



# ***Nanoantenas metálicas como sensores moleculares***

JOSÉ A. SÁNCHEZ GIL

[j.sanchez@iem.cfmac.csic.es](mailto:j.sanchez@iem.cfmac.csic.es)

Instituto de Estructura de la Materia, CSIC, Madrid

# Índice



- Introducción:

- Antenas
- Espectro Electromagnético

- Miniaturización  $\Rightarrow$  Micro-antenas



- **NANO-ANTENAS  $\Rightarrow$  SENSORES MOLECULARES**

# Antenas

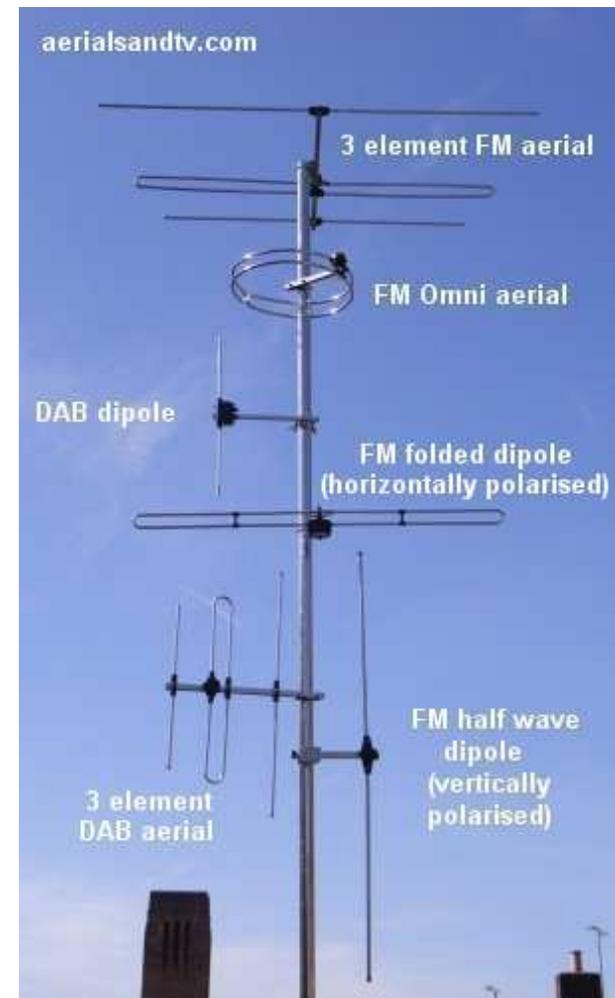
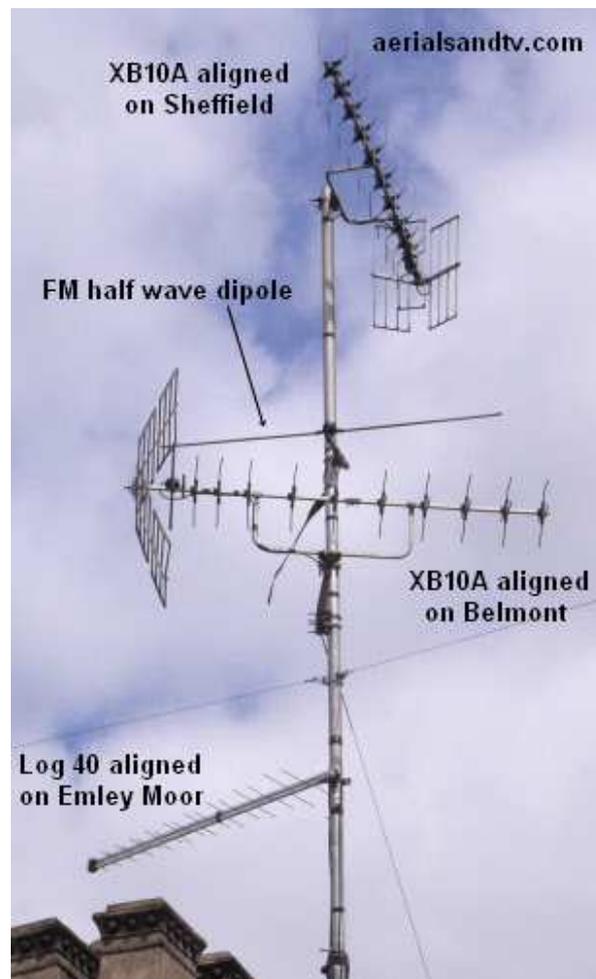


*Una antena es un dispositivo diseñado con el objetivo de emitir o recibir ondas electromagnéticas hacia el espacio libre. Una antena transmisora transforma corrientes eléctricas en ondas electromagnéticas, y una receptora realiza la función inversa...*

Fuente: wikipedia

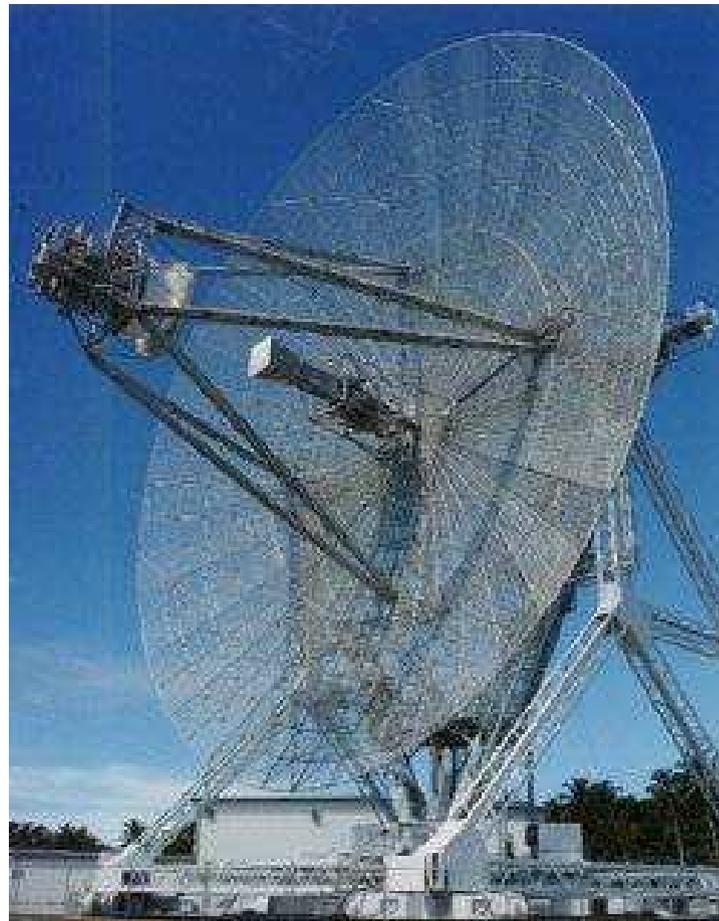
# ...Antenas

## Radio



# ...Antenas

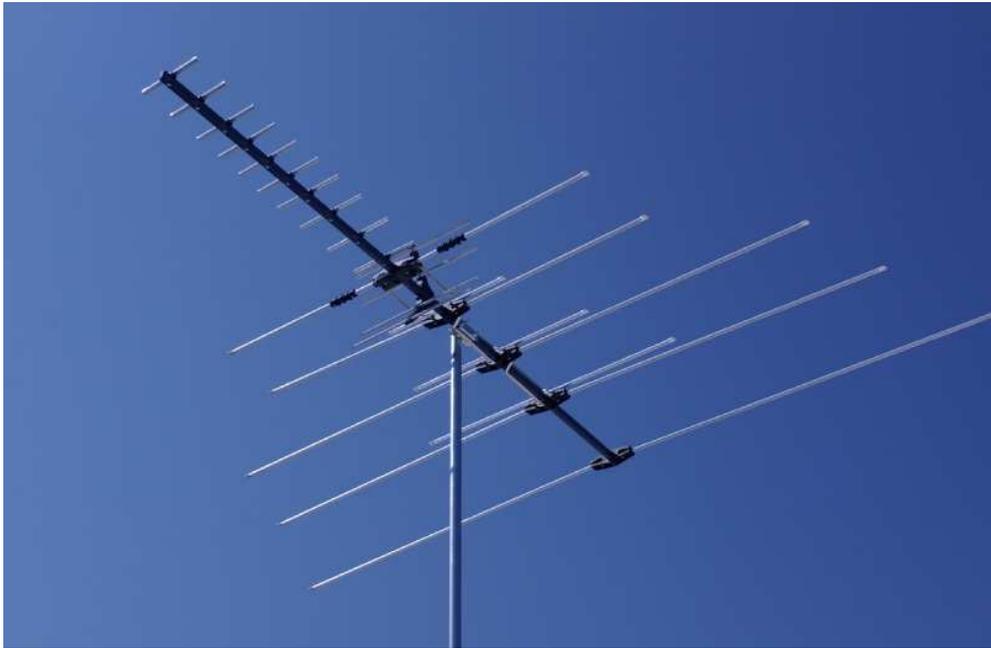
## Radar



# ...Antenas



TV



DT-028

# ...Antenas



## Móviles



# ...Antenas

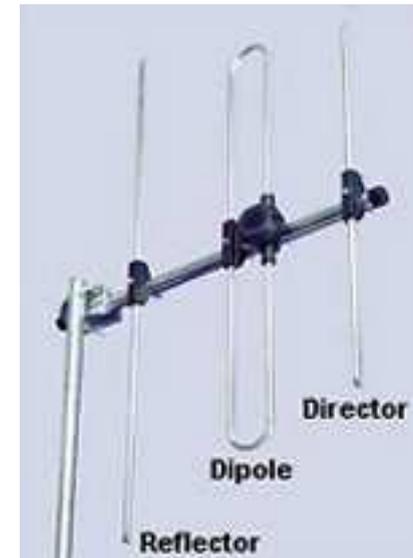
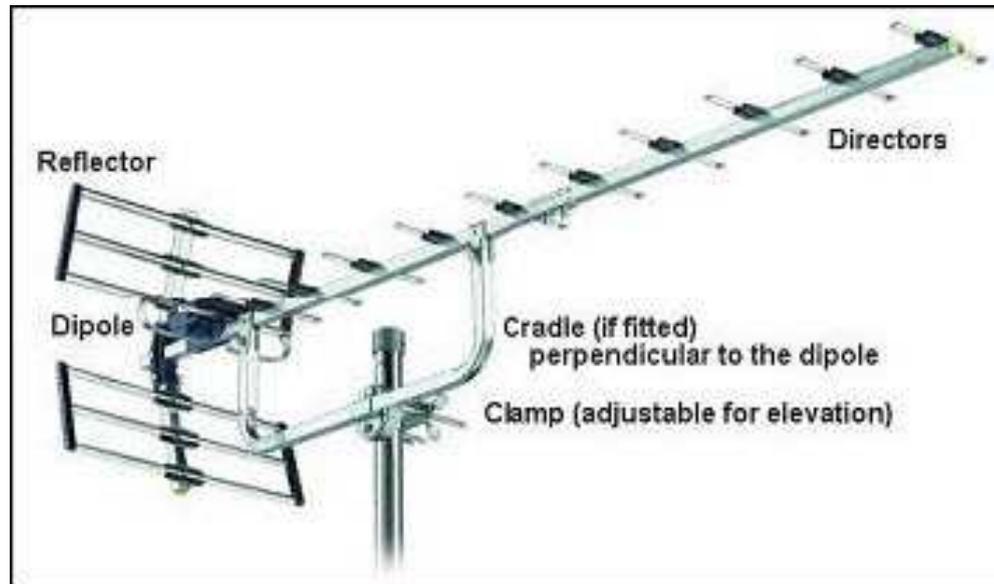


## Parabólicas



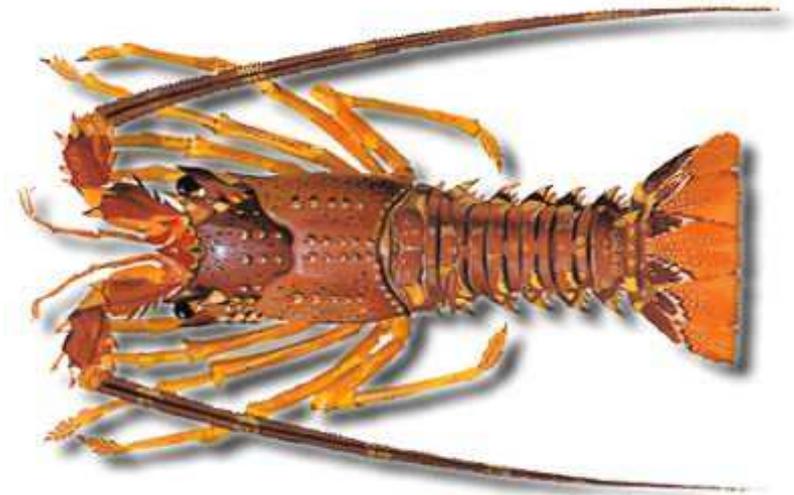
# ...Antenas

## Yagi



# ...Antenas

## Animales



# ...Antenas

Reales

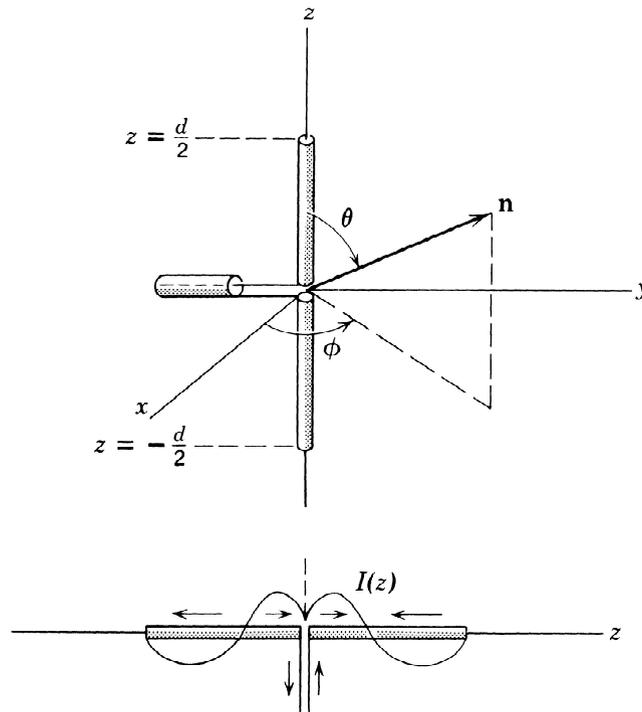


# Antenas



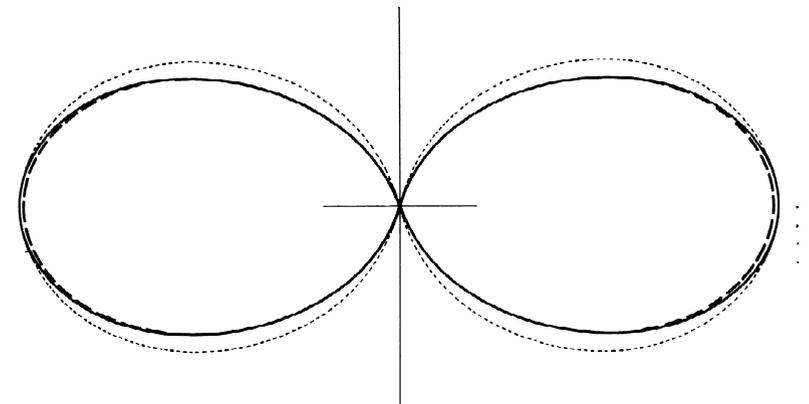
## Antena lineal

$$I \sim \sin \left\{ k \left( \frac{d}{2} - |z| \right) \right\} e^{-i\omega t}$$



## Media Onda

$$kd = \pi, d = \lambda/2 \quad (k = \omega/c = \frac{2\pi}{\lambda})$$



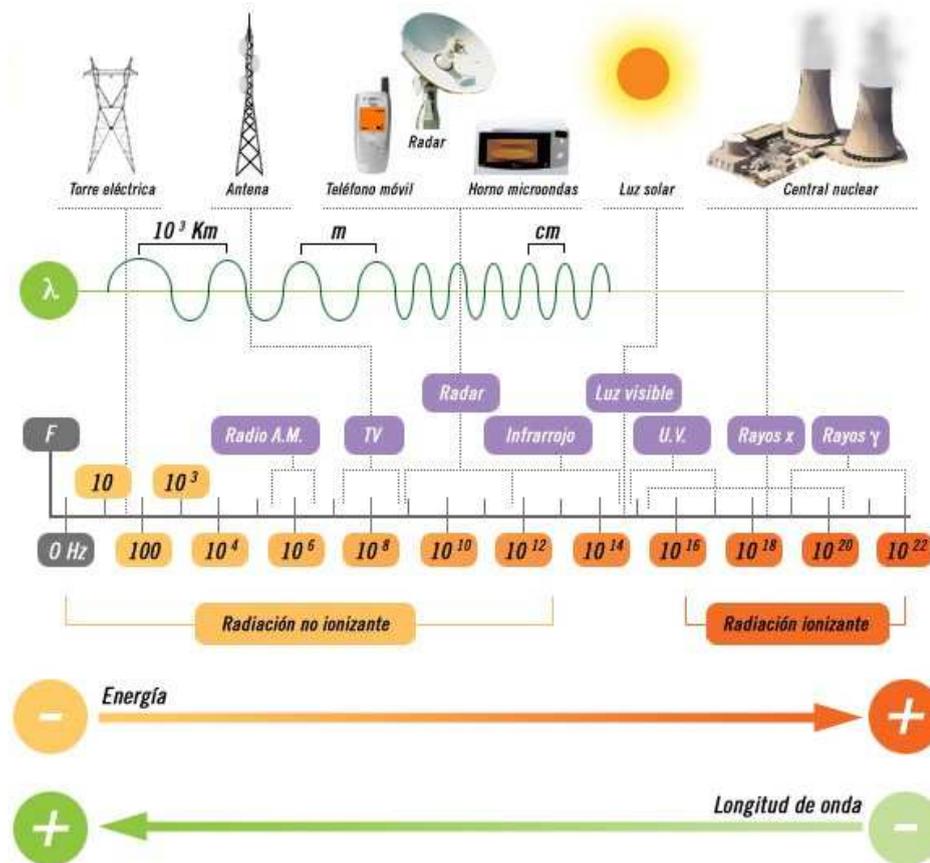
# Espectro electromagnético



$$k = \frac{\omega}{c} = \frac{2\pi}{\lambda}$$

$$E = \hbar\omega$$

El espectro de frecuencias.



# ...Antenas



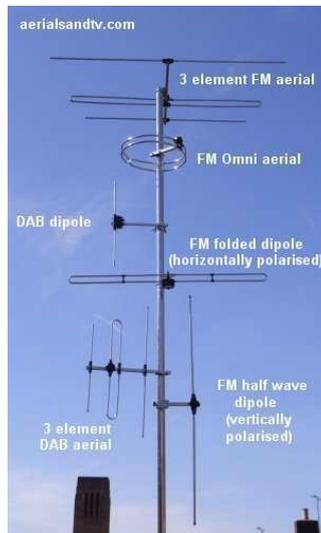
... Tamaño importa



# ...Antenas



Metro



cm



mm



$\mu\text{m}, \text{nm}$

??

# Índice



- Introducción:

- Antenas
- Espectro Electromagnético

- Miniaturización  $\Rightarrow$  Micro-antenas

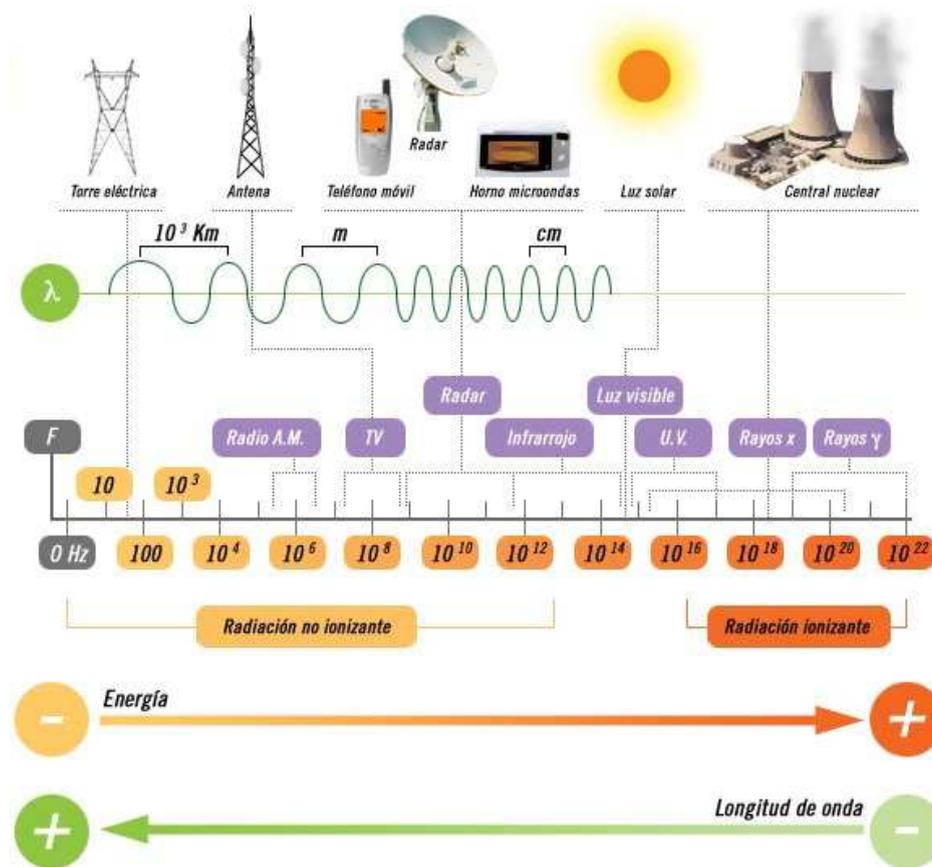


- **NANO-ANTENAS  $\Rightarrow$  SENSORES MOLECULARES**

# Espectro electromagnético

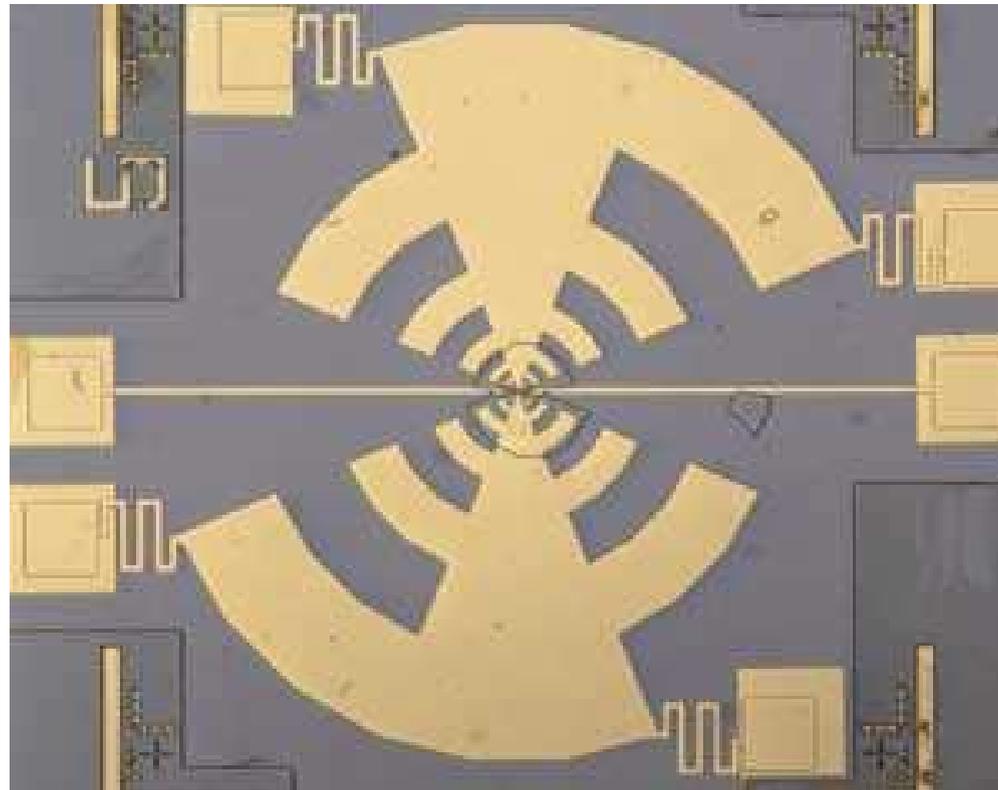


El espectro de frecuencias.



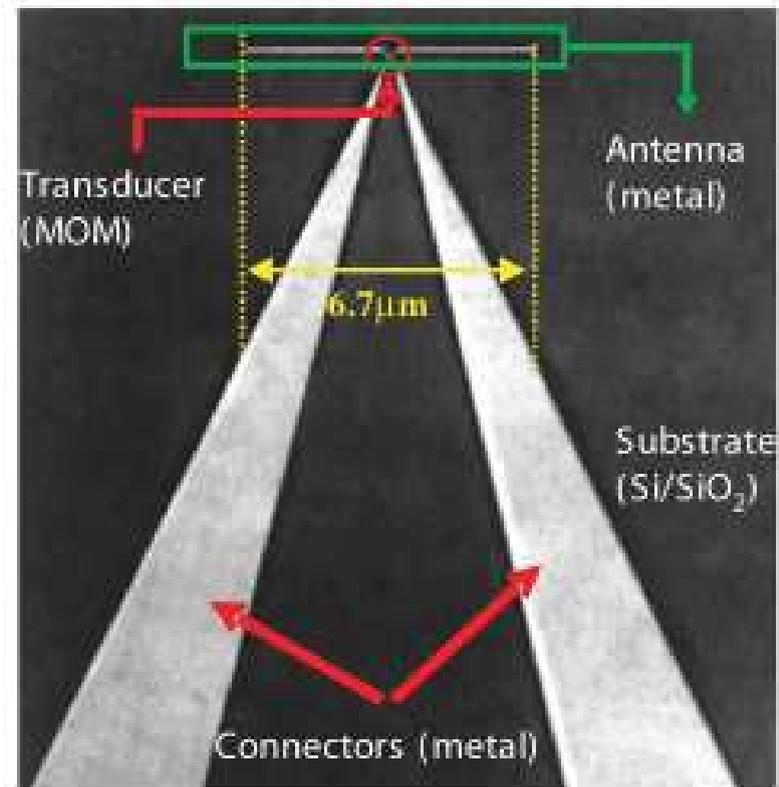
# Antenas THz

THz



# Micro-Antenas

IR



# Nano-Antenas



Luz

??

# Índice



- Introducción:

- Antenas
- Espectro Electromagnético

- Miniaturización  $\Rightarrow$  Micro-antenas



- **NANO-ANTENAS  $\Rightarrow$  SENSORES MOLECULARES**

# ~ Antenas

*...antennas are widely employed to convert electromagnetic radiation into localized energy and vice versa.*

*...*

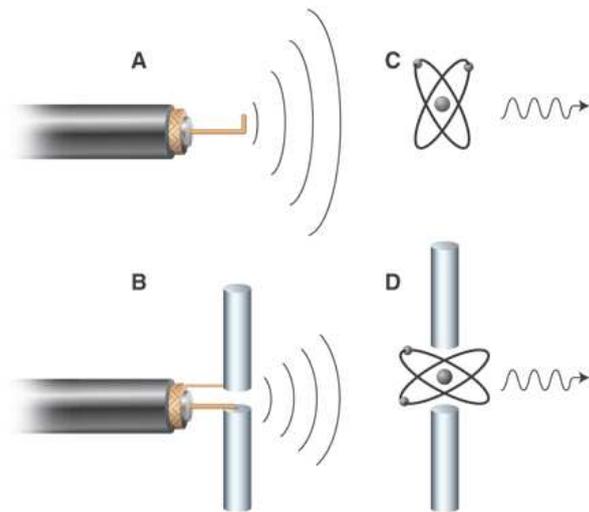
*Una antena es un dispositivo diseñado para convertir radiación electromagnética en **energía localizada** y viceversa...*

Fuente: L. Novotny, PRL 2007

# Nano-antenas



## Antenas: Radio $\longleftrightarrow$ Ópticas



*The end of a coaxial wire (A) is a source of radio waves. Connecting the wire to an antenna (B) amplifies the radio emission and modifies its direction. Light emission can be modified in a similar way by placing a light source such as an atom (C) between two rods (D). In (C), the photon is emitted in almost any direction, whereas in (D), the emission direction is concentrated in directions perpendicular to the antenna*

J. J. Greffet, Science 2005

# Nano-antenas



- Respuesta de los metales a la radiación visible (luz):  
Plasmones
- Procesos de emisión (espontánea) de luz  
Modificación de la emisión debida a las nanoantenas:  
efecto Purcell & *SERS*
- Nano-estructuras

# Nano-antenas



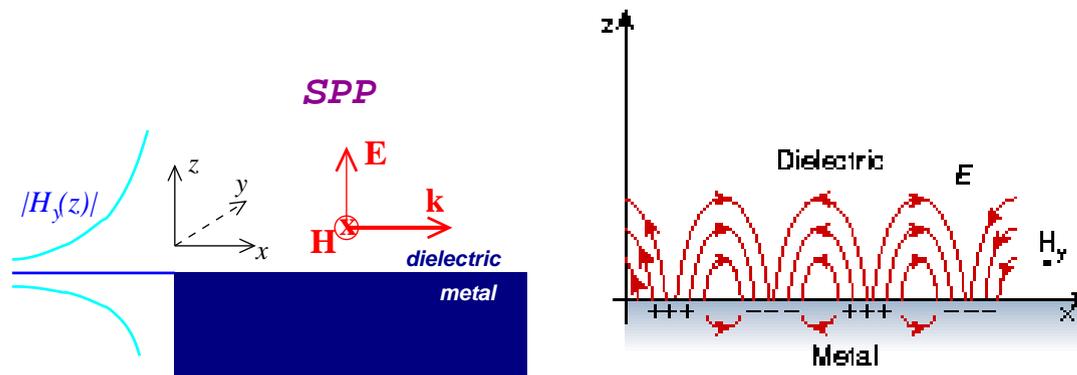
- Respuesta de los metales a la radiación visible (luz):  
Plasmones
- Procesos de emisión (espontánea) de luz.  
Modificación de la emisión debida a las nanoantenas:  
efecto Purcell & *SERS*
- Nano-estructuras

# Plasmones

- Teoría Drude de Metales: Modelo electrones libres

$$\epsilon(\omega) = 1 - \frac{\omega_p^2}{\omega(\omega + i\gamma)}, \quad \omega_p \equiv \text{frecuencia plasma}$$

- $\omega < \omega_p$ , Opaco;  $\omega > \omega_p$ , Transparente
- $\omega = \omega_p$ , Oscilaciones densidad-carga: Plasmones
- Plasmones Superficiales



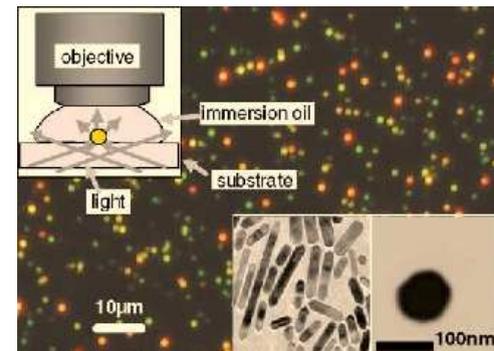
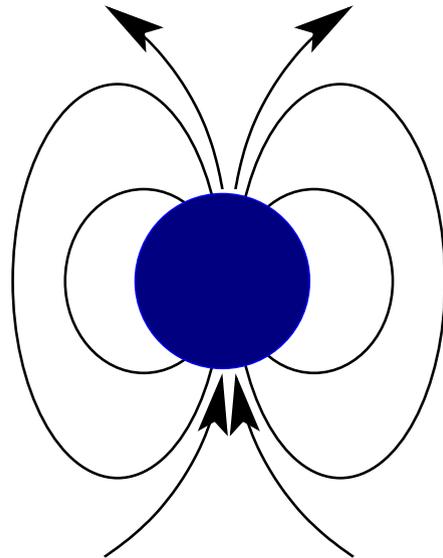
# Metales: Plasmones



Scattering MIE (Esfera, Cilindro)

Nanopartícula  $\implies$  Dipolo

RESONANCIA PLASMON

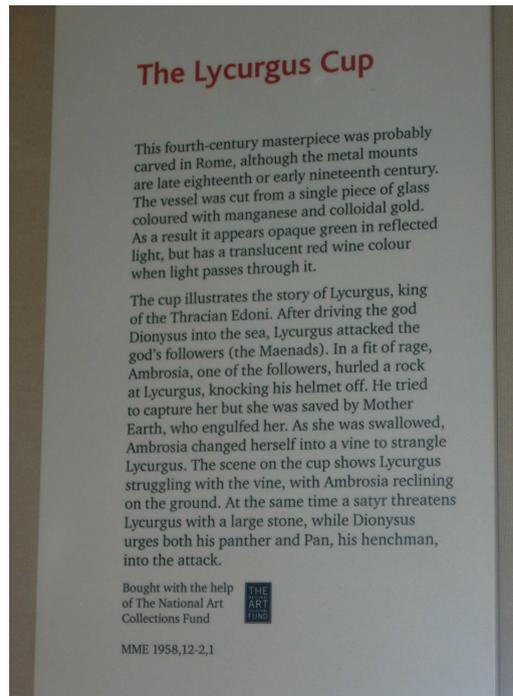


Sonnichsen et al, PRL (2002)

# Colloides Metálicos



## COPA LICURGUS



# Nano-antenas

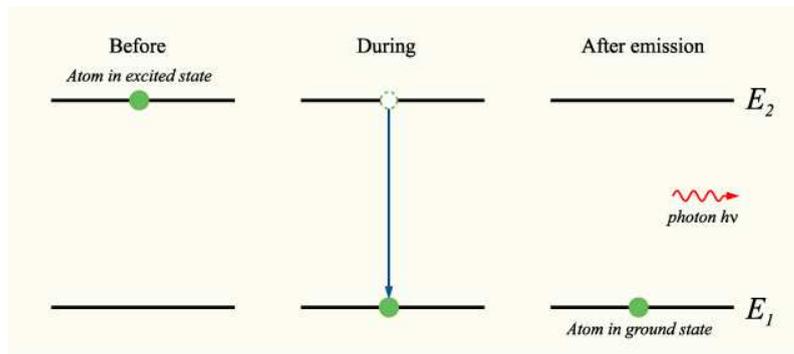


- Respuesta de los metales a la radiación visible (luz):  
Plasmones
- Procesos de emisión (espontánea) de luz.  
Modificación de la emisión debida a las nanoantenas:  
efecto Purcell & *SERS*
- Nano-estructuras

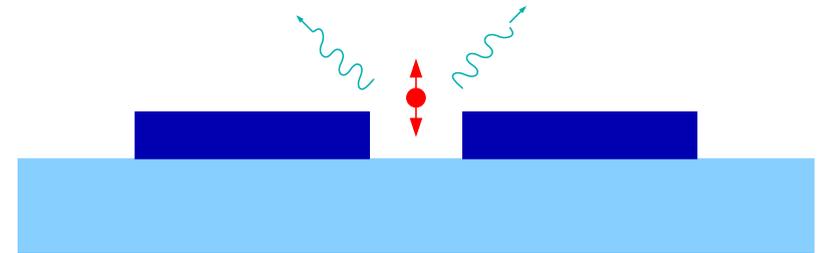
# Emisión espontánea



## Emisión espontánea: $\eta_0$



## Efecto Purcell: EM-LDOS



$$I \sim \eta_0 * \text{EM-LDOS}$$

EM-LDOS  $\Rightarrow$  densidad local estados EM

Átomos, Moléculas, puntos cuánticos, ...

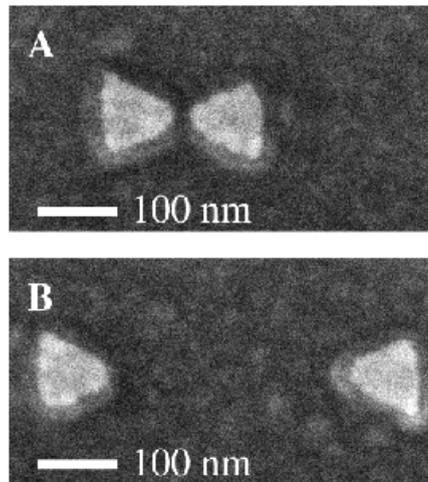
# Nano-antenas



- Respuesta de los metales a la radiación visible (luz):  
Plasmones
- Procesos de emisión (espontánea) de luz.  
Modificación de la emisión debida a las nanoantenas:  
efecto Purcell & *SERS*
- Nano-estructuras

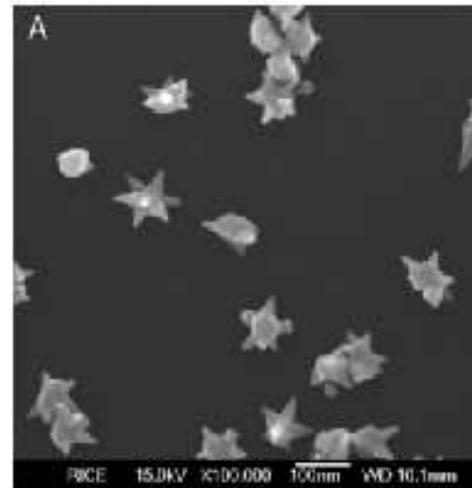
# Nano-antenas

## Nano-pajarita (*Bowtie*)



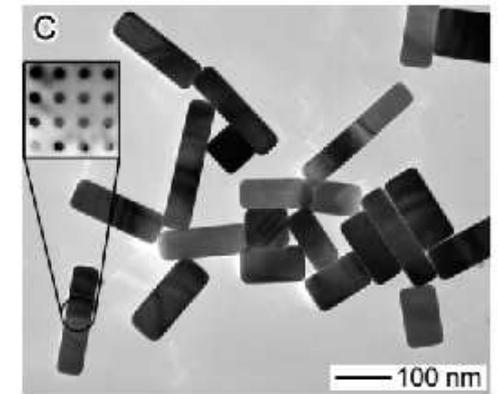
Fromm *et al*, NanoLett. 2004

## Nano-estrellas



Nehl *et al*, NanoLett. 2006

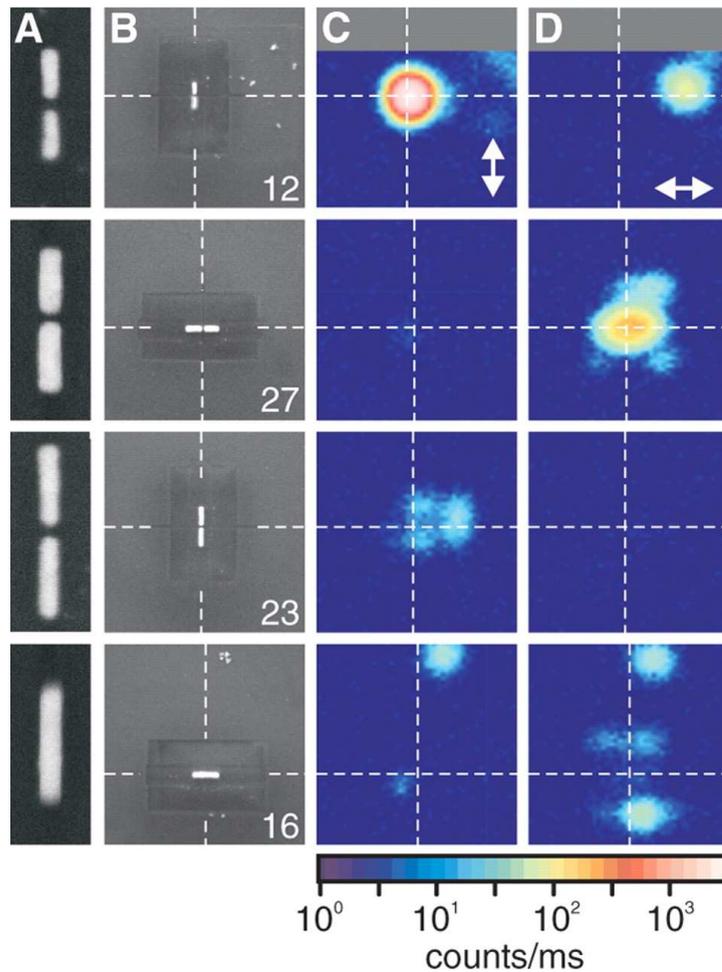
## Nano-arroz



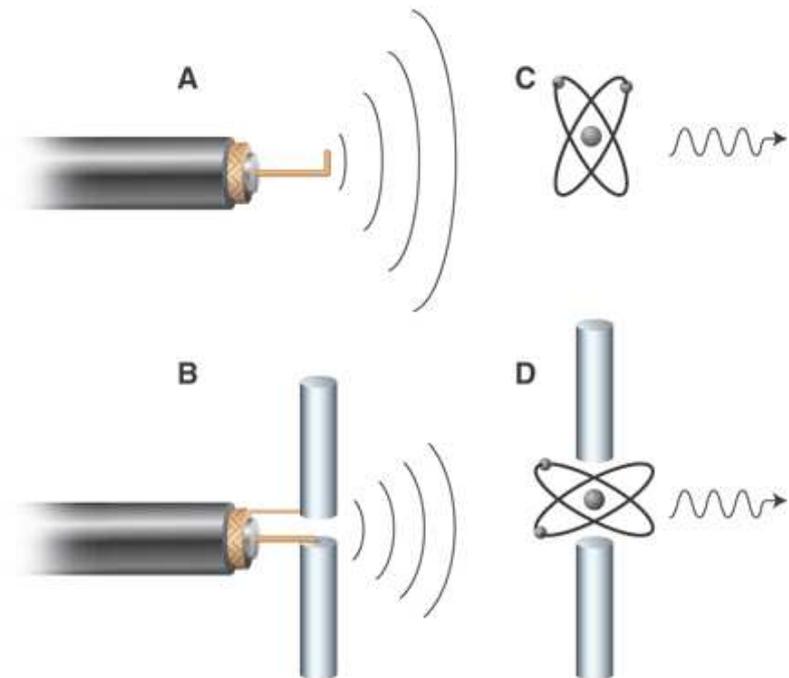
Wiley *et al*, NanoLett. 2007

...

# Nano-antenas



Mühschlegel *et al*, Science 2005



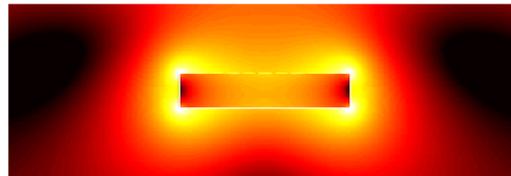
Greffet, Science 2005

# Nanorectángulos: $\sim \lambda/2$ -antena

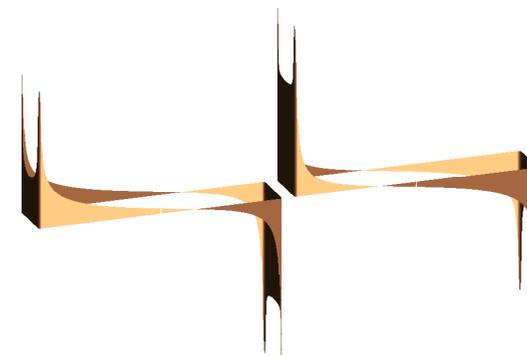
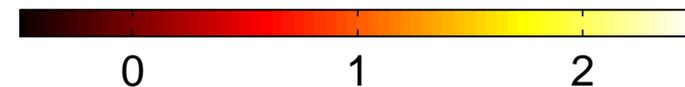
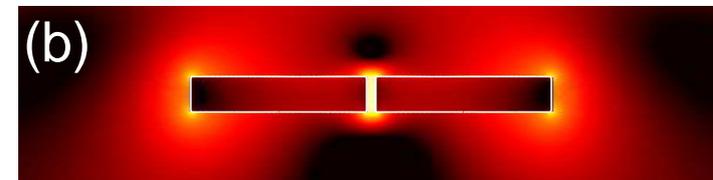


Antena  $\sim 100$  nanometros!!

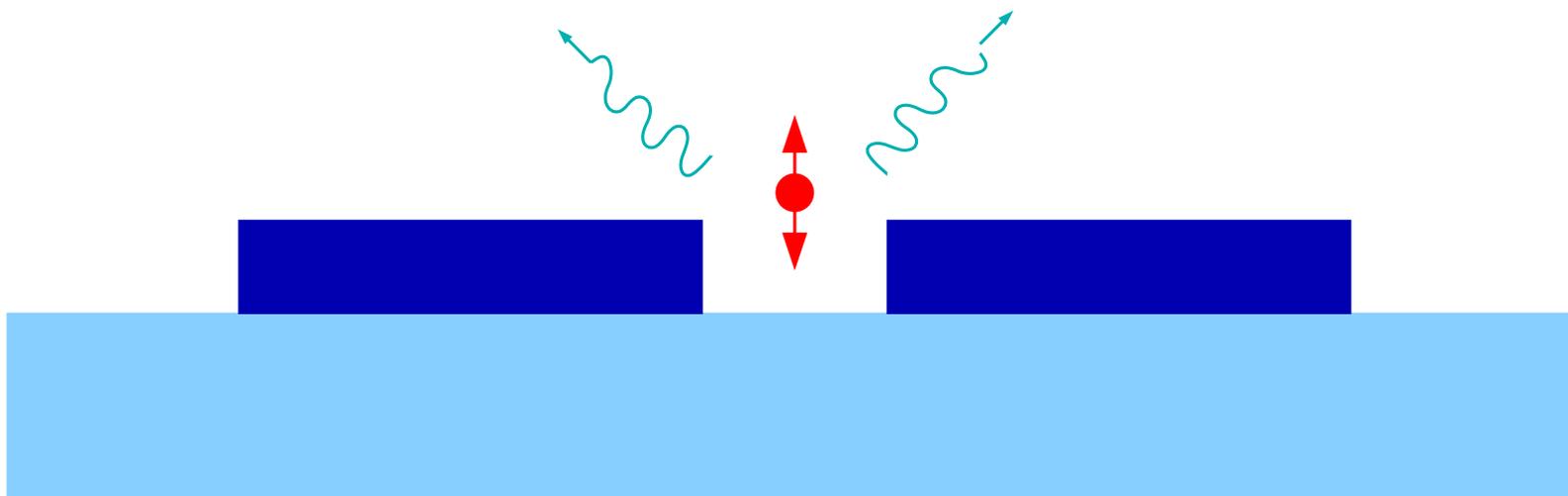
Aislado



Dímero



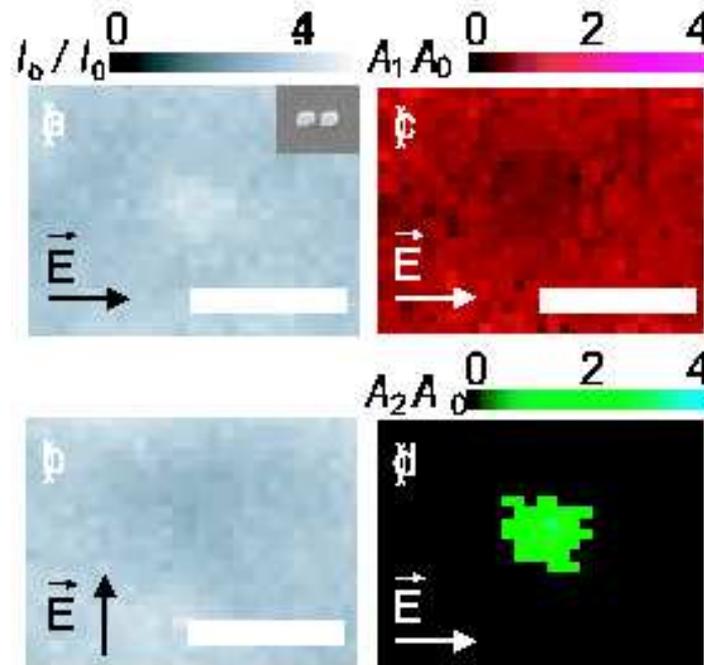
# Nanoantena: Fluorescencia



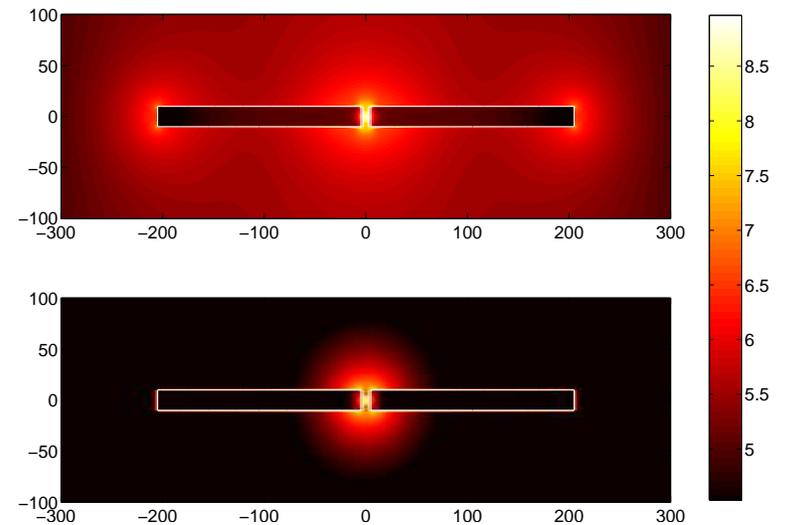
# Nanoantena: Fluorescencia



Imagen Confocal



Cálculos



Muskens, Giannini, Sánchez-Gil, Gomez Rivas, Nano Lett. 2007

# Nanoantenas: SERS

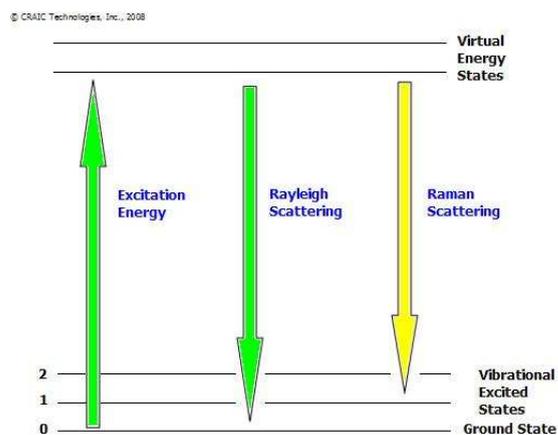


## Surface-enhanced Raman scattering

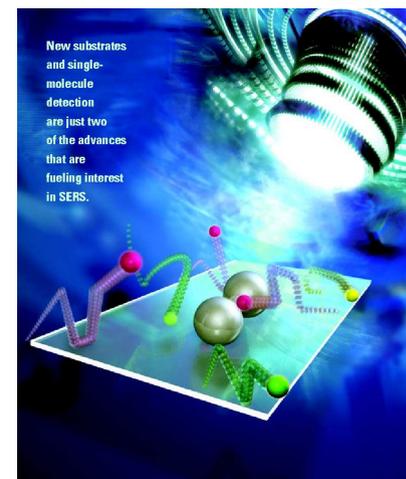
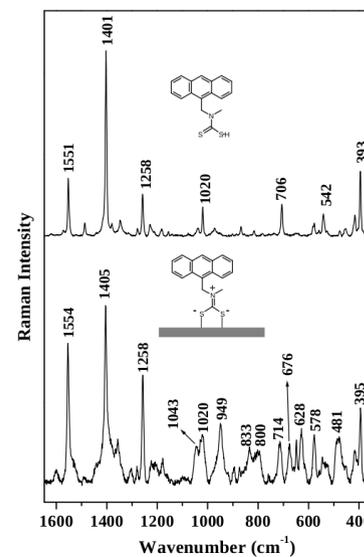
Raman

Espectros:

SERS



## HUELLA MOLECULAR



Sánchez-Cortés *et al*

Haynes, McFarland, van Duyne, *Anal. Chem.* 2005

# RESUMEN



## Nano-Ciencia/Nano-Tecnología

- Nano-Óptica/Metales...
- Nanoantenas: diseño de nanoestructuras
  - Nanolitografía
  - Nano-Química
- *(Bio)molecular Sensing*



*Gracias*