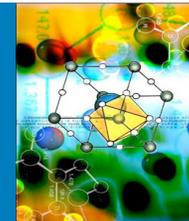




PROPIEDADES MAGNÉTICAS DE COMPUESTOS NANOESTRUCTURADOS



Prof. V. SAGREDO A.

LAB. DE MAGNETISMO
DEPTO. DE FISICA
FACULTAD DE CIENCIAS
UNIVERSIDAD DE LOS ANDES

COLOQUIOS DE FISICA
Junio-2007

Premisas Básicas:

- Feynman (1960) dijo “hay infinidad de posibilidades en lo más profundo de la materia”
- Drexler (1986) fue por un “control completo y económico de la estructura de la materia”.
- Una tecnología industrial capaz de fabricar con precisión molecular el mayor número de estructuras compatibles con las leyes de la física.



¿Cuál es el significado de la nanotecnología ?

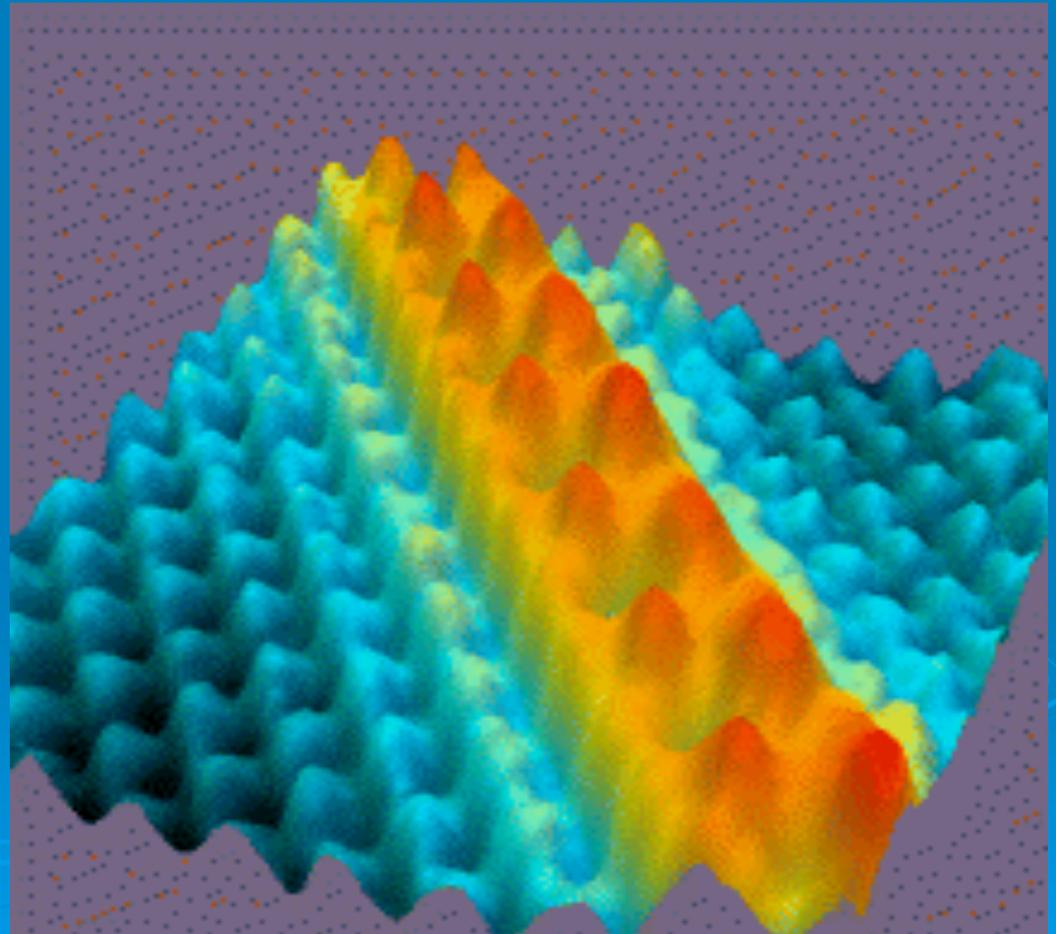
- La nanotecnología es la habilidad de trabajar a nivel molecular, átomo por átomo para crear grandes estructuras con nueva organización.
- Corresponde a las ciencias y técnicas que se aplican a un nivel de nano escala, que permitan trabajar y manipular estructuras moleculares y sus átomos. Es decir reordenar átomos

¿ Control de la naturaleza ?

