

Nanoantenas metálicas como sensores moleculares

JOSÉ A. SÁNCHEZ GIL

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

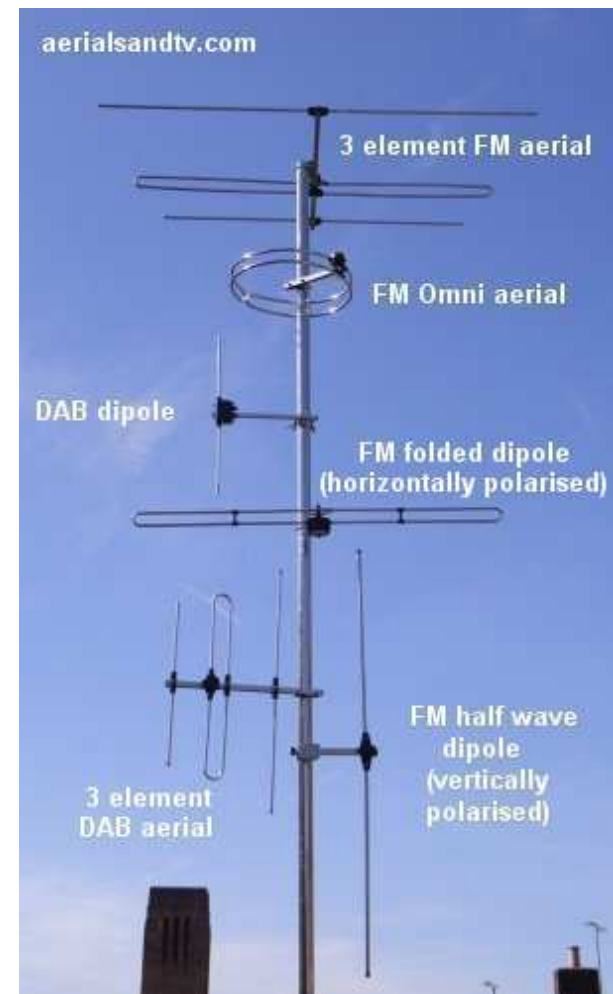
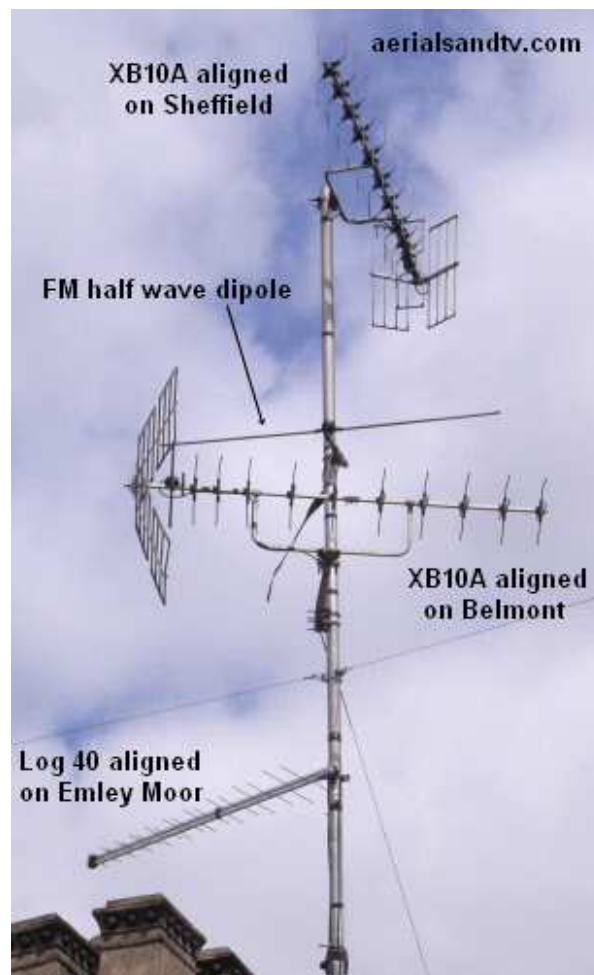


Una antena es un dispositivo diseñado con el objetivo de emitir o recibir ondas electromagnéticas hacia el espacio libre. Una antena transmisora transforma corrientes eléctricas en ondas electromagnéticas, y una receptora realiza la función inversa...

Fuente: wikipedia

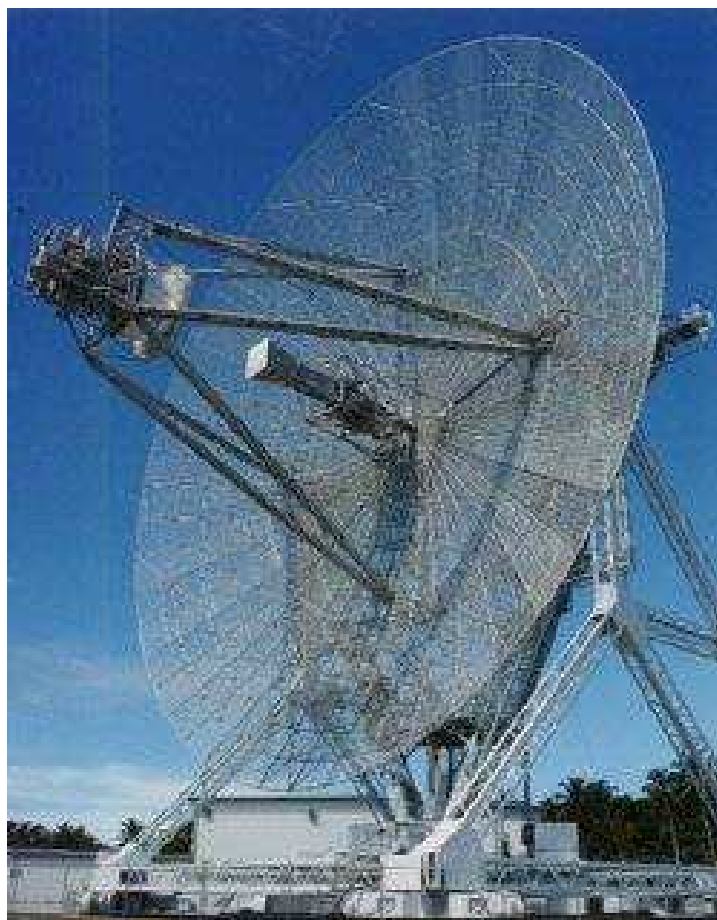
...Antenas

Radio



...Antenas

Radar



...Antenas



TV



DT-028

...Antenas



Móviles



...Antenas

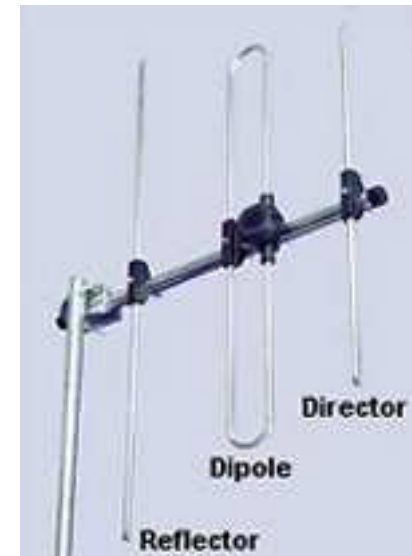
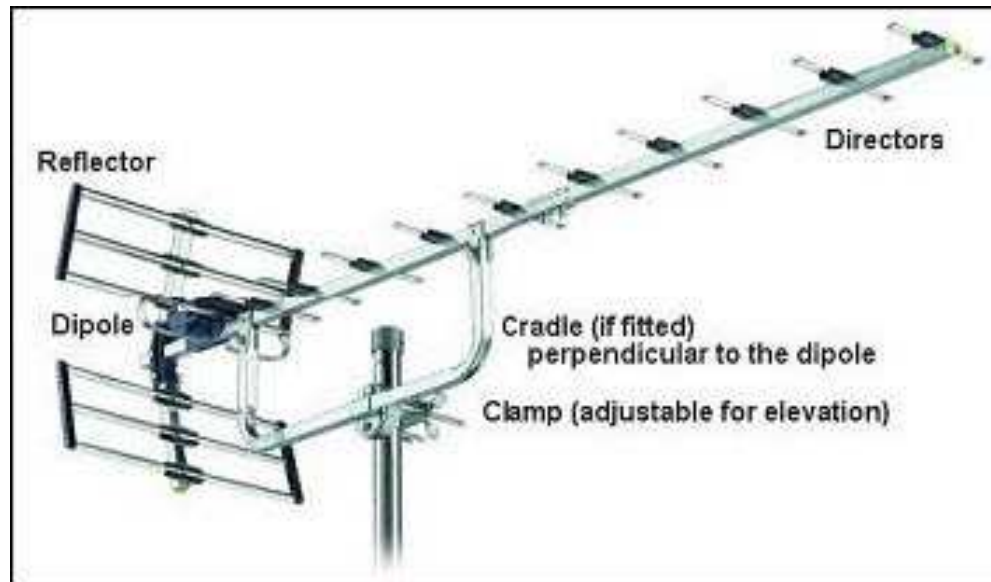


Parabólicas



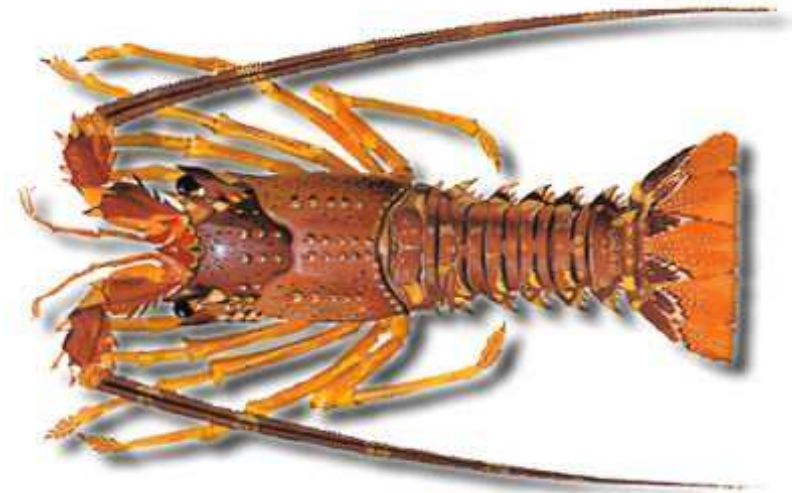
...Antenas

Yagi



...Antenas

Animales



...Antenas

Reales

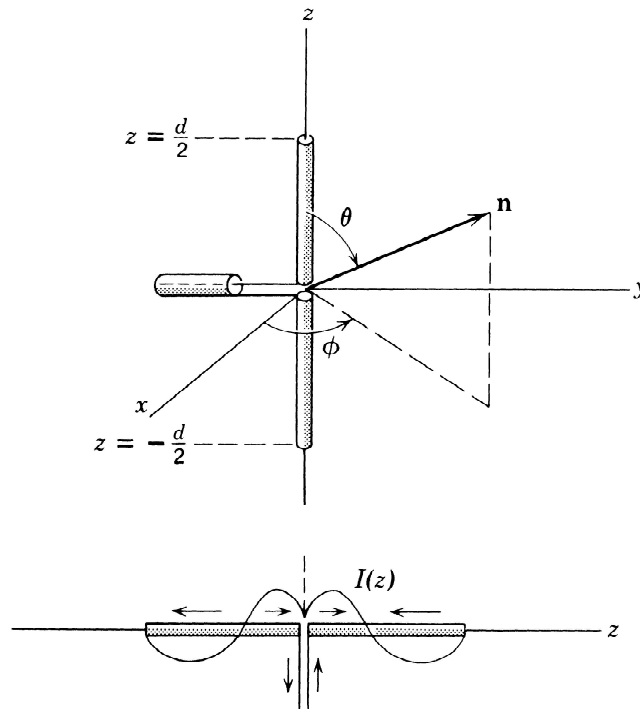


Antenas



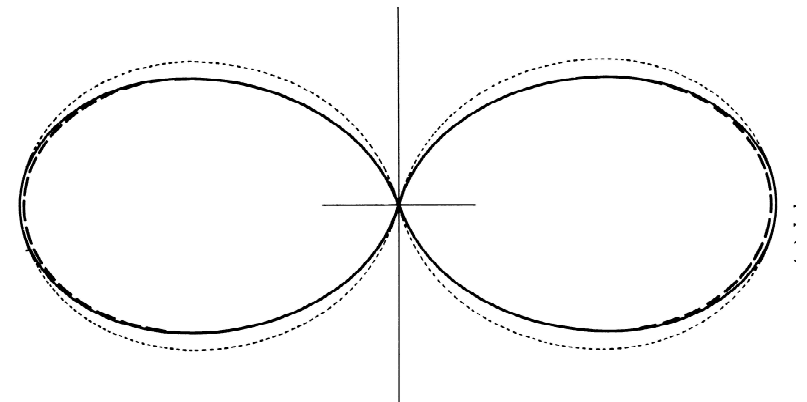
Antena lineal

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



Media Onda

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



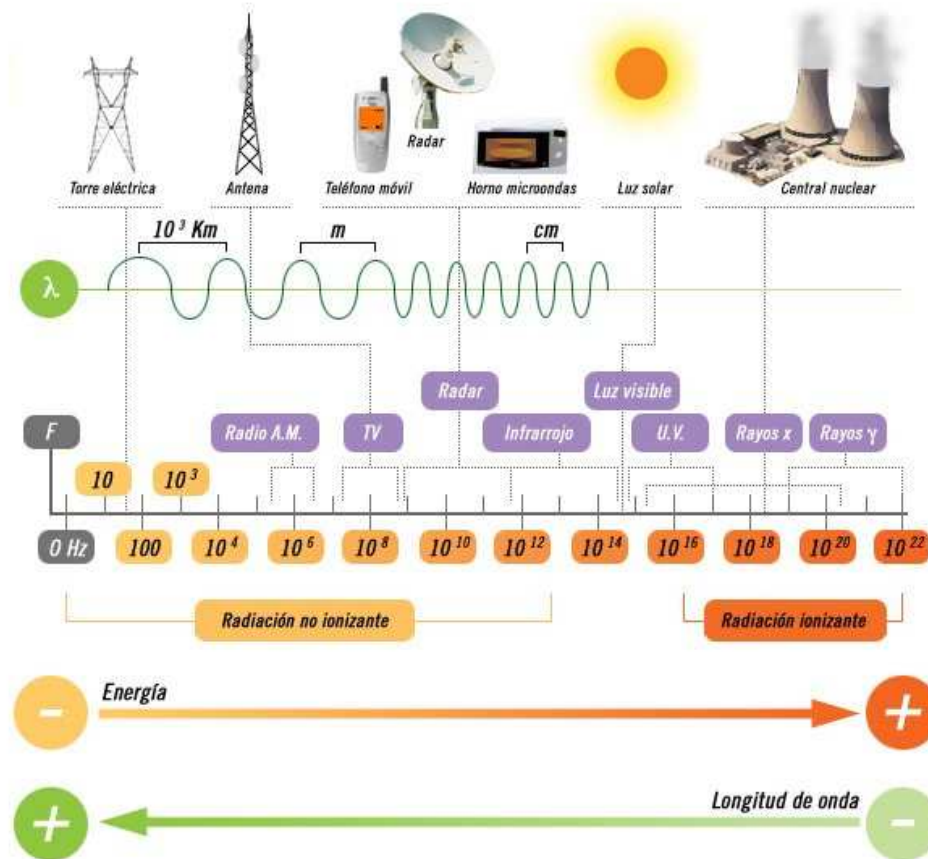
Espectro electromagnético



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

$$E = \hbar\omega$$

El espectro de frecuencias.



...Antenas



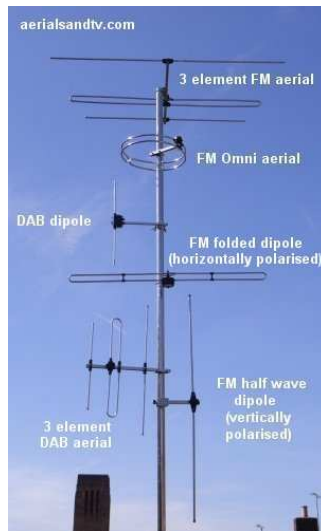
... Tamaño importa



...Antenas



Metro



cm



mm



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

??

Índice



- Introducción:

- Antenas
- Espectro Electromagnético

- Miniaturización \Rightarrow Micro-antenas

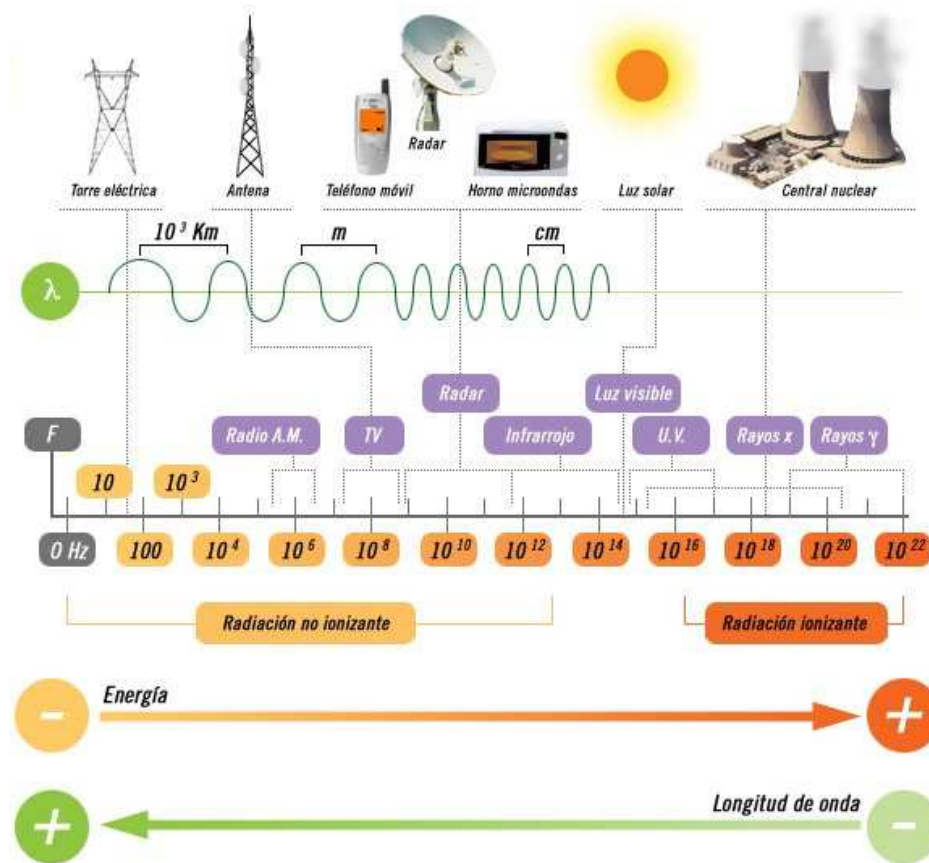


- **NANO-ANTENAS \Rightarrow SENSORES MOLECULARES**

Espectro electromagnético

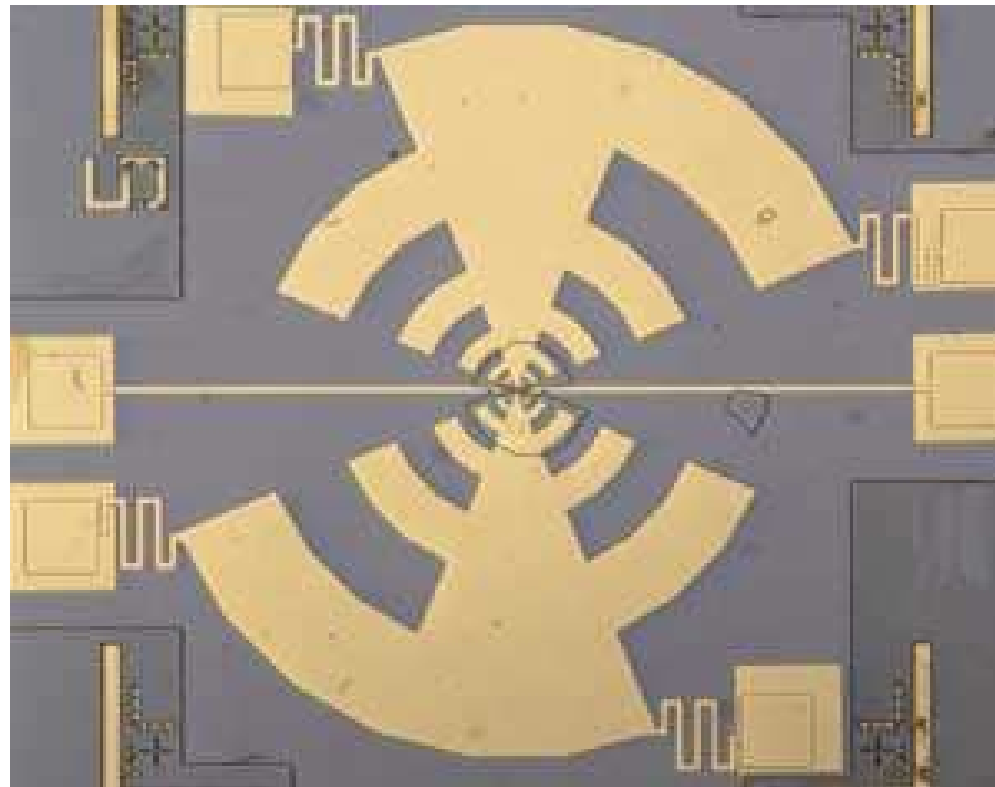


El espectro de frecuencias.



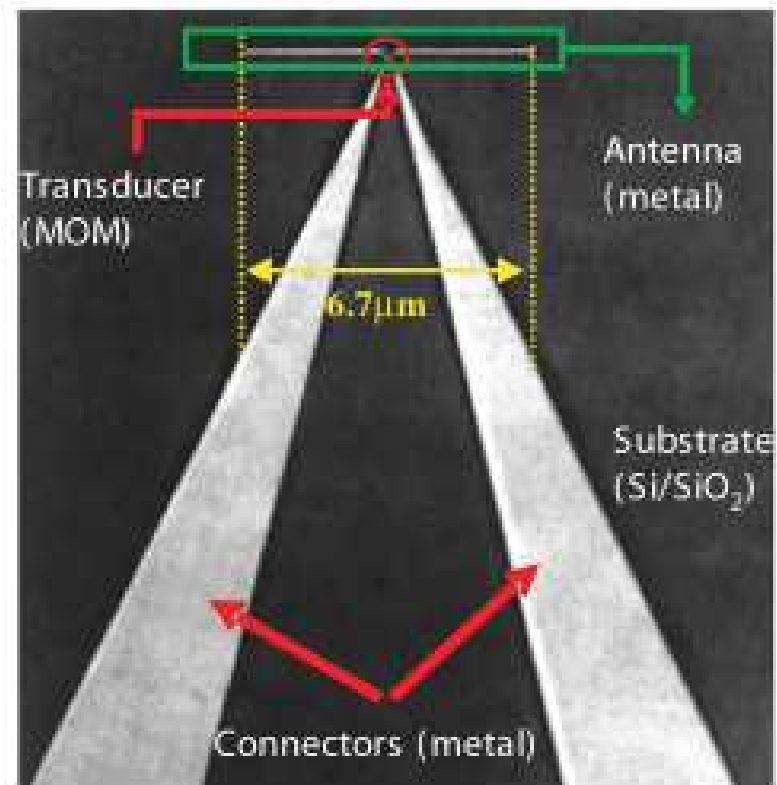
Antenas THz

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.

...

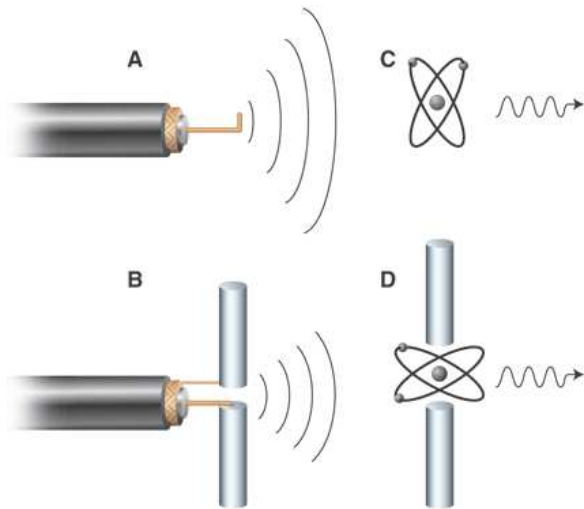
*Una antena es un dispositivo diseñado para convertir radiación electromagnética en **energía localizada** y viceversa...*

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

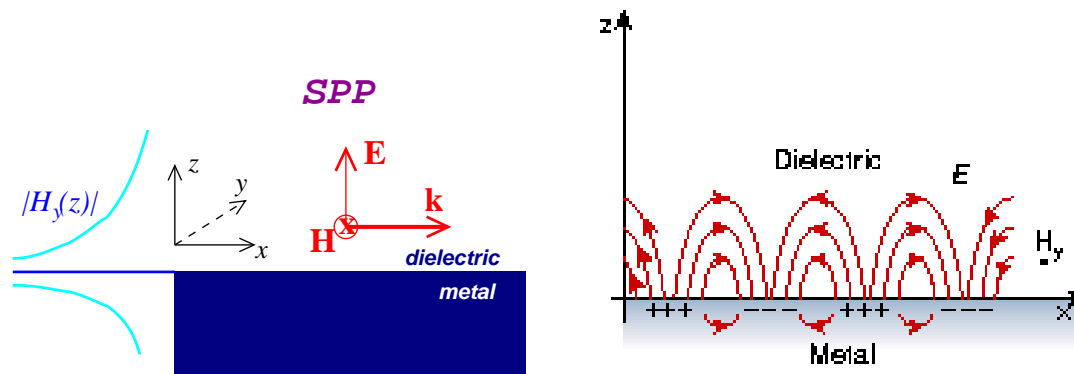
- Teoría Drude de Metales: Modelo electrones libres

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

- $\omega < \omega_p$, Opaco; $\omega > \omega_p$, Transparente

- $\omega = \omega_p$, Oscilaciones densidad-carga: Plasmones

- Plasmones Superficiales



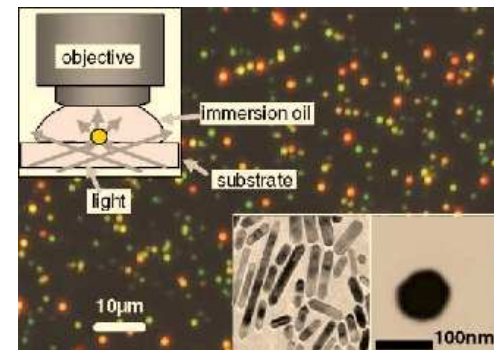
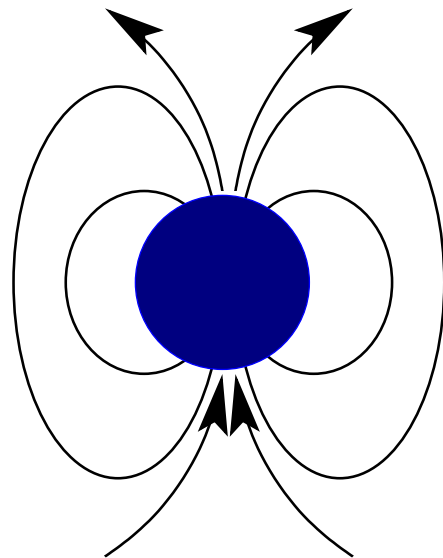
Metales: Plasmones



Scattering MIE (Esfera, Cilindro)

Nanopartícula \implies Dipolo

RESONANCIA PLASMON

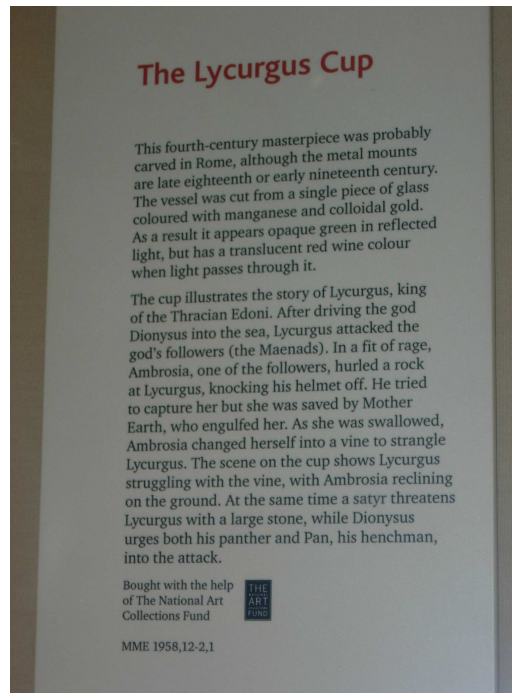


Sonnichsen et al, PRL (2002)

Colloides Metálicos



COPA LICURGUS



Nano-antenas

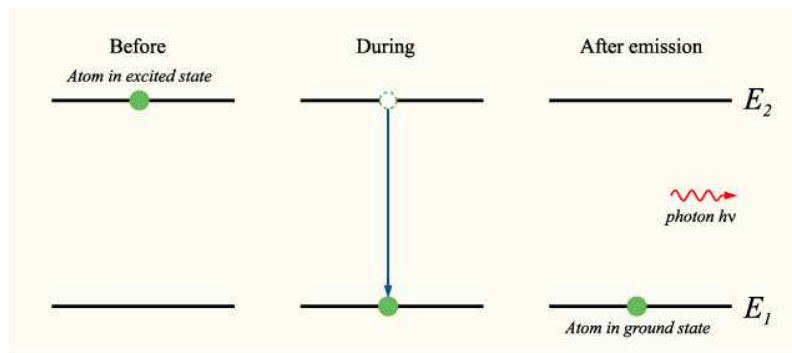


- Respuesta de los metales a la radiación visible (luz):
Plasmones
- Procesos de emisión (espontánea) de luz.
Modificación de la emisión debida a las nanoantenas:
efecto Purcell & *SERS*
- Nano-estructuras

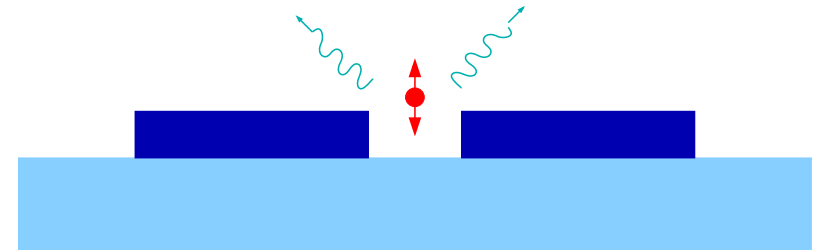
Emisión espontánea



Emisión espontánea: η_0



Efecto Purcell: EM-LDOS



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

EM-LDOS \Rightarrow densidad local estados EM

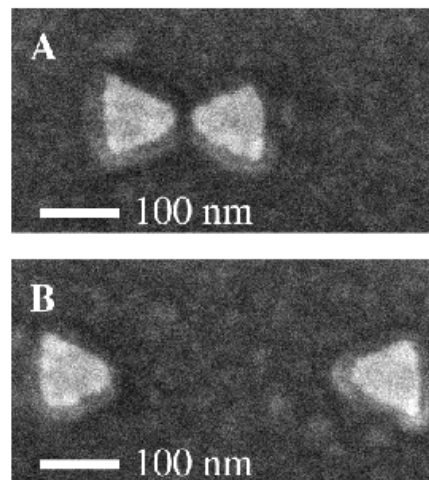
Átomos, Moléculas, puntos cuánticos, ...

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

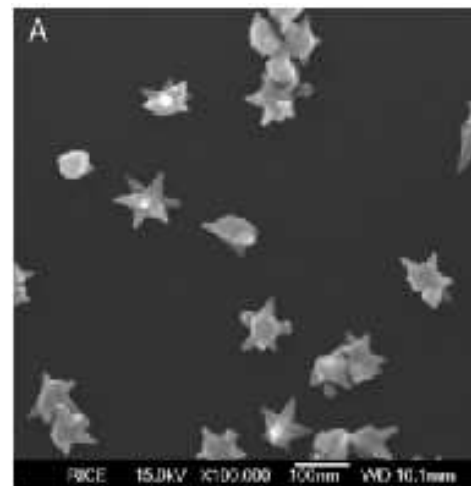
Nano-antenas

Nano-pajarita (*Bowtie*)



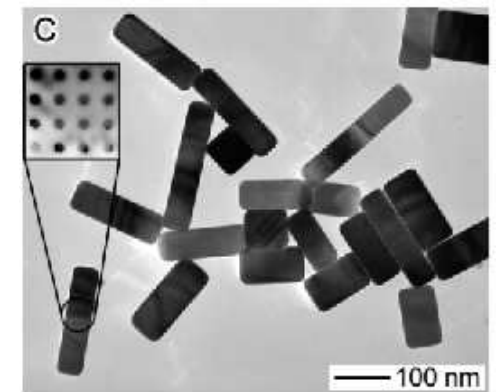
Fromm *et al*, NanoLett. 2004

Nano-estrellas



Nehl *et al*, NanoLett. 2006

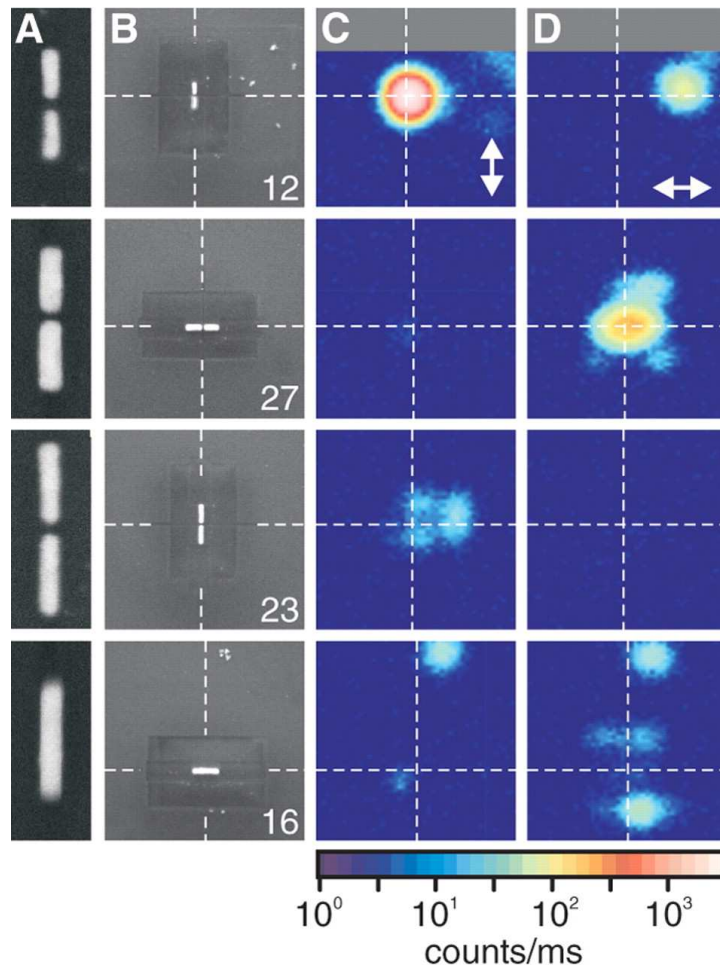
Nano-arroz



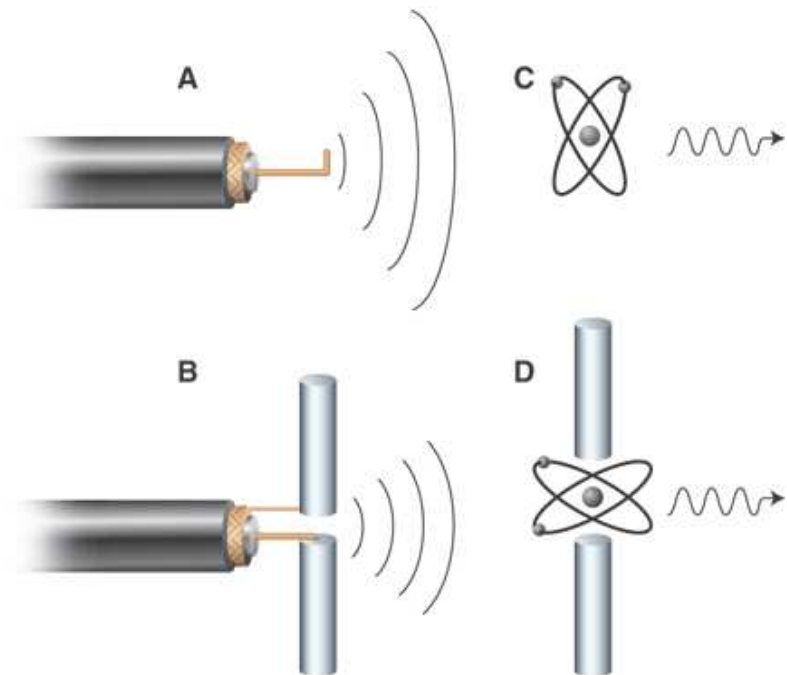
Wiley *et al*, NanoLett. 2007

...

Nano-antenas



Mühschlegel *et al*, Science 2005



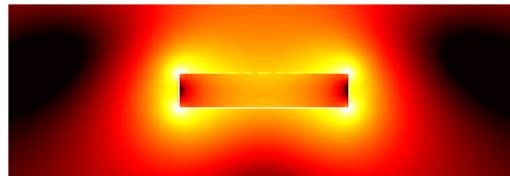
Greffet, Science 2005

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

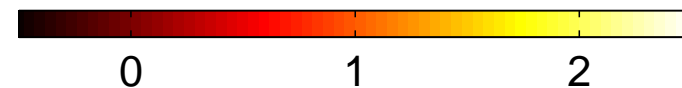
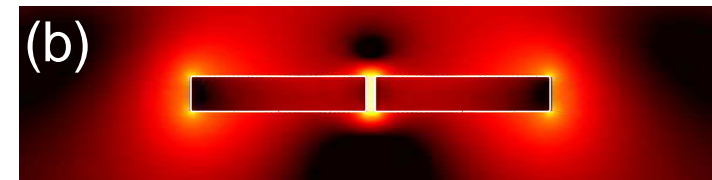


Antena ~ 100 nanometros!!

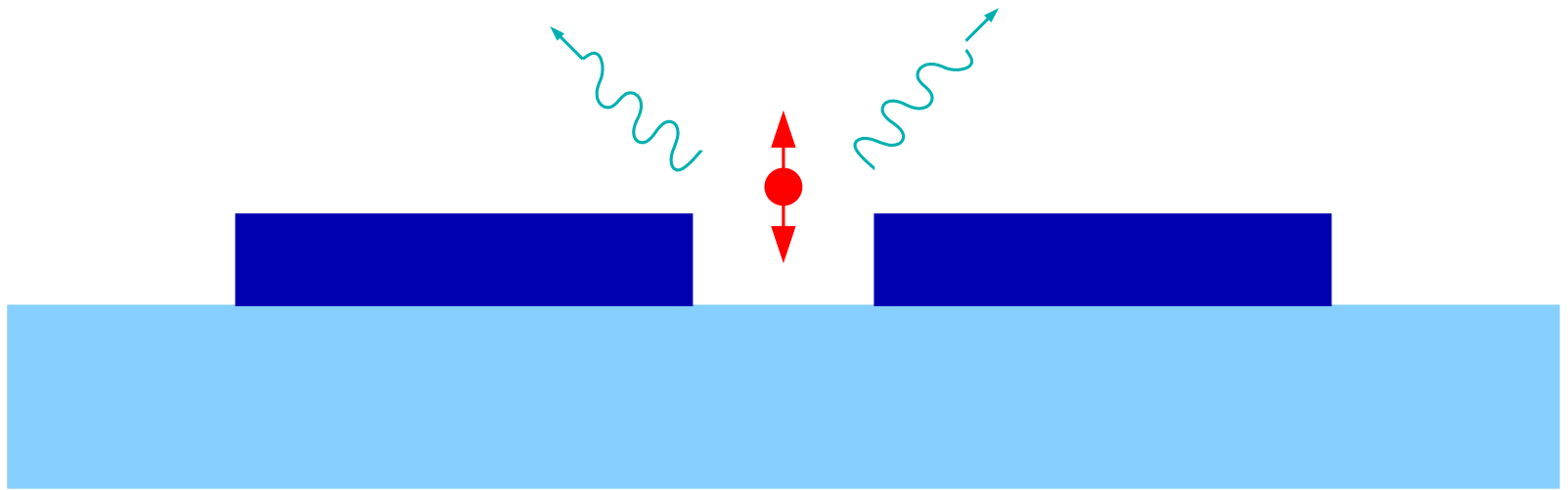
Aislado



Dímero



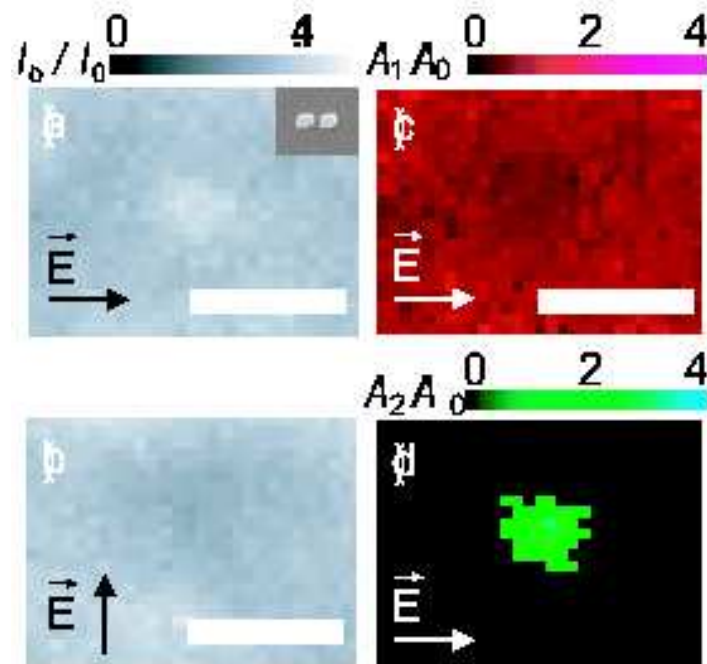
Nanoantena: Fluorescencia



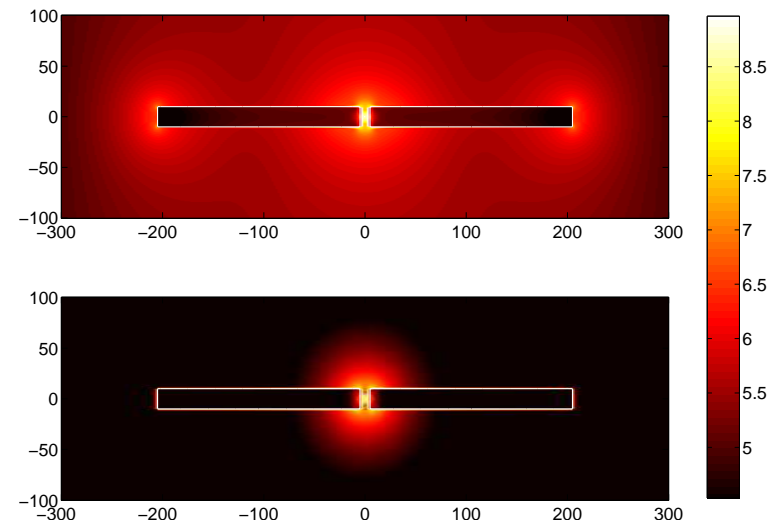
Nanoantena: Fluorescencia



Imagen Confocal



Cálculos



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

Nanoantenas: SERS

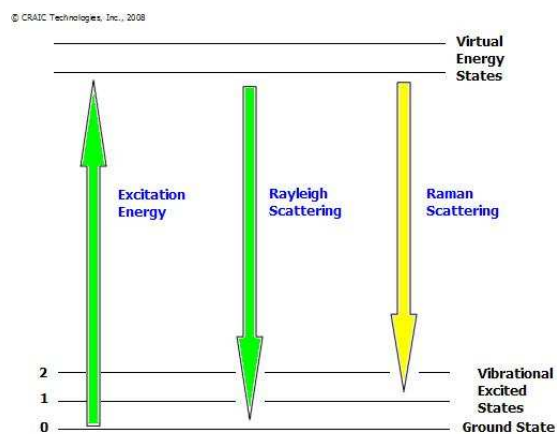


Surface-enhanced Raman scattering

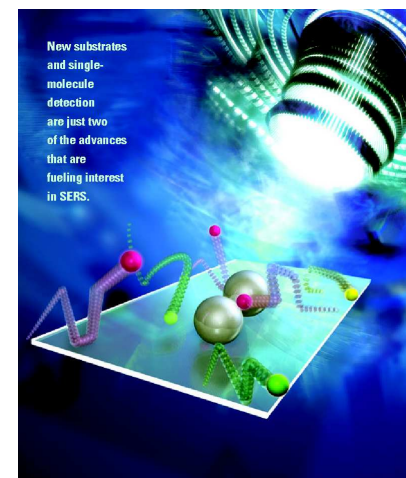
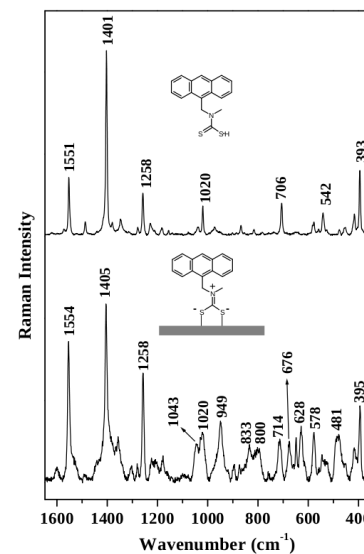
Raman

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