

# ***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

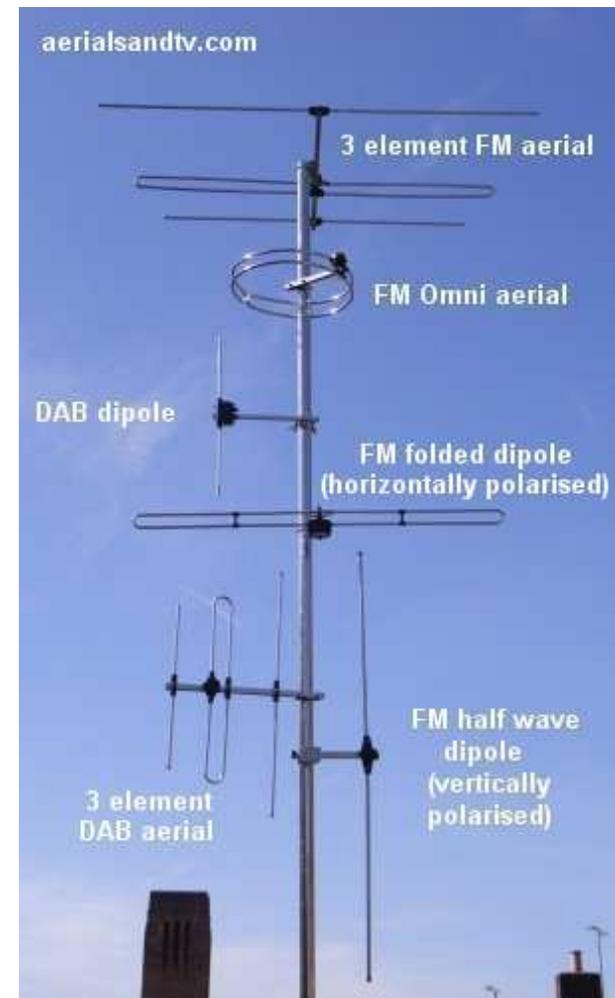
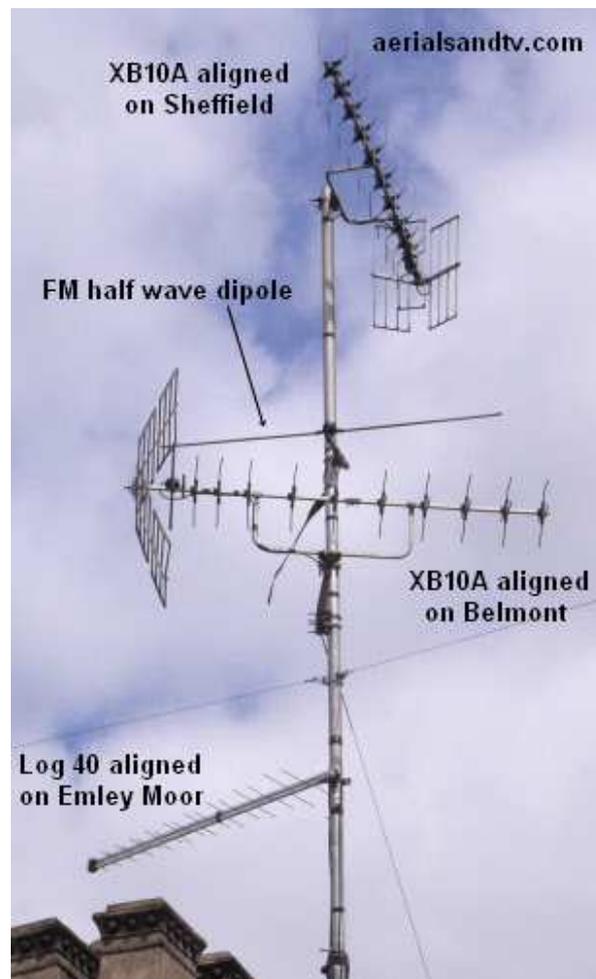


*Una antena es un dispositivo diseñado con el objetivo de emitir o recibir ondas electromagnéticas hacia el espacio libre. Una antena transmisora transforma corrientes eléctricas en ondas electromagnéticas, y una receptora realiza la función inversa...*