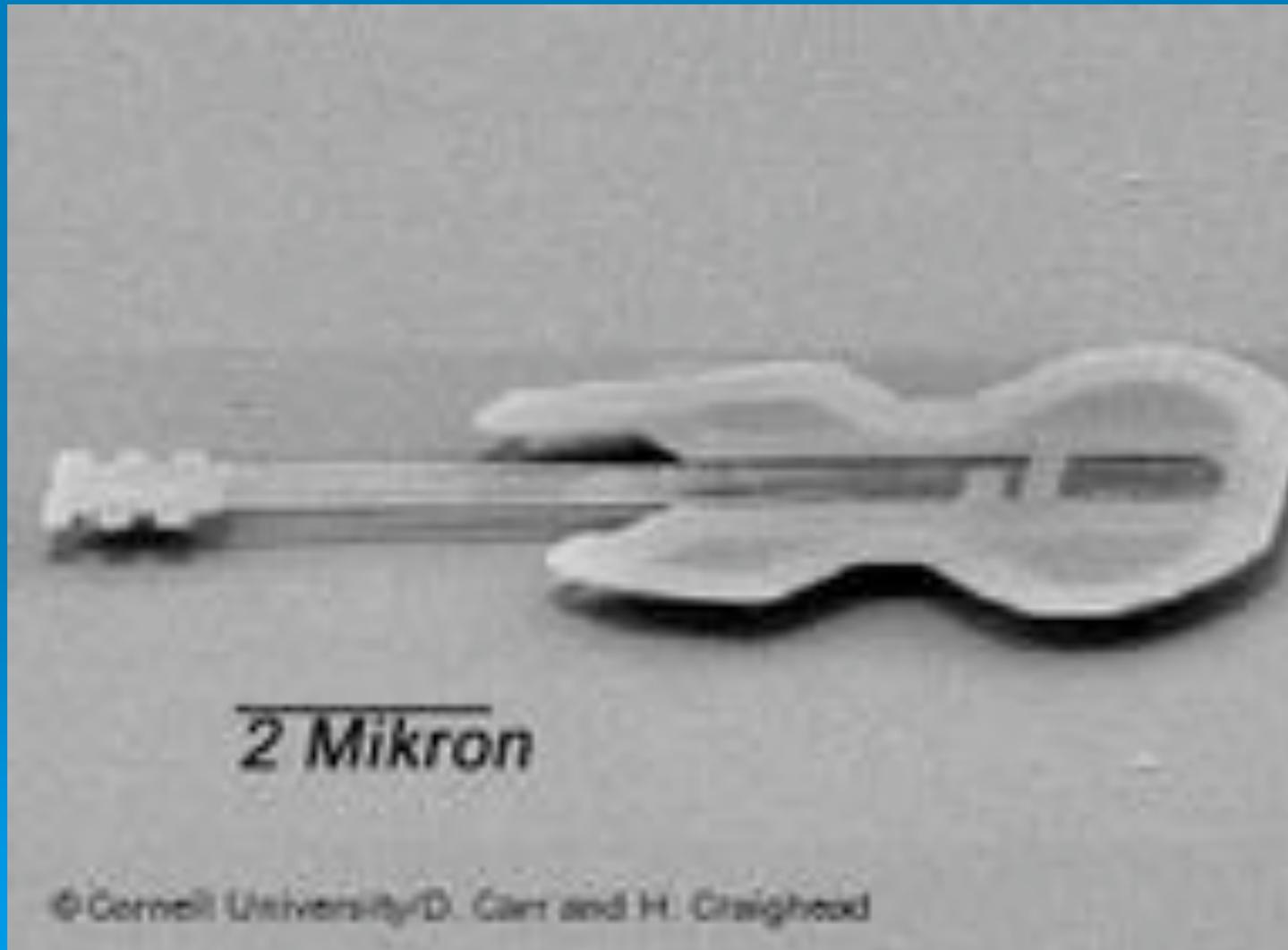
- La idea de los científicos que desarrollan proyectos nanotecnológicos no solo aspira a la ubicación de átomos a nivel individual, sino a la creación de máquinas moleculares capaces de crear, átomo a átomo, todo lo que hoy nos rodea o lo que deseemos tener en el futuro.
- En las palabras del propio Eric Drexler: “Puestos en orden de una manera, los átomos componen aire, tierra, agua. Con otro diseño, los átomos forman unas fabulosas fresas frescas.” Suena fantástico.
- Si aprendemos a diseñar la distribución atómica como lo hace la naturaleza podemos establecer un inesperado e inimaginado control sobre la materia que nos rodea. O sobre nuestros cuerpos. Por ejemplo, podríamos darle un giro inverso al proceso de envejecer colocando los átomos de forma inversa. Volver a la juventud simplemente cambiando el diseño de nuestras moléculas

Imagen de átomos de Cs y GaAs hecha con STM

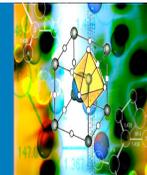
Imagen hecha por STM de 7 nm x 7 nm, de una sola cadena de átomos de Cs en zig-zag(rojo) sobre una superficie de GaAs(110) (azul).



Nanoguitarra



Vaso de Lycurgus (siglo IV DC)



Partículas de Au y Ag de 70 nm

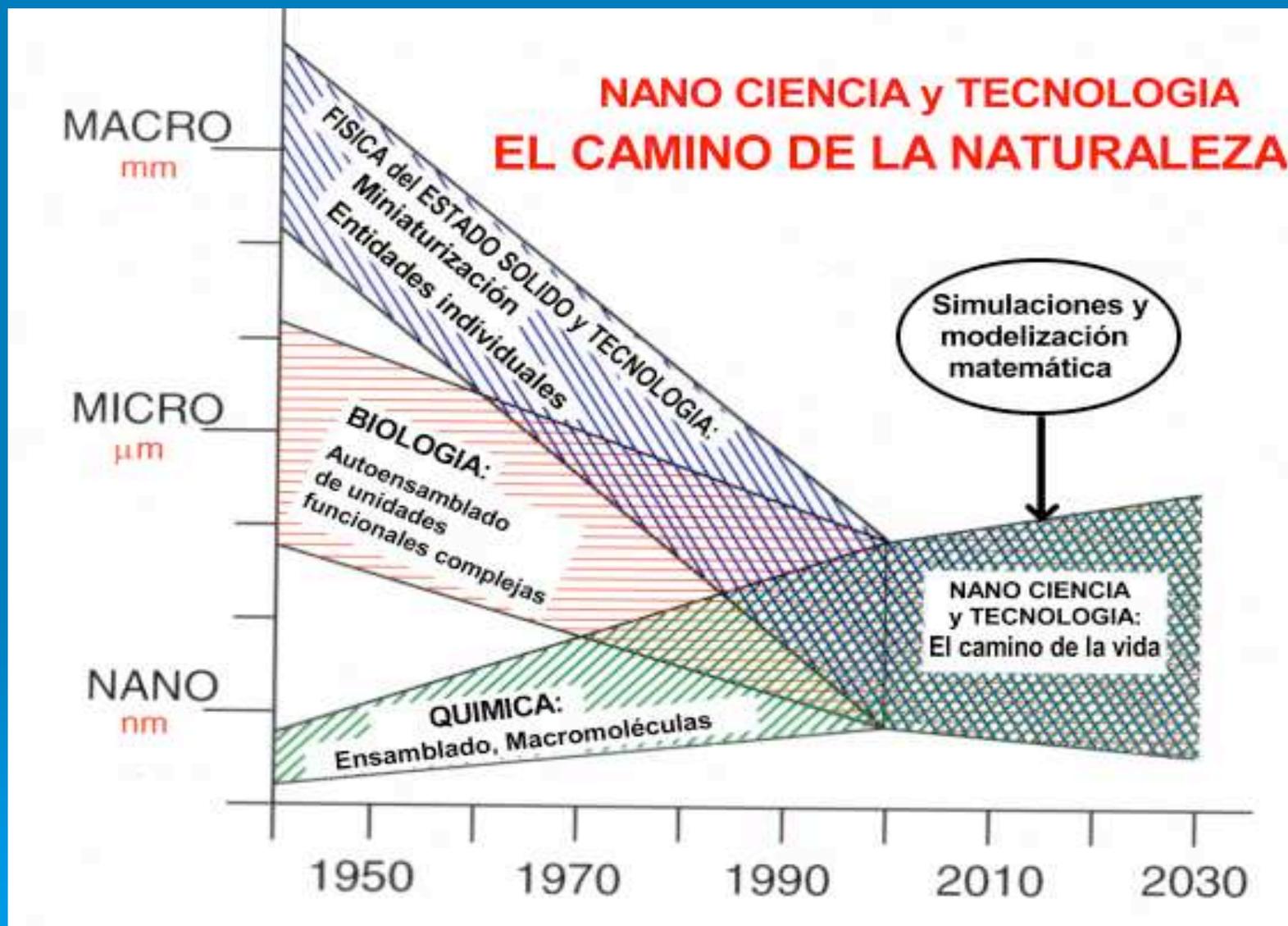
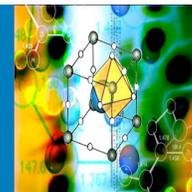


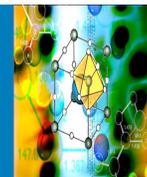
Con luz transmitida



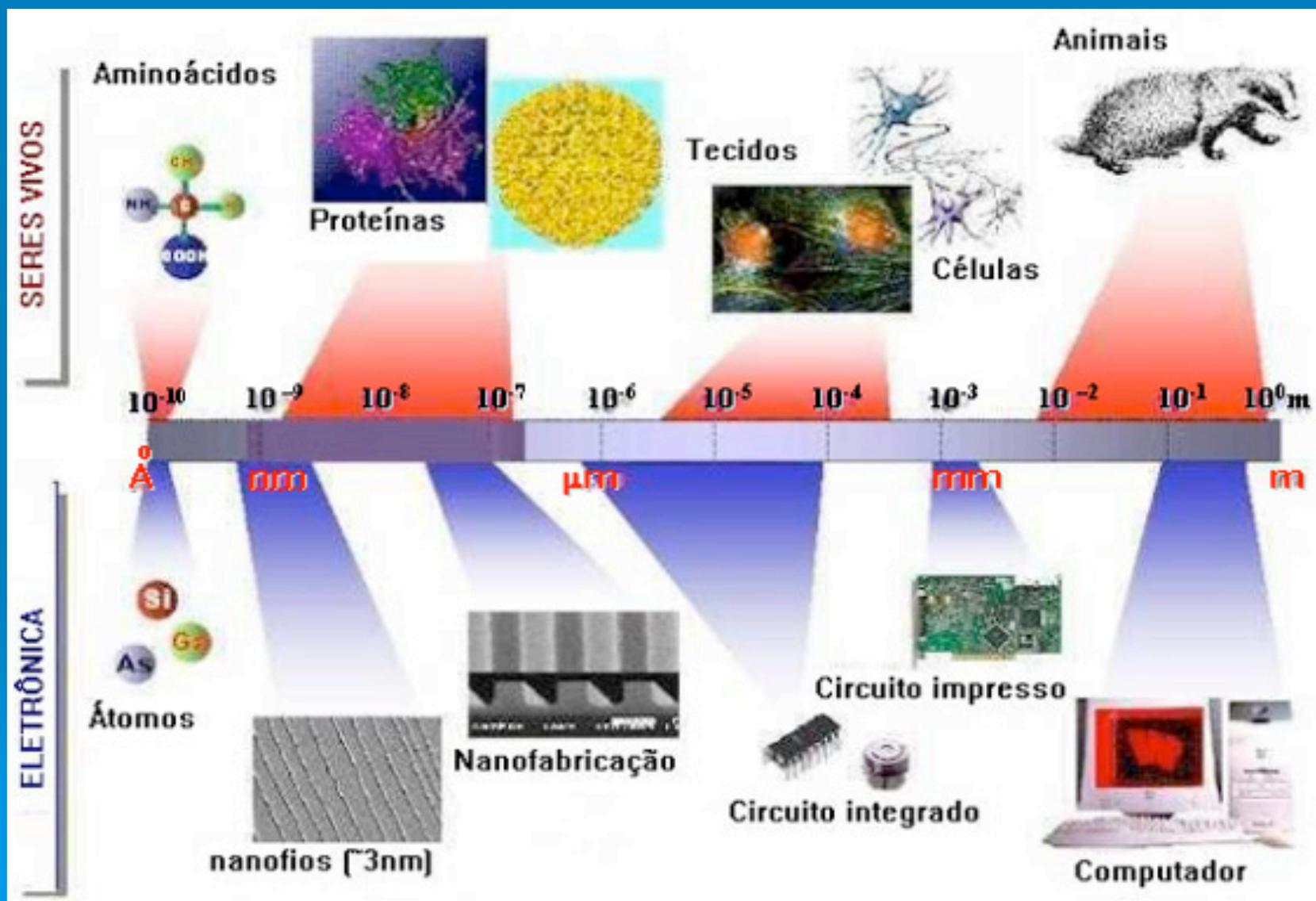
Con luz reflejada

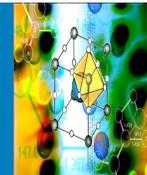
Convergencia hacia la Nanociencia





Escala de tamaños



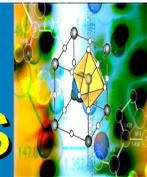


APLICACIONES DE NANOPARTICULAS

- a) almacenamiento magnético de alta densidad.
- b) materiales para transformadores
- c) inductores y unidades de deflexión en TV
- d) refrigeración magnética
- e) imágenes en resonancia magnética
- f) tarjetas magnéticas
- g) espintrónica
- h) sensores
- i) pigmentos
- j) biomedicina
- k) catalizadores

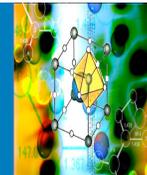


Obtención de partículas nanoestructuradas



Óxidos de E.T----Óxidos de T.R---- Óxidos ternarios---
ferritas—aleaciones metálicas, binarias, ternarias etc.

- **Métodos Químