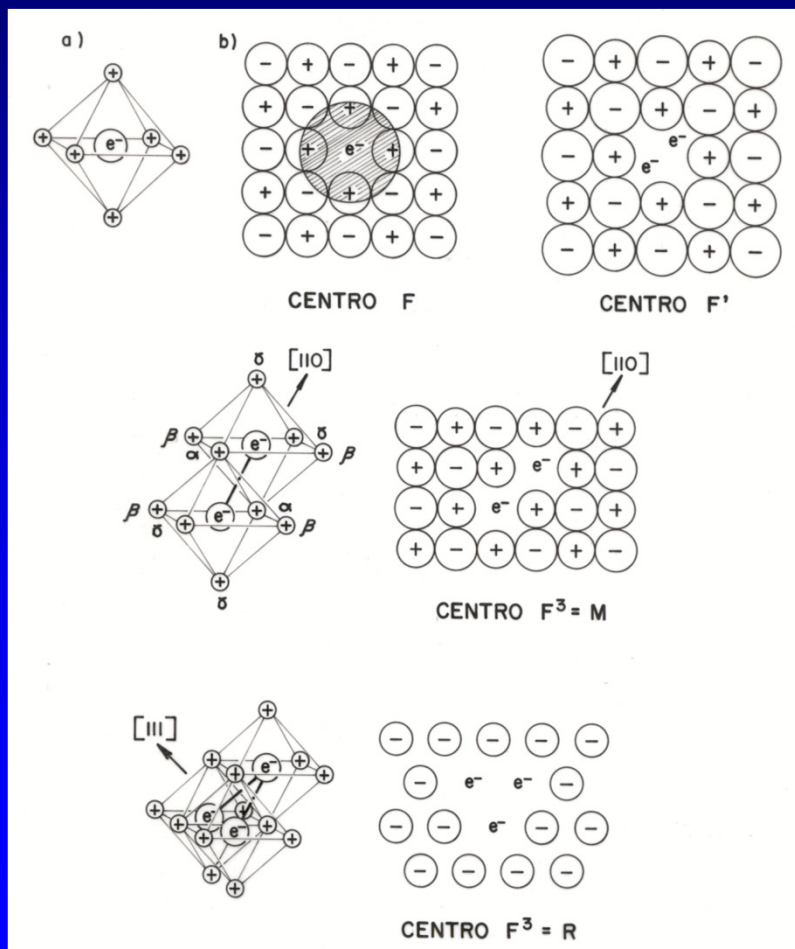
# Centros de color



Al centro constituido por un electrón atrapado en una vacancia de ion negativo se le llama centro F

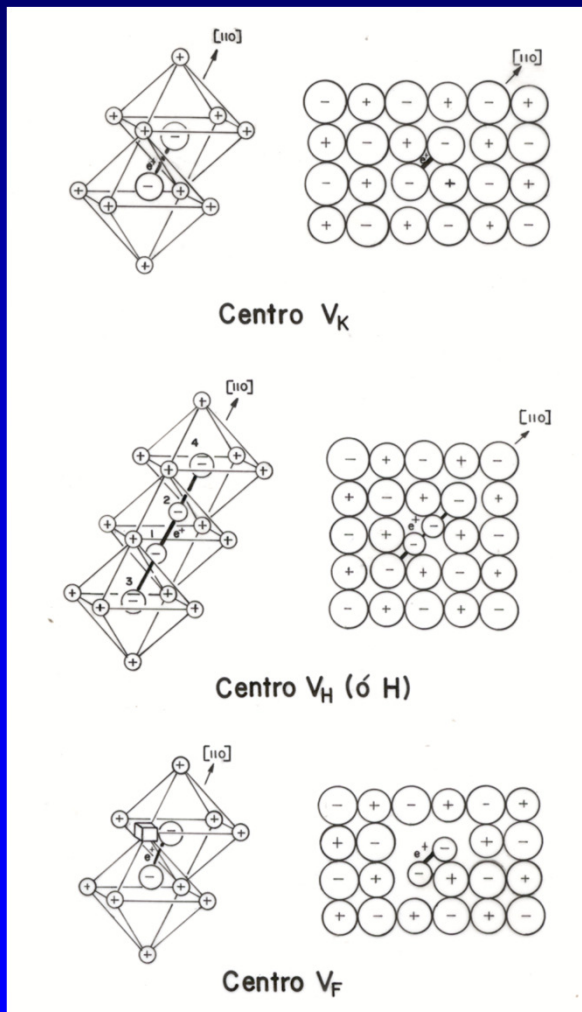


# Centros de color

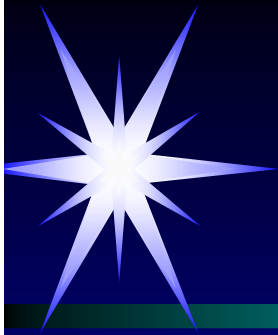


Los centros F se pueden agrupar para formar agregados de dos, tres o cuatro centros, dando origen a un centro M, R o N, respectivamente

# Centros de color



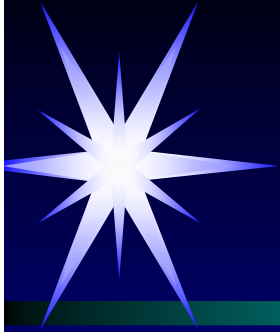
Centro  $V_F$  es aquel constituido por un agujero situado en el lugar de una vacancia de ion positivo.



## Termoluminiscencia:

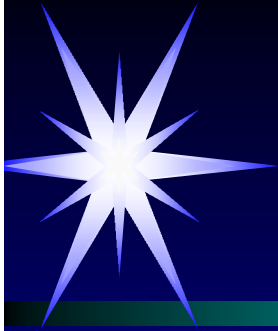
Cuando un sólido es irradiado sufre alteraciones en su estructura debido a la ionización o excitación; durante este proceso se liberan electrones, que generan dos tipos de entes móviles portadores de carga: electrones y agujeros. Estos portadores de carga pueden moverse por el cristal hasta ser atrapados en estados metaestables generados por defectos en el sólido.



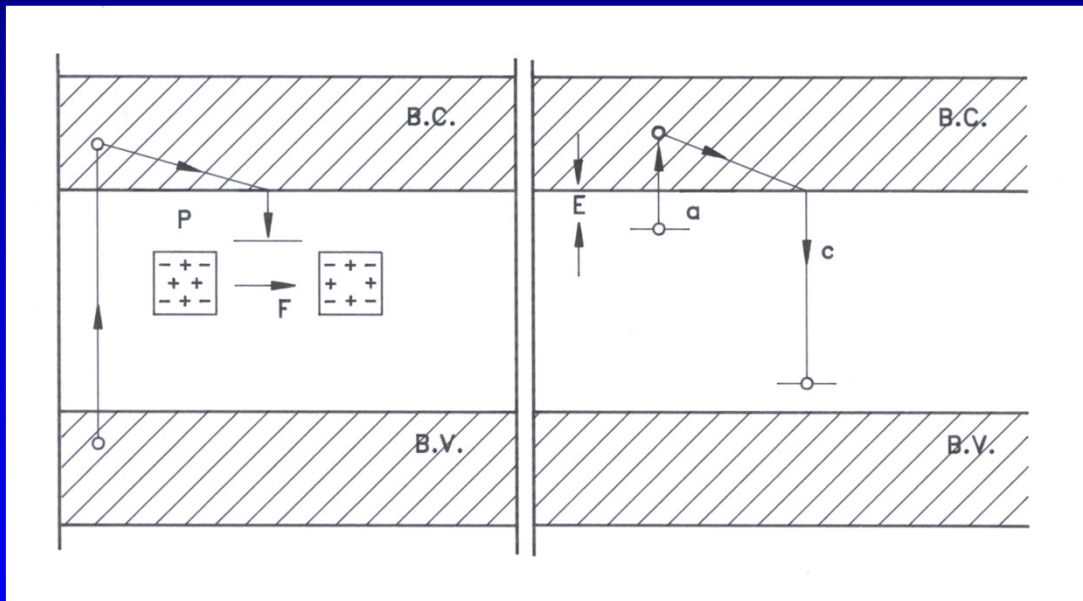


## Termoluminiscencia:

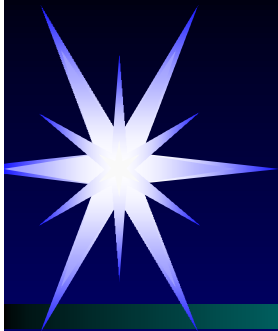
Estos electrones y agujeros permanecen atrapados hasta que se les proporcione la energía suficiente para liberarlos regresando el cristal a su estado original previo a la irradiación. Cuando esto ocurre, electrones y agujeros se recombinan emitiendo fotones de luz visible.



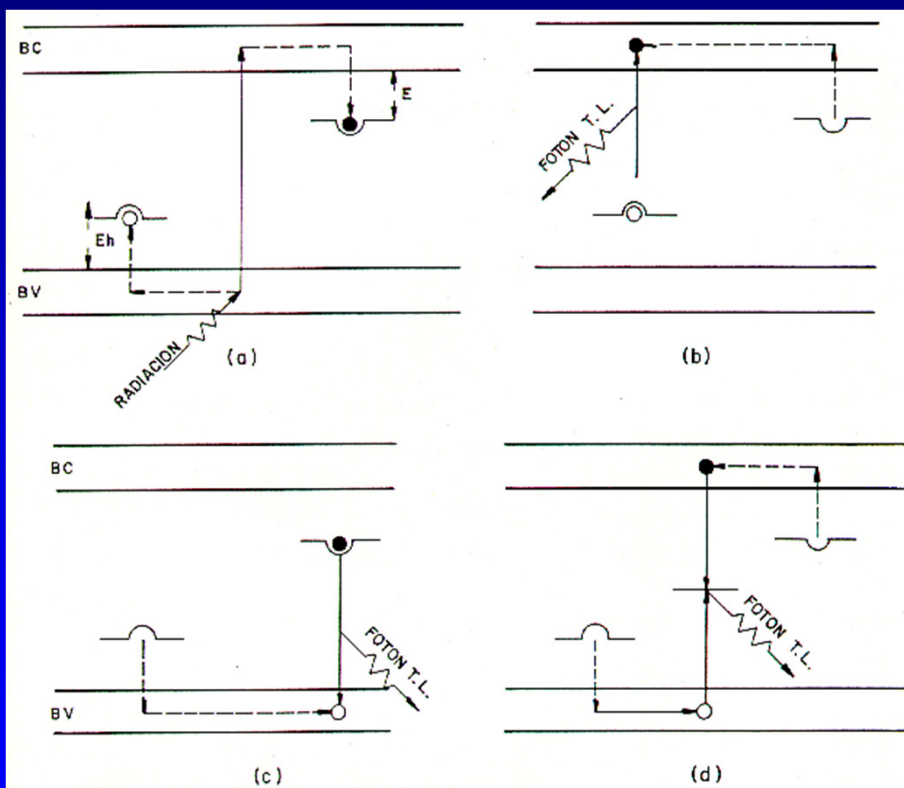
# Termoluminiscencia:



Para tratar de explicar el fenómeno de TL se puede usar el modelo de bandas de energía, asumiendo la existencia de estados excitados de energía en la banda prohibida. Estos estados metaestables se deben a defectos en la estructura del sólido y pueden desempeñar el papel de trampas o centros de recombinación.



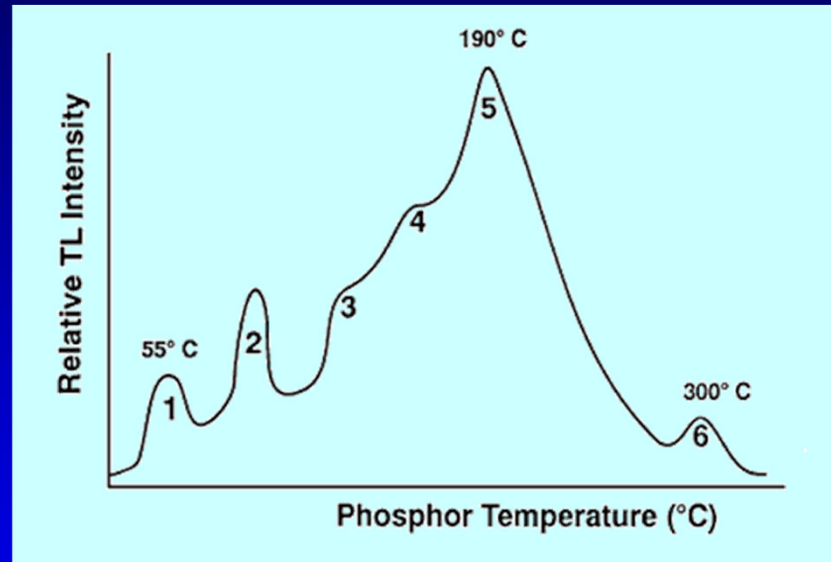
# Termoluminiscencia:



(a) Los portadores de carga creados durante la irradiación viajan a través del sólido hasta recombinarse o ser atrapados en estados metaestables. Después, durante el calentamiento (b) a (d), electrones y agujeros son liberados de sus trampas y viajan a través del cristal hasta recombinarse, emitiendo fotones de luz visible.