Fuente: wikipedia

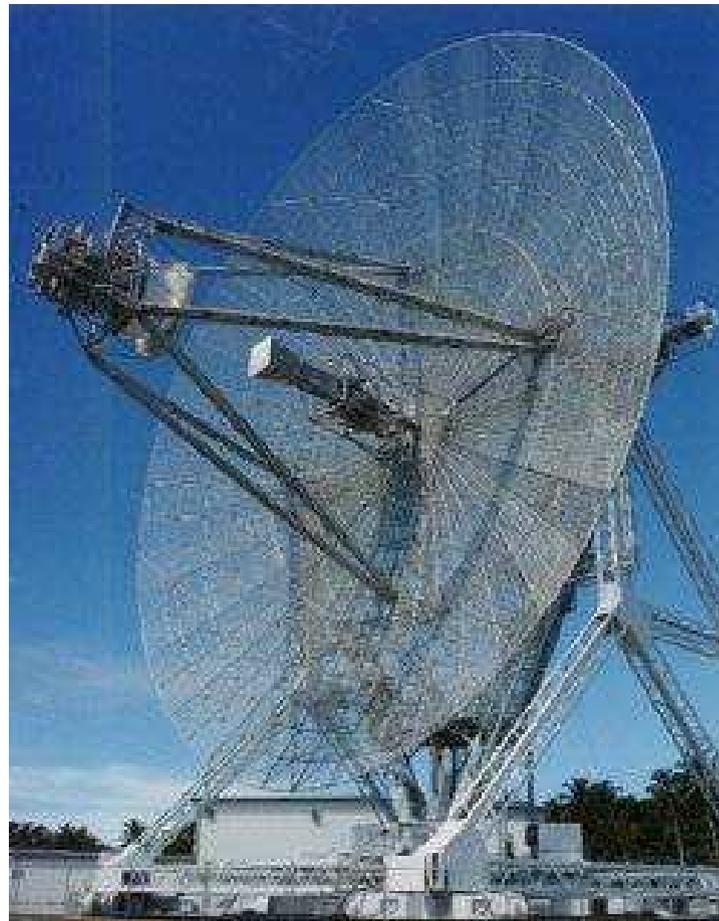
# ...Antenas

## Radio



# ...Antenas

## Radar



# ...Antenas



TV



DT-028

# ...Antenas



## Móviles



# ...Antenas

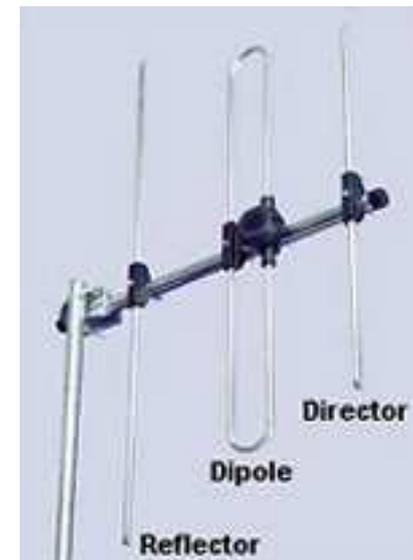
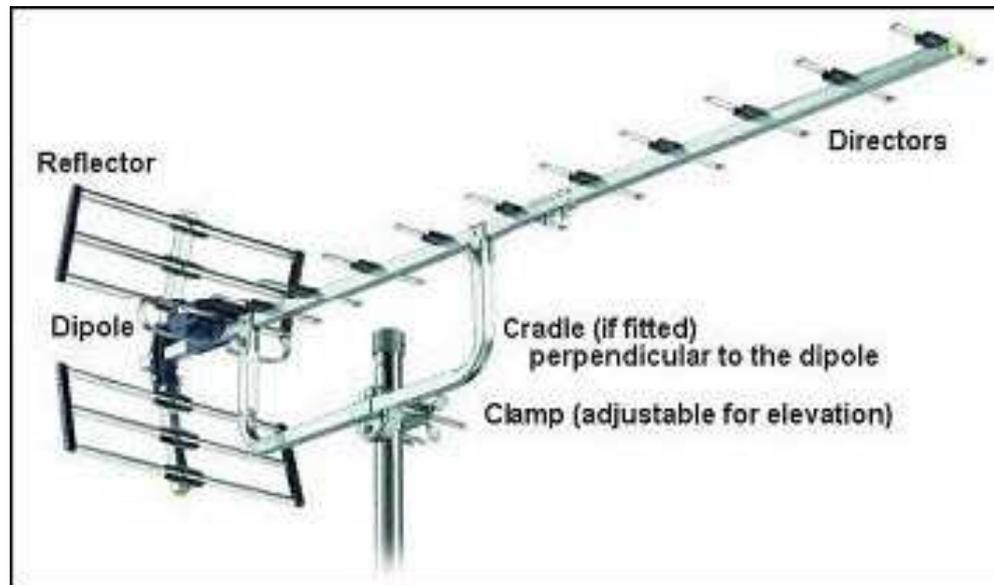


## Parabólicas



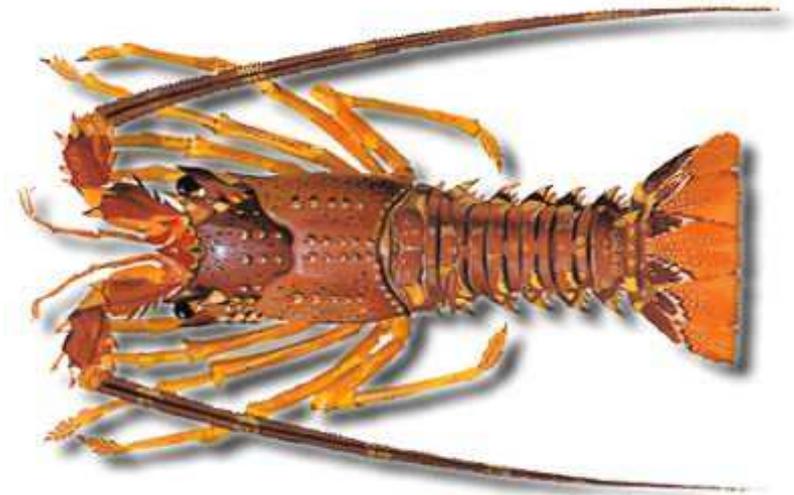
# ...Antenas

## Yagi



# ...Antenas

## Animales



# ...Antenas

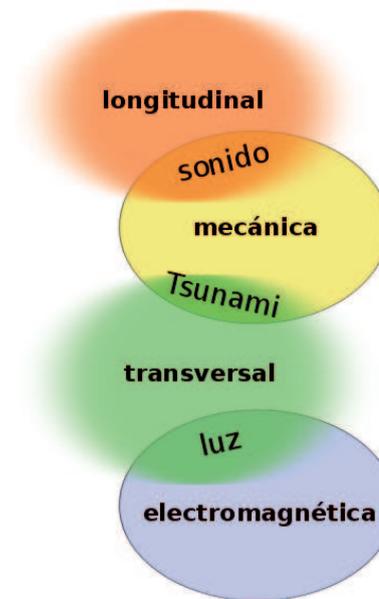
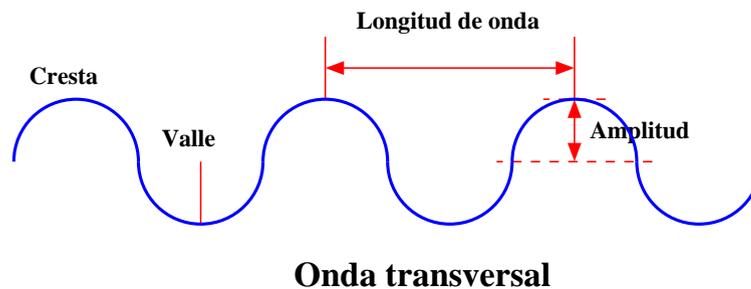
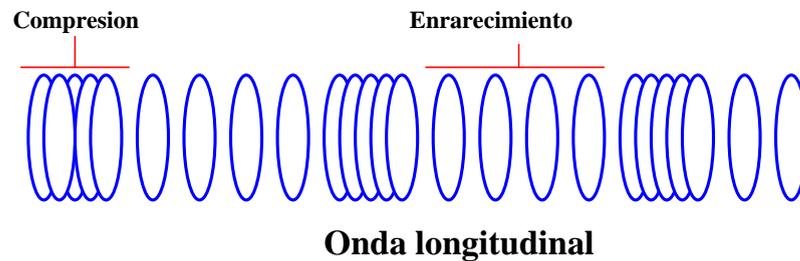
Reales



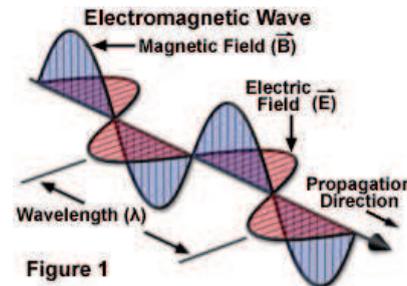
# Ondas...



Una **onda** es una propagación de una perturbación de alguna propiedad de un medio: olas, acústicas, sísmicas, electromagnéticas,...



# Ondas electromagnéticas

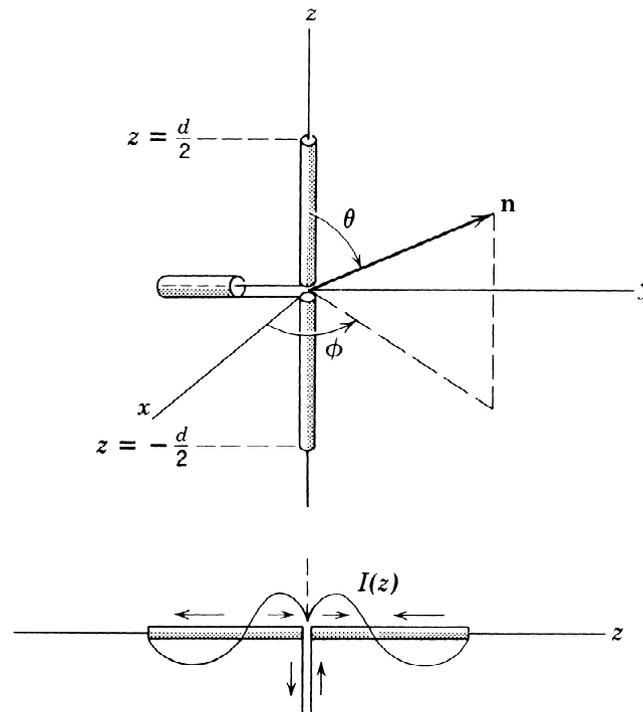


- Transversales: Campo eléctrico y magnético  $\perp \mathbf{k}$
- No necesitan un medio material de propagación: vacío,...
- Energía  $\propto \omega$ , Momento  $\propto k = \frac{2\pi}{\lambda}$
- Velocidad (fase):  $c = \omega/k$

# Antenas

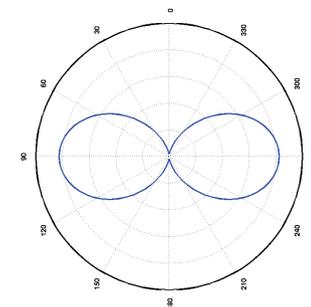
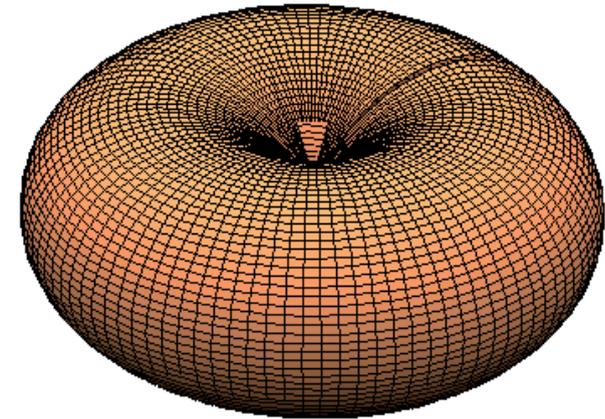
## Antena lineal

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



## Media Onda

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

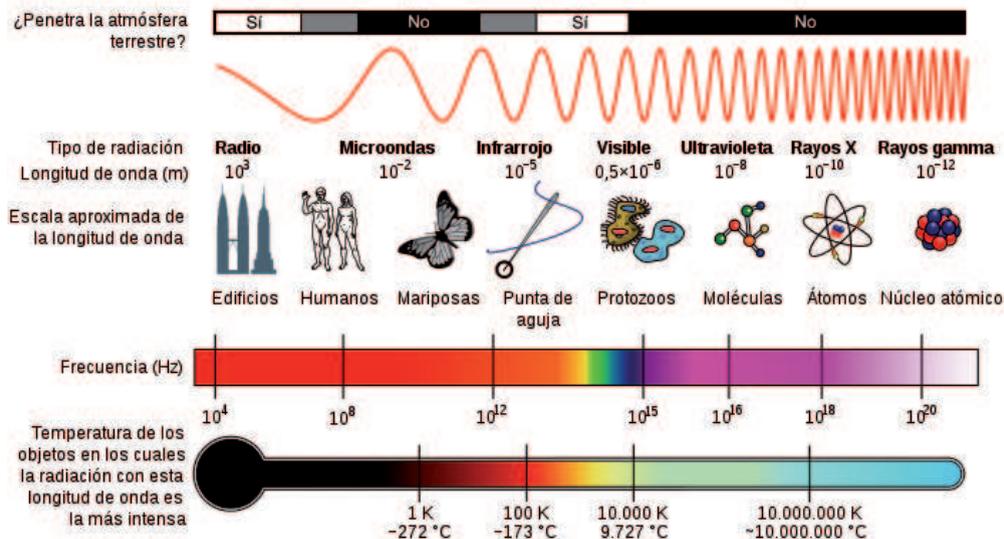
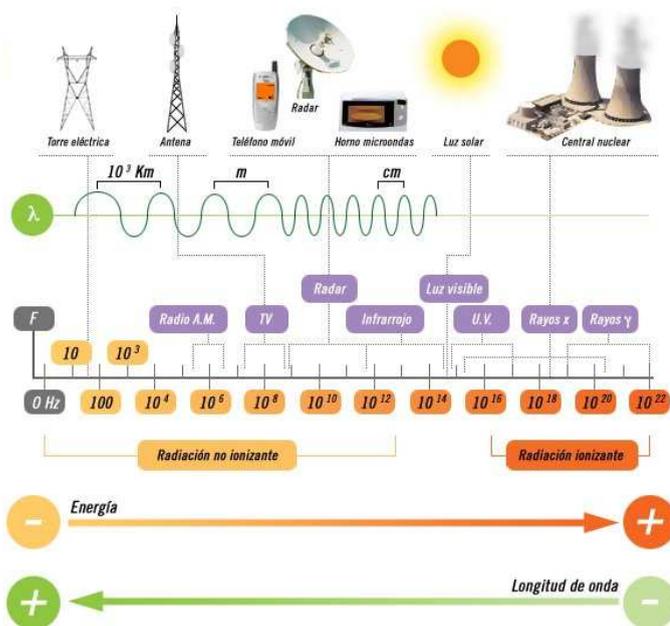


# Espectro electromagnético



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

El espectro de frecuencias.



# ...Antenas

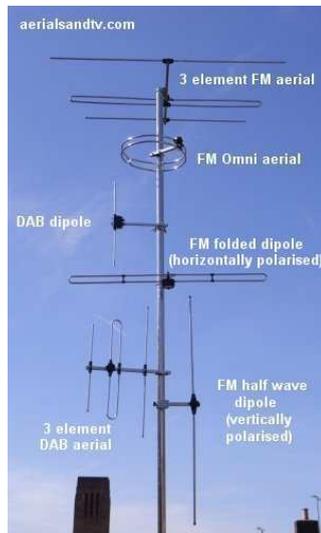
... Tamaño importa



# ...Antenas



Metro



cm



mm



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

??