# Curva TL

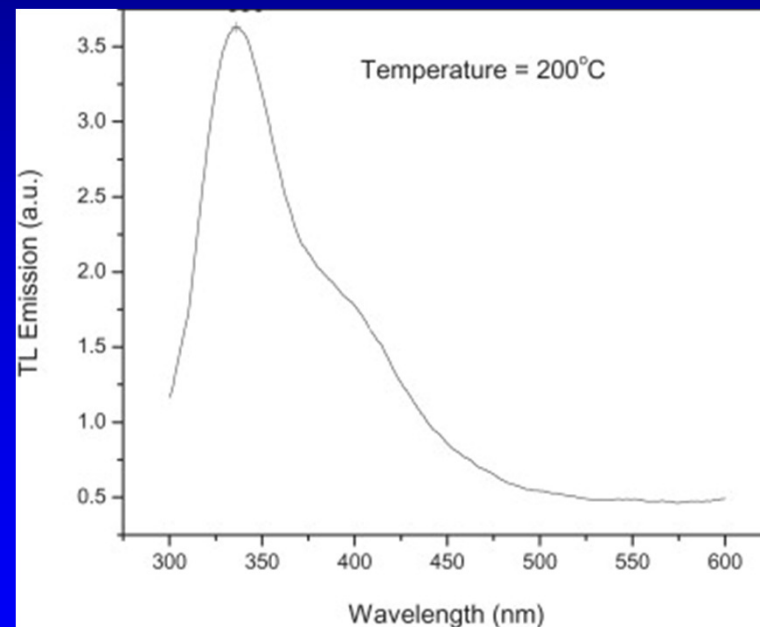


El proceso de emisión luminosa durante el calentamiento del cristal implica la desocupación de las trampas en el cristal, dando lugar a la formación de la curva TL.

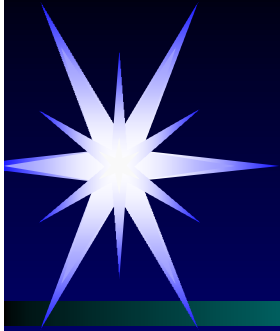


# Espectro de emisión TL

El hecho de que la luz emitida corresponda a fotones de diferentes energías da lugar a un registro de su intensidad en función de la longitud de onda, que se conoce como espectro de emisión TL; éste también puede presentar varios puntos de intensidad máxima, a los cuales se les llama picos de emisión.







## Termoluminiscencia:

➤ La producción de solo un tipo de cargas atrapadas se puede describir mediante la expresión:

$$\frac{dn}{dt} = \Phi f (N_0 + kt - n)$$

Donde:

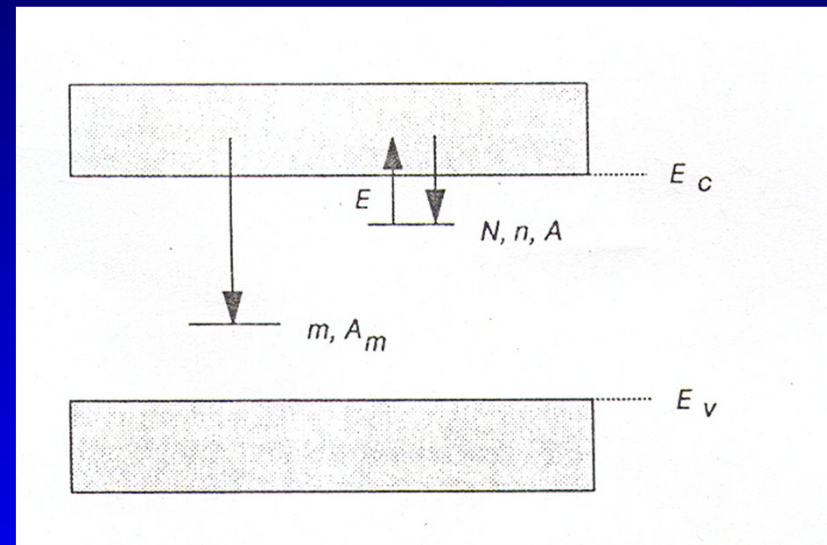
$\Phi$  = Rapidez de dosis absorbida

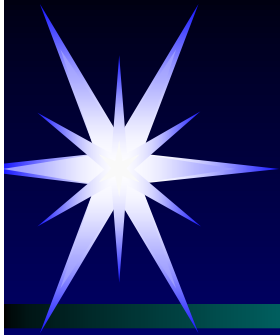
$f$  = fracción de trampas vacías que se ocupan

$N_0$  = concentración de trampas vacías antes de la irradiación

$kt$  = número de defectos producidos por la irradiación en el tiempo  $t$

$n$  = concentración de trampas ocupadas al tiempo  $t$



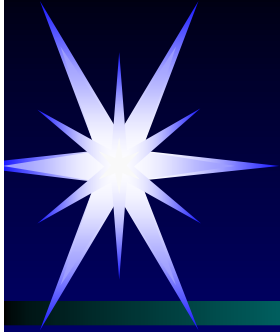


## Termoluminiscencia:

La intensidad de la luz emitida es proporcional al número de trampas que se están desocupando al calentar el material

$$I_{TL} = c \frac{dn}{dt} = ns \exp\left(-\frac{E}{kT}\right)$$

Representa la intensidad TL general para una sólo nivel de atrapamiento



## Aproximaciones del fenómeno TL

Primer orden cinético:

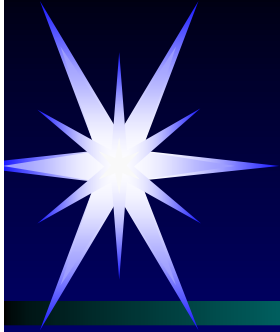
aproximación de Randall y Wilkins (1945)

Asumen reatrapamiento despreciable y

$$\frac{dn}{dt} \propto n$$

$$\beta = \frac{dT}{dt} \text{ constante}$$

$$I_{TL} = n_0 \exp\left\{-\frac{E_t}{kT}\right\} \exp\left\{-\left(\frac{s}{\beta}\right) \int_{T_0}^T \exp\left\{-\frac{E_t}{kT}\right\} dT\right\}$$



## Aproximaciones del fenómeno TL

Segundo orden cinético:

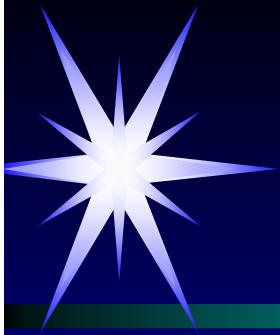
aproximación de Garlick y Gibson (1948)

Asumen reatrapamiento alto y

$$\frac{dn}{dt} \propto n^2$$

$$\beta = \frac{dT}{dt} \text{ constante}$$

$$I_{TL} = \left( \frac{n_0^2}{N} \right) s \exp \left\{ -\frac{E_t}{kT} \right\} \left[ 1 + \left( \frac{n_0 s}{\beta N} \right) \int_{T_0}^T \exp \left\{ \frac{E_t}{kT} \right\} dT \right]^{-2}$$



## Aproximaciones del fenómeno TL

Orden cinético general:

aproximación de Rasheedy (1993)

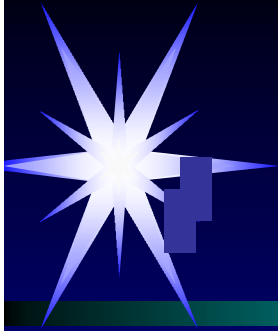
Asumen reatrapamiento alto y

$$\frac{dn}{dt} \propto n^b$$

$$\beta = \frac{dT}{dt} \text{ constante}$$

$$I_{TL} = n_0^b s \exp\left\{-\frac{E_t}{kT}\right\} N^{(1-b)} \left[ 1 + \frac{s(b-1) \left(\frac{n_0}{N}\right)^{(b-1)} \int_{T_0}^T \exp\left\{-\frac{E_t}{kT}\right\} dT}{\beta} \right]^{-\frac{b}{b-1}}$$





# MATERIALES TERMOLUMINISCENTES

$\text{LiF:Mg,Ti}$

$\text{LiF:Mg,Cu,P}$

$\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7:\text{Mn}$

$\text{CaSO}_4:\text{TR}$

$\text{BaSO}_4:\text{TR}$

$\text{Al}_2\text{O}_3:\text{C}$

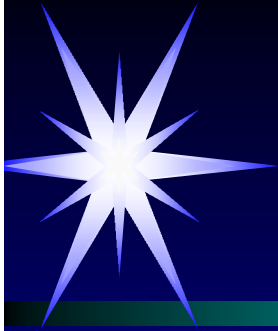
$\text{Al}_2\text{O}_3:\text{TR}$

$\text{ZrO}_2:\text{TR}$

$\text{Y}_2\text{O}_3:\text{TR}$

$\text{TiO}_2:\text{TR}$

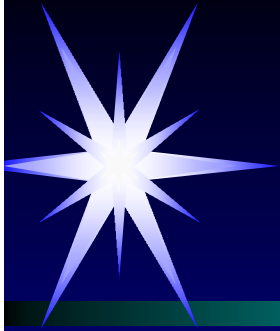




## MATERIALES TERMOLUMINISCENTES

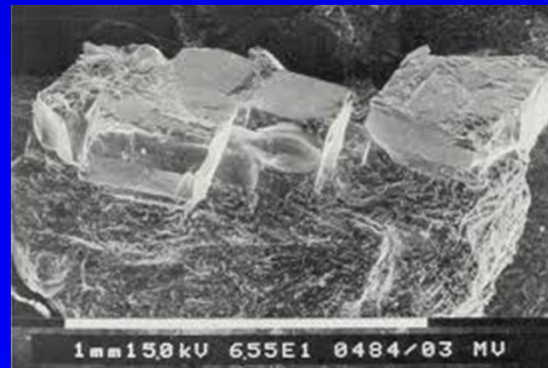
Comúnmente el producto de una síntesis de un material inorgánico es una sustancia policristalina que se obtiene en forma de polvos. Sin embargo, en muchos casos se requiere que el material sea obtenido en formas especiales tales como monocristales y películas delgadas. La forma requerida está lógicamente determinada por el uso o aplicación que se le dará al material.

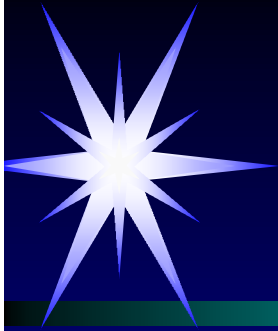




## MATERIALES TERMOLUMINISCENTES

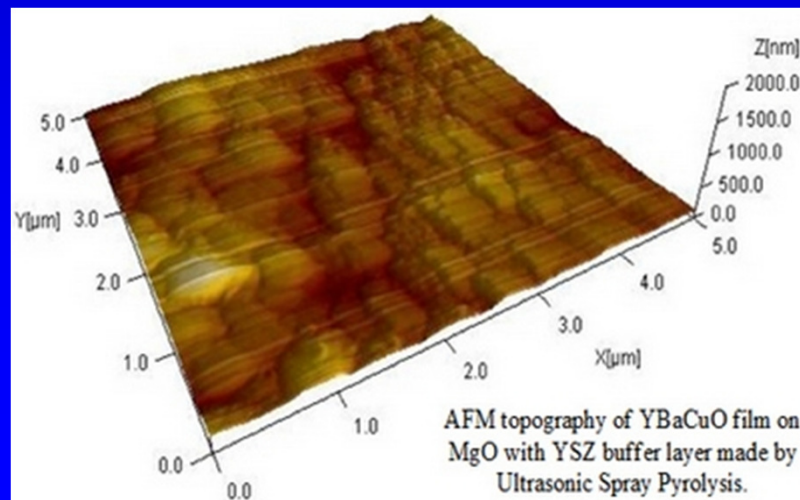
Para dosimetría termoluminiscente los monocristales no son adecuados porque por lo general no se tiene el dopante distribuido homogéneamente, por lo que para obtener un material homogéneo se debe pulverizar el monocristal, o bien usar materiales policristalinos





## MATERIALES TERMOLUMINISCENTES

Las películas o capas delgadas tanto amorfas, como mono o policristalinas resultan útiles en DTL para la dosimetría de radiación de baja energía. Otra característica importante es que sus propiedades son con frecuencia diferentes a las propiedades de un material voluminoso, lo que se deriva de la gran relación área / volumen que poseen.



# MATERIALES TERMOLUMINISCENTES

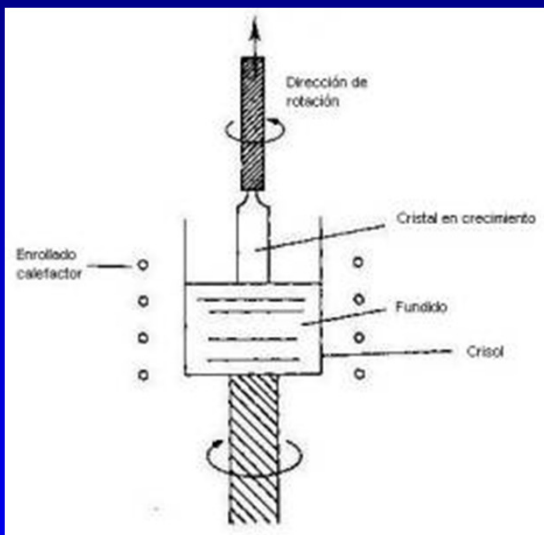


Fig. 1. Crecimiento de monocristales por el método de Czochralski.

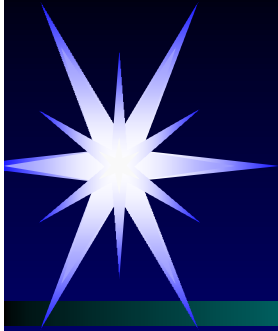
Los cristales pueden ser crecidos desde cualquier fase: vapor, líquida o sólida, aunque generalmente sólo las dos primeras dan cristales de suficiente tamaño para su aplicación en dosimetría

*Método de Czochralski*

*Fusión por zonas*

*Precipitación a partir de soluciones o fases fundidas:*





# MATERIALES TERMOLUMINISCENTES

Los métodos de preparación de películas delgadas pueden ser:

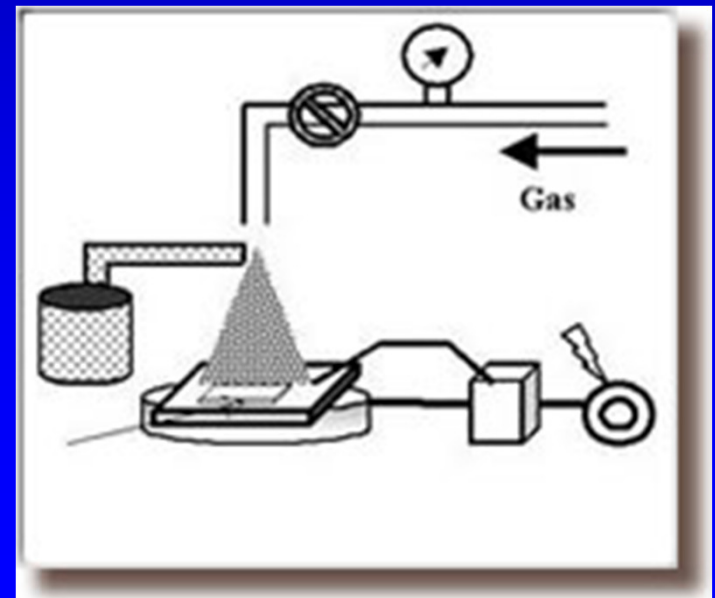
- a) Métodos químicos y electroquímicos
- b) Métodos físicos

*Depósito químico de vapores*

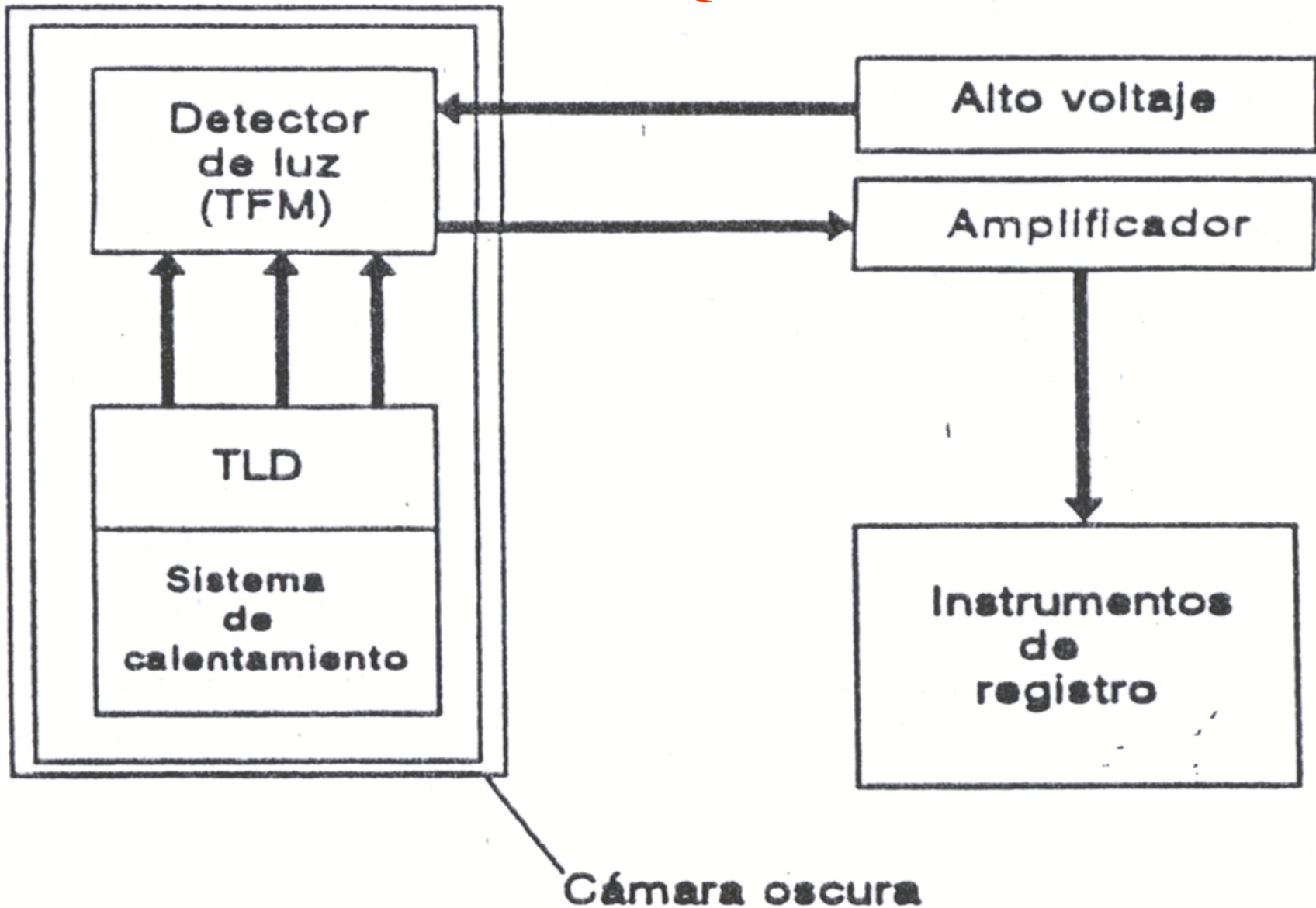
*Depósito por baño químico*

*Rocío pirolítico (Spray pirolisis).*

*Sol – gel*



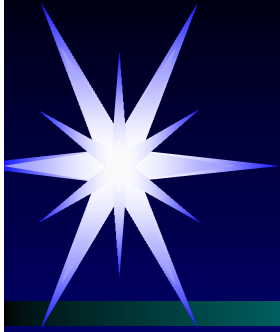
# EQUIPO DE LECTURA





# EQUIPO DE LECTURA

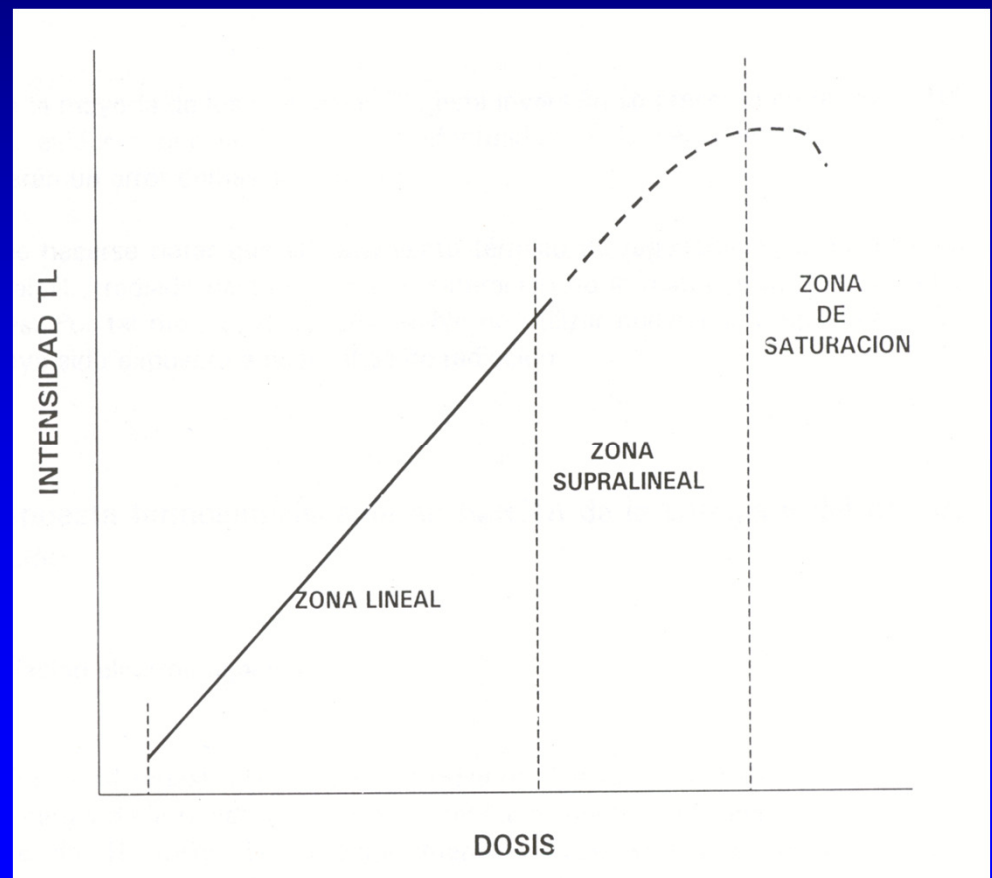




# APLICACIONES

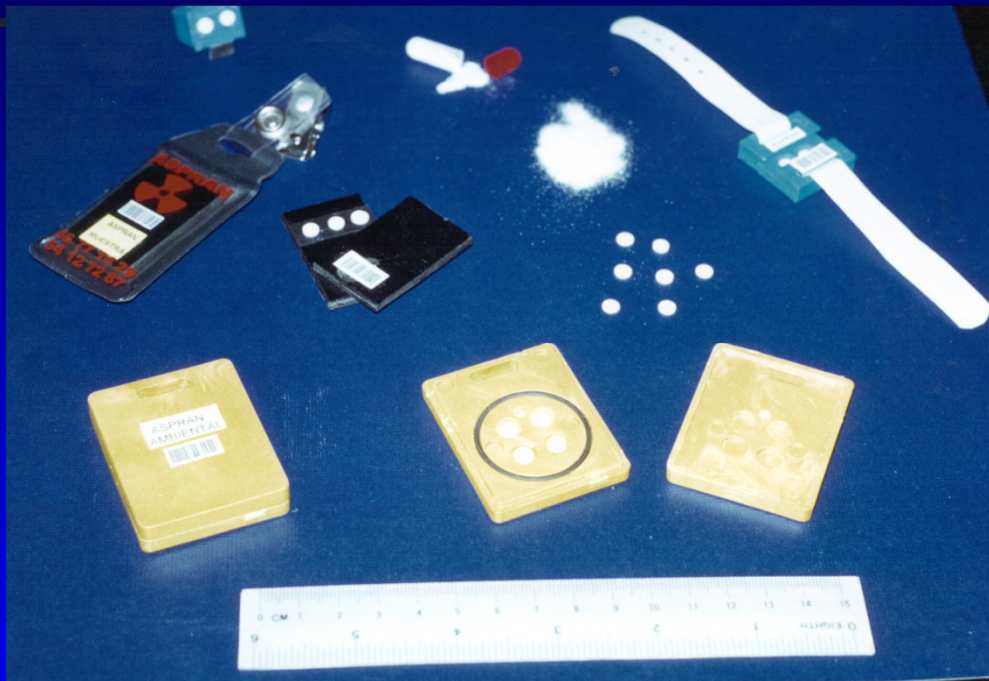
# DOSIMETRÍA TERMOLUMINISCENTE (DTL)

En un material TL, la luminiscencia emitida es proporcional, dentro de ciertos límites, a la cantidad de radiación absorbida por el material



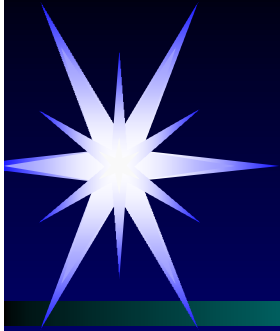


# DOSIMETRÍA TERMOLUMINISCENTE (DTL)



La DTL se basa en el hecho de que la cantidad de luz emitida por el material irradiado, es proporcional a la cantidad de radiación recibida.

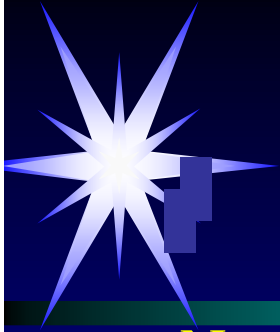




## DOSIMETRÍA PERSONAL

Dosímetros personales son aquellos que utiliza el personal ocupacionalmente expuesto (POE) durante el desarrollo de su trabajo





## CARACTERÍSTICAS DE LOS DOSIMETROS TERMOLUMINISCENTES

- ❑ No necesitan empaque especial
- ❑ La dosimetría se puede efectuar prácticamente en un punto
- ❑ Cubren un amplio intervalo de dosis
- ❑ Son casi equivalentes al tejido (los más usuales)
- ❑ Tienen bajo desvanecimiento (los más usuales)
- ❑ No necesitan conexiones entre el dosímetro y el equipo de lectura
- ❑ Son casi independientes de la rapidez de dosis
- ❑ Son sensibles a cualquier tipo de radiación
- ❑ Se pueden usar varias veces y son baratos

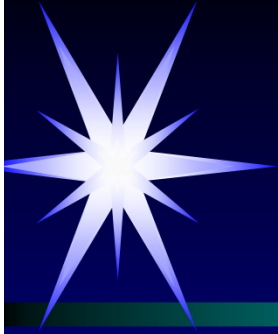




# RADIODIAGNÓSTICO







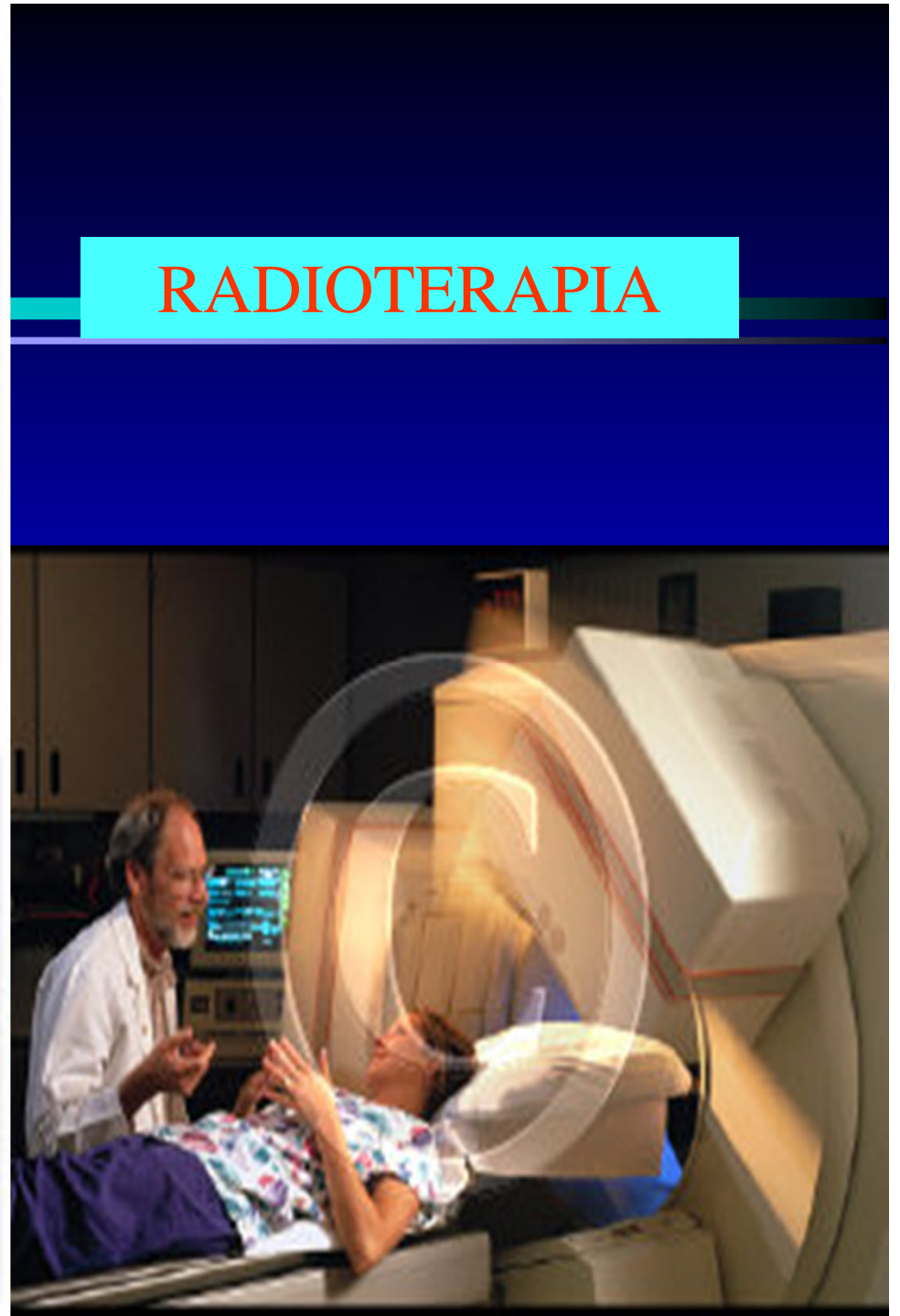
# RADIODIAGNÓSTICO



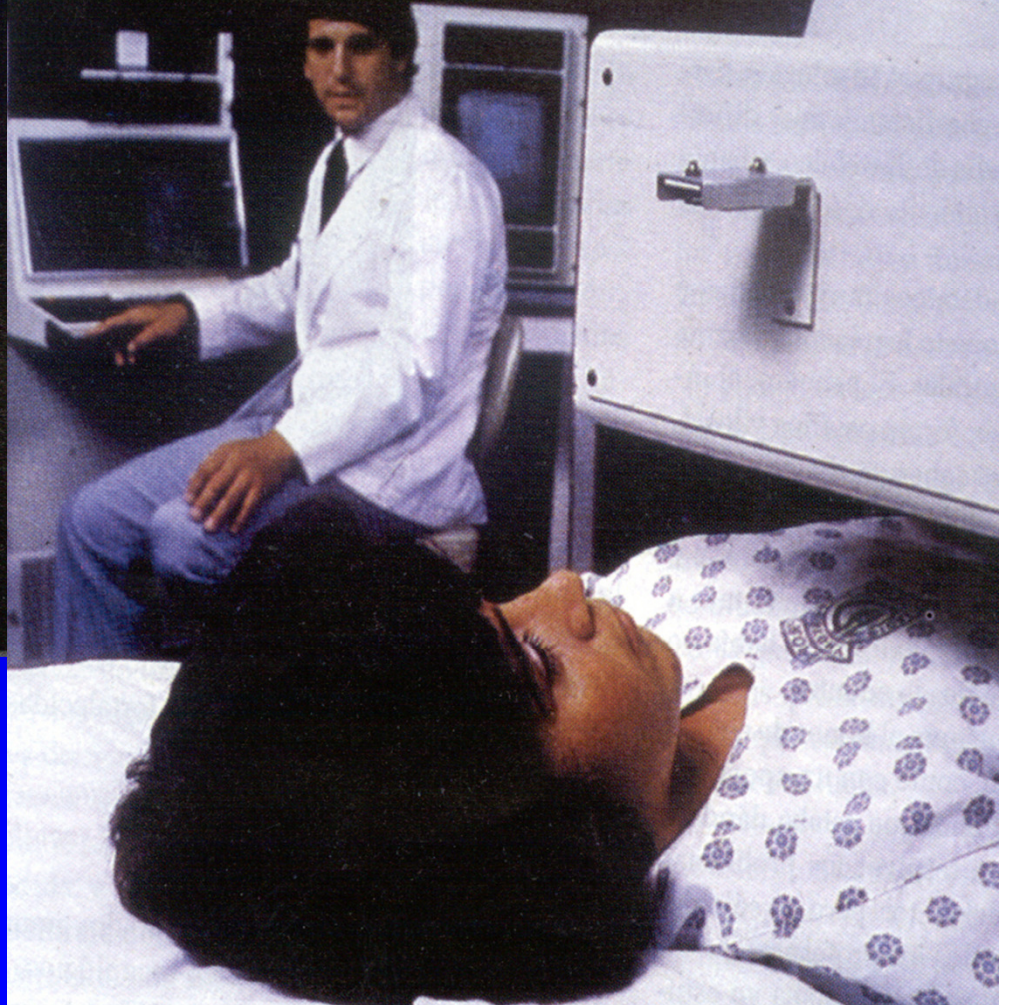
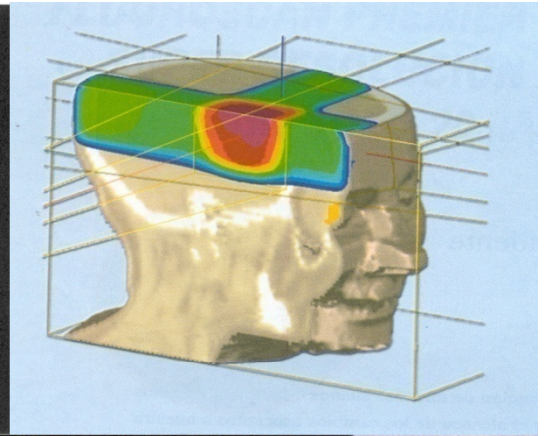
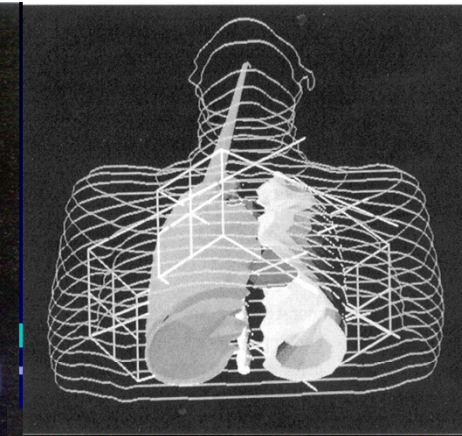
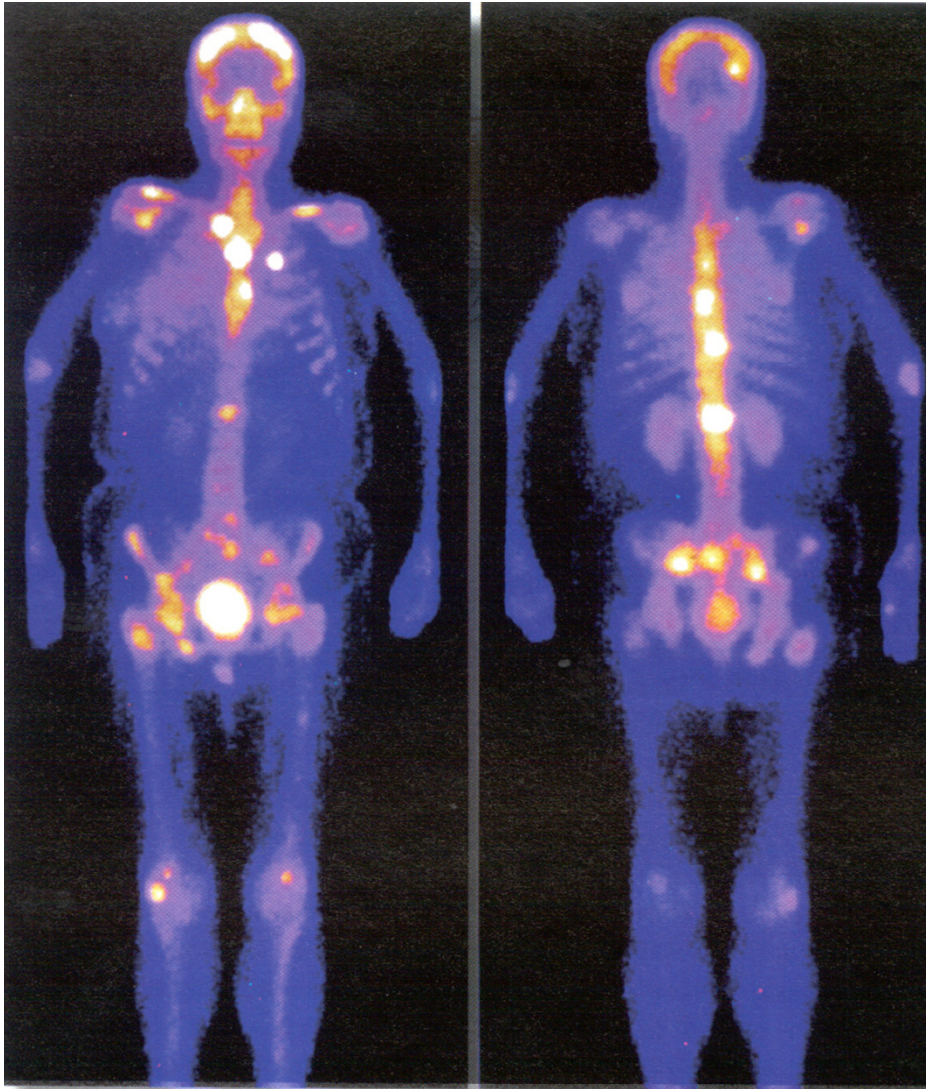




# RADIOTERAPIA







MEDICINA  
NUCLEAR





APLICACIONES  
EN LA  
AGRICULTURA



# Conservación de alimentos por irradiación



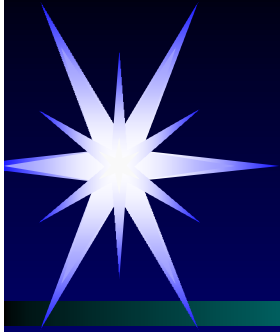


# Control de plagas

Mediante la esterilización de los machos por irradiación







# Radiografías industriales





# Aeronáutica





# Aeronáutica

**En años recientes, se ha incrementado la atención respecto al problema de la exposición de los tripulantes aéreos a la radiación cósmica.**





# Aeronáutica



Los tripulantes de una aeronave, a diferencia que el resto de la población, se encuentran más expuestos a la radiación cósmica, ya que a menor densidad atmosférica y grandes altitudes se ofrece un menor nivel de protección contra la radiación ionizante

**La exposición a la radiación cósmica por parte de las tripulaciones de vuelo es directamente proporcional a:**

- La altitud
- La latitud (se incrementa hacia los polos)
- La duración del vuelo en crucero



# Fechaamiento de sitios arqueológicos





# Fechamiento de sitios arqueológicos







# *Fechamiento*

de piezas arqueológicas







GRACIAS POR SU ATENCIÓN