# Índice



- **Introducción:**

- Antenas
- Espectro Electromagnético

- **Miniaturización  $\Rightarrow$  Micro-antenas**

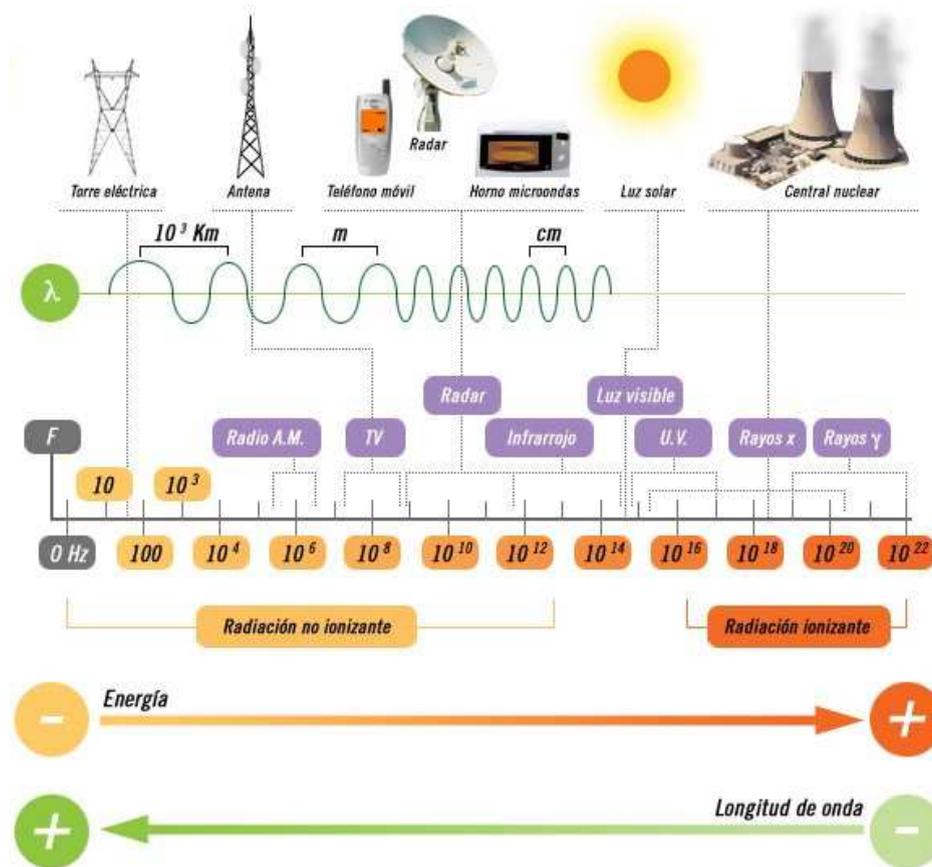


- **NANO-ANTENAS  $\Rightarrow$  SENSORES MOLECULARES**

# Espectro electromagnético

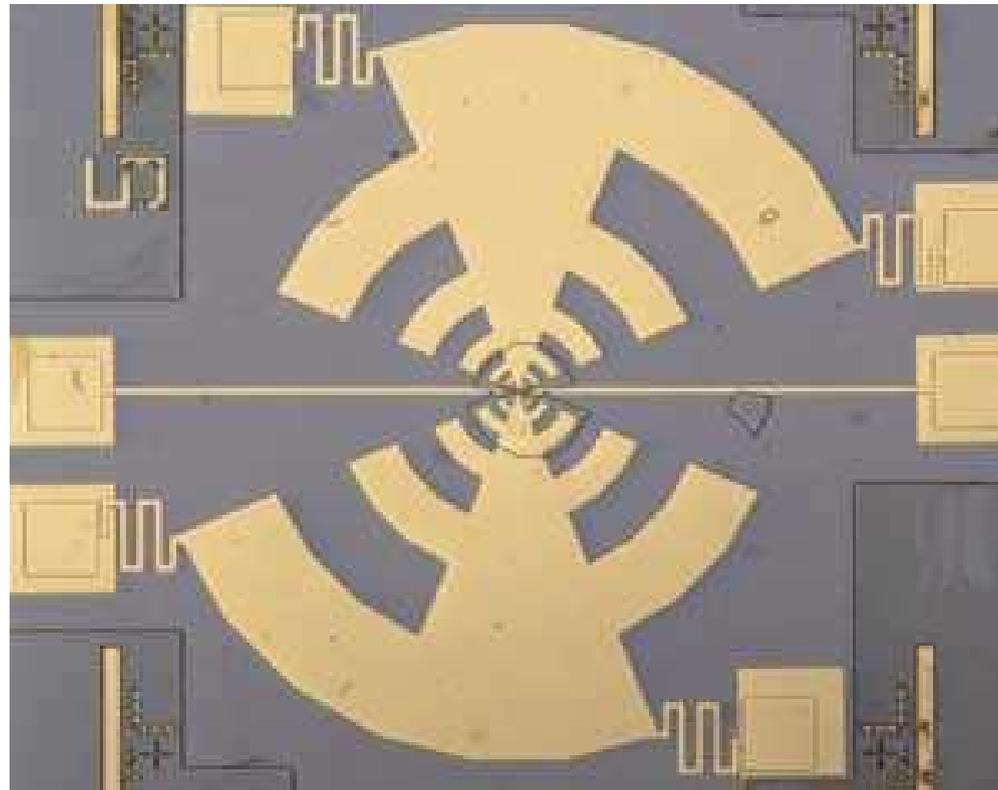


El espectro de frecuencias.



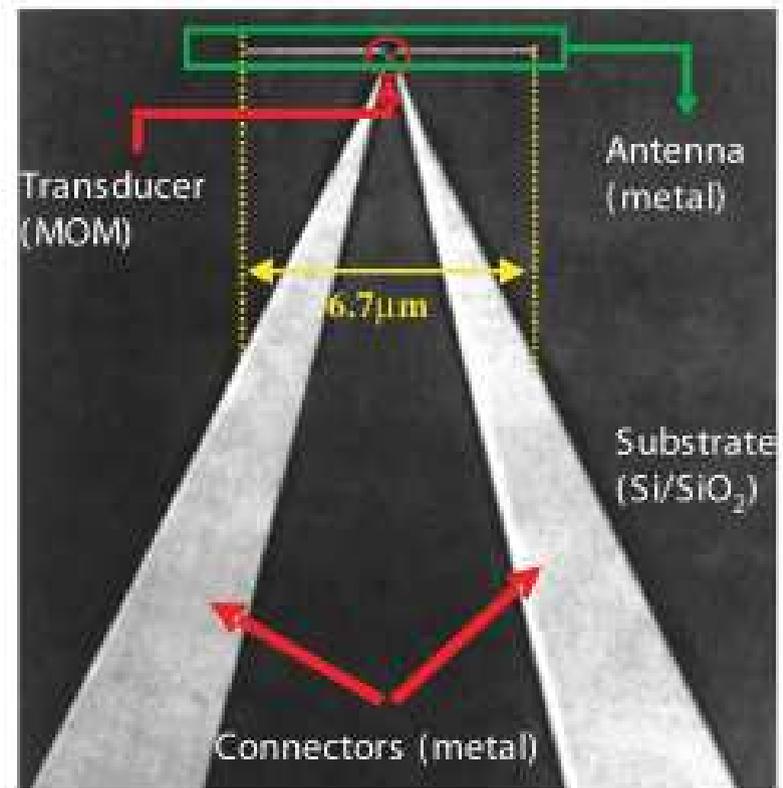
# Antenas THz

THz



# Micro-Antenas

IR



# Nano-Antenas



Luz

??

Reto tecnológico... y científico

# 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.*

*...*

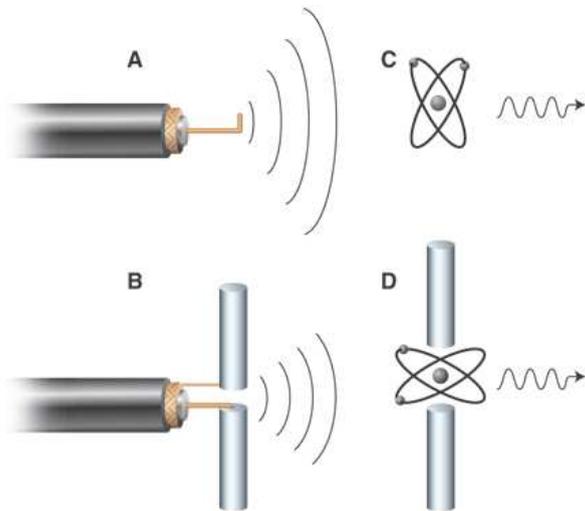
*Una antena es un dispositivo diseñado para convertir radiación electromagnética en **energía localizada** y viceversa...*

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



NO



Antena convencional para emitir/recibir luz codificada:  
Comunicaciones ópticas (fibras ópticas, guías de onda,  
etc.)

# Nano-antenas



- NO**  $\Rightarrow$  Antena convencional para emitir/recibir luz codificada:  
Comunicaciones ópticas (fibras ópticas, guías de onda,  
etc.)
- SI**  $\Rightarrow$  Controlar (amplificar, dirigir, etc.) emisión de luz

# 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



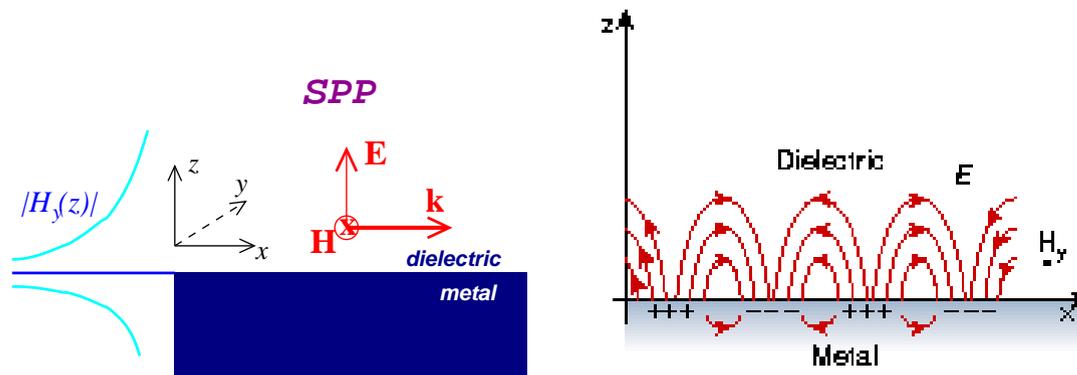
- Respuesta de los metales a la radiación visible (luz):  
Plasmones
- Procesos de emisión (espontánea) de luz.  
Modificación de la emisión debida a las nanoantenas:  
efecto Purcell & *SERS*
- Nano-estructuras

# 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



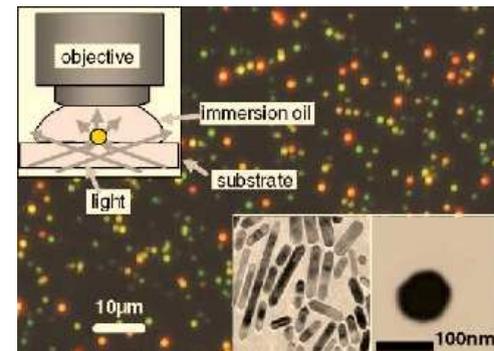
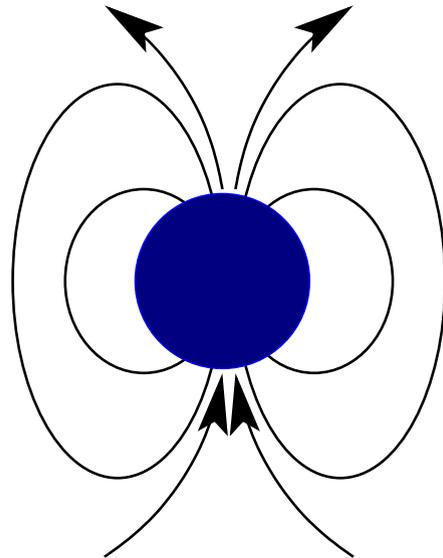
# Metales: Plasmones



Scattering MIE (Esfera, Cilindro)

Nanopartícula  $\implies$  Dipolo

RESONANCIA PLASMON

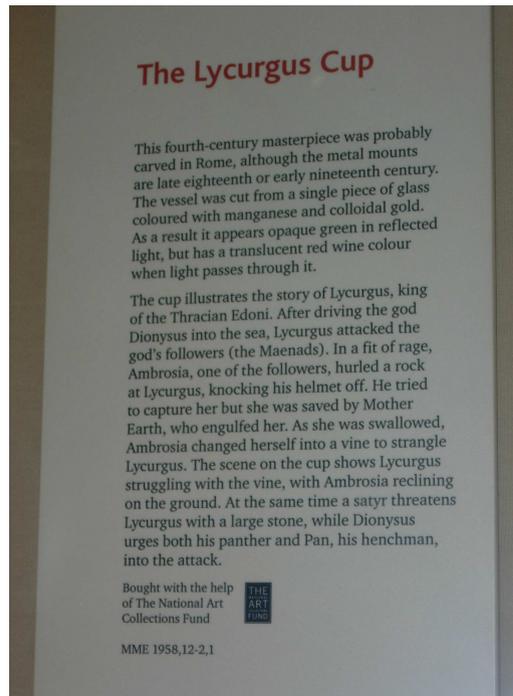


Sonnichsen et al, PRL (2002)

# Colloides Metálicos



## COPA LICURGUS



# Nano-antenas

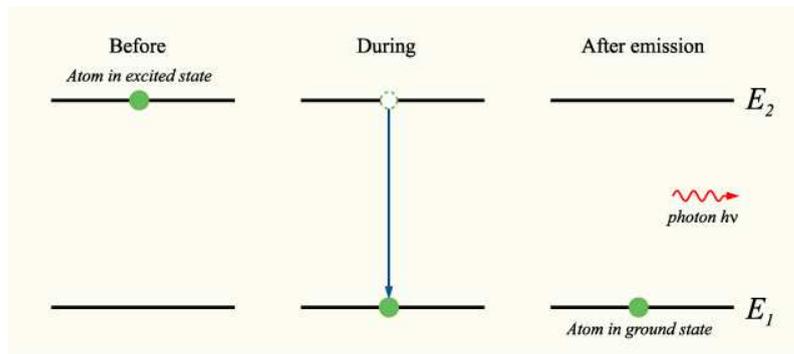


- Respuesta de los metales a la radiación visible (luz):  
Plasmones
- Procesos de emisión (espontánea) de luz.  
Modificación de la emisión debida a las nanoantenas:  
efecto Purcell & *SERS*
- Nano-estructuras

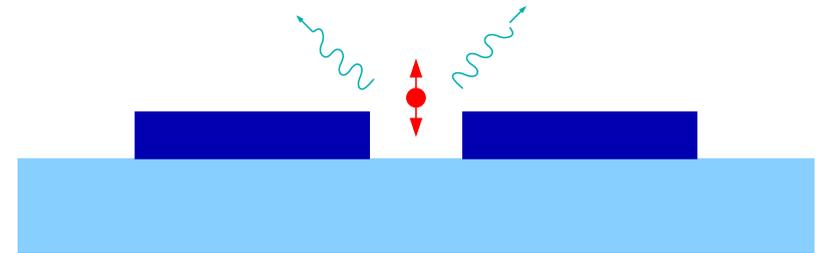
# Emisión espontánea



## Emisión espontánea: $\eta_0$



## Efecto Purcell: EM-LDOS



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

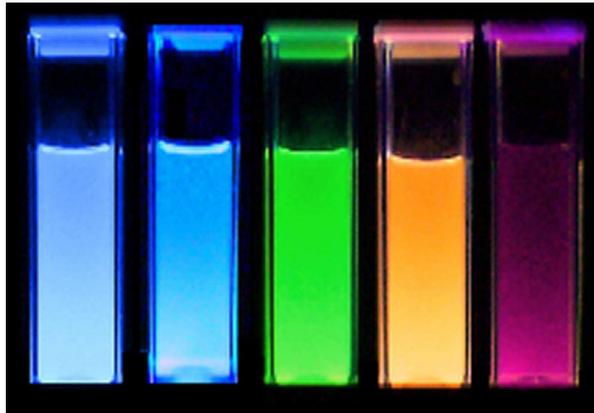
EM-LDOS  $\Rightarrow$  densidad local estados EM

Átomos, Moléculas, puntos cuánticos, ...

# Luminiscencia

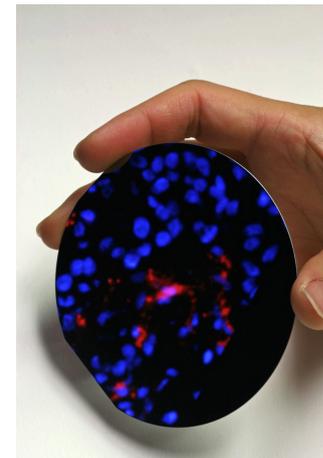


MOLECULAS



*colorantes*

PUNTOS CUÁNTICOS ...



*Porous Si*



*Medusa, Cangrejo*



*CdSe QDs*

# Nano-antenas

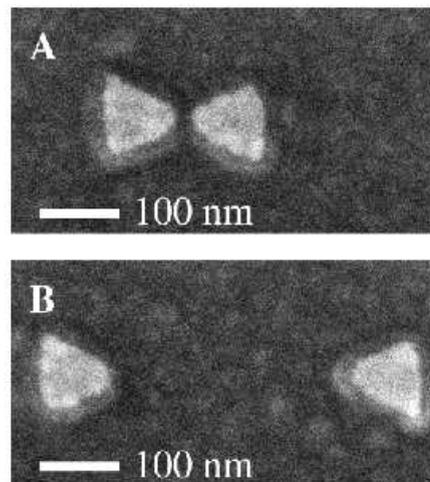


- Respuesta de los metales a la radiación visible (luz):  
Plasmones
- Procesos de emisión (espontánea) de luz.  
Modificación de la emisión debida a las nanoantenas:  
efecto Purcell & *SERS*
- Nano-estructuras

# Nano-antenas

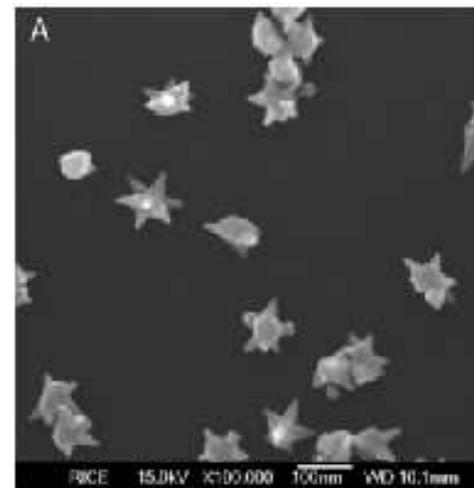


Nano-pajarita (*Bowtie*)



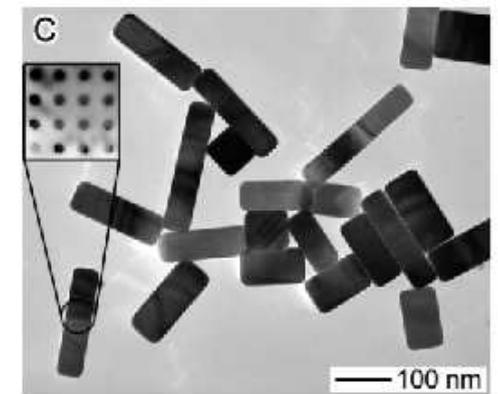
Fromm *et al*, NanoLett. 2004

Nano-estrellas



Nehl *et al*, NanoLett. 2006

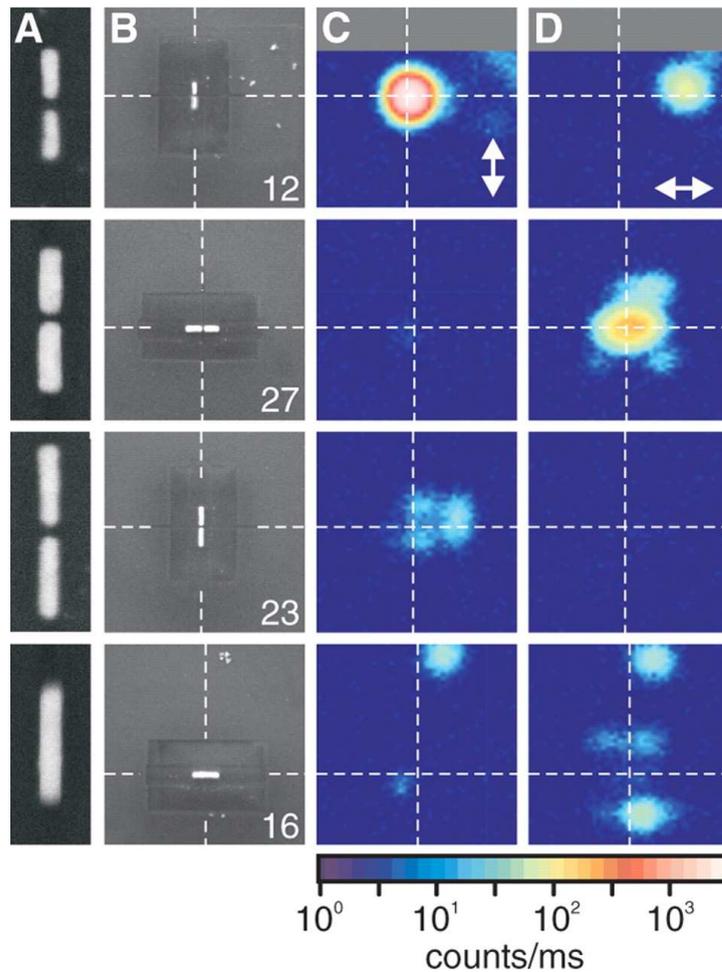
Nano-arroz



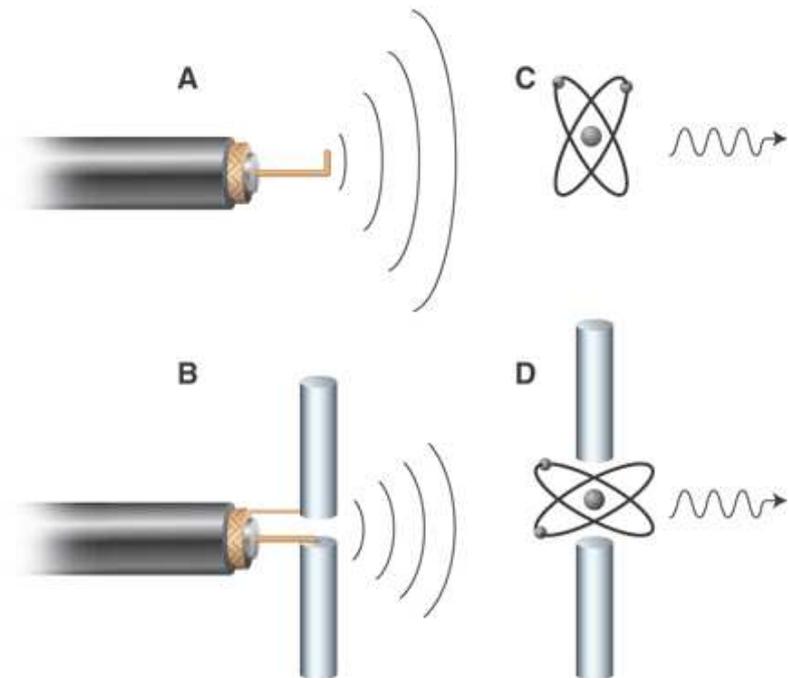
Wiley *et al*, NanoLett. 2007

...

# Nano-antenas



Mühschlegel *et al*, Science 2005



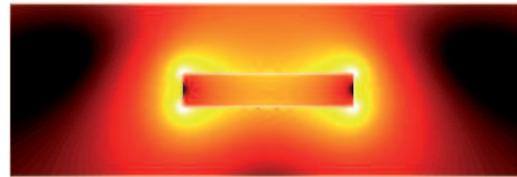
Greffet, Science 2005

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

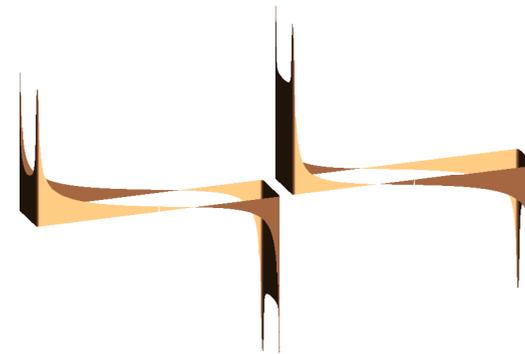
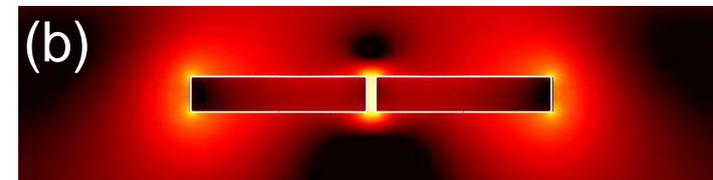


Antena  $\sim 100$  nanometros!!

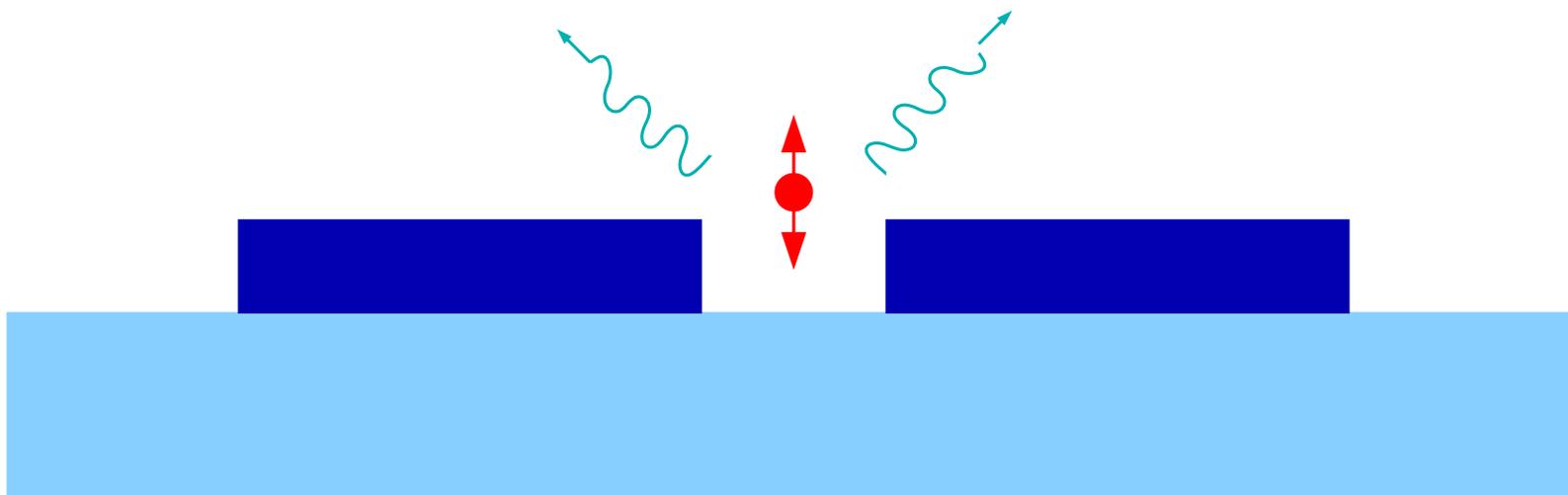
Aislado



Dímero



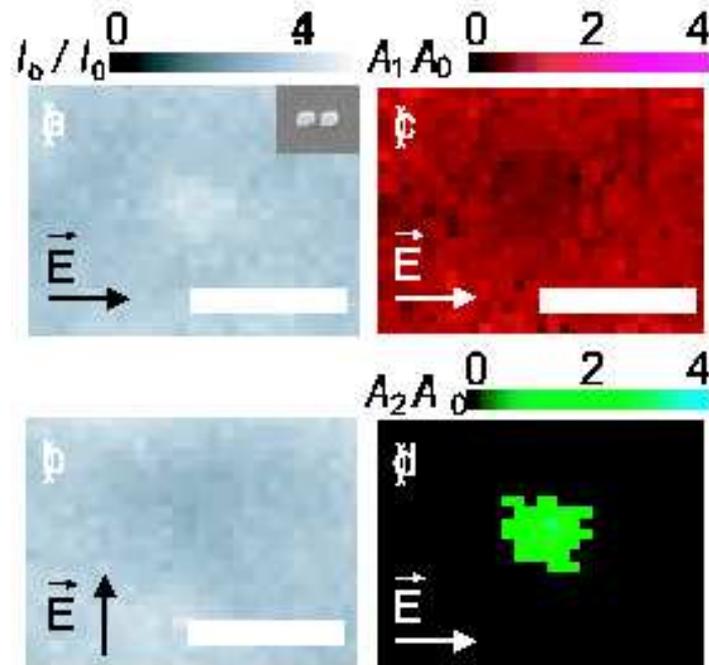
# Nanoantena: Fluorescencia



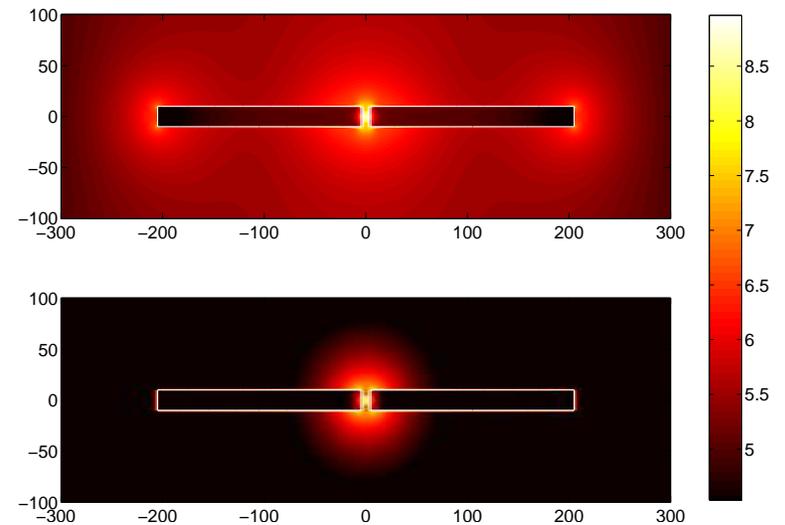
# Nanoantena: Fluorescencia



Imagen Confocal



Cálculos



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

# Nanoantenas: SERS

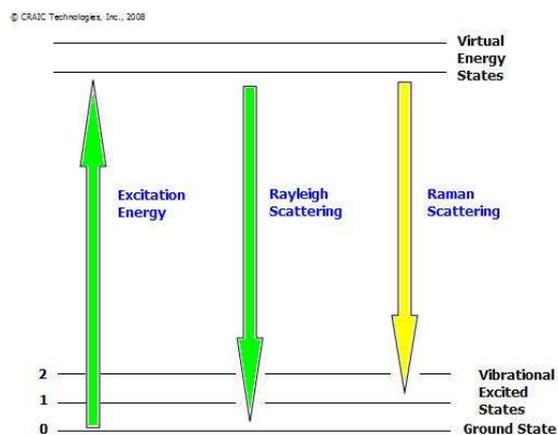


## Surface-enhanced Raman scattering

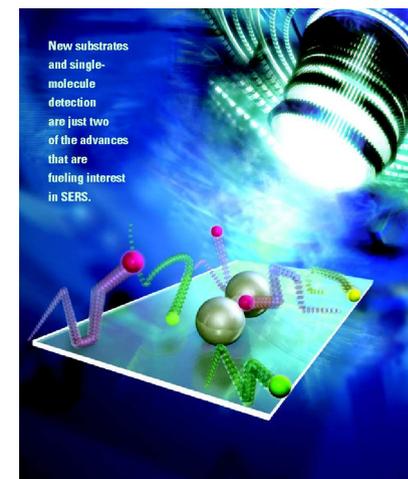
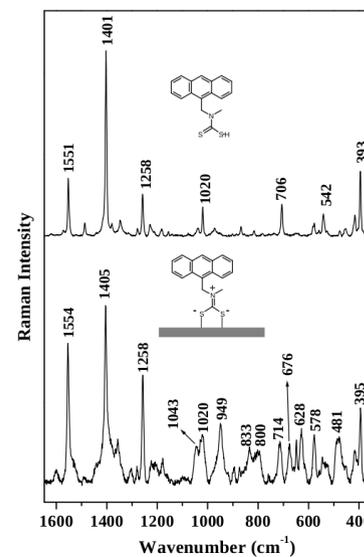
Raman

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*

# Quiénes??

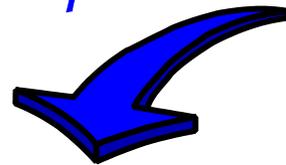


INSTITUTO DE ESTRUCTURA DE LA MATERIA



*Grupo: Espectroscopia de Superficies*

*& Fotonica de Plasmones Surperficiales*



**Concha Domingo**  
**Santiago Sanchez Cortes**  
**Sagrario Martinez**  
**Paz Sevilla**  
**Lorena Roldan**  
**Elena del Puerto**  
**Irene Izquierdo**  
**Raquel de Llanos**  
**Jose V. Garcia Ramos**

**Jose A Sanchez Gil**  
**Fernando Lopez-Tejeira**  
**Vincenzo Giannini**  
**Rogelio Rodriguez**  
**Ramon Paniagua**



**Jaime Gomez Rivas**  
**Otto Muskens**  
(AMOLF/Philips, The Netherlands)

# Foto grupo??



# Agradecimientos



MICINN, Comunidad de Madrid & CSIC



UNION EUROPEA  
FONDO SOCIAL EUROPEO



COMUNIDAD DE MADRID  
Comunidad de Madrid  
[www.madrid.org](http://www.madrid.org)

NANOPLAS





*Gracias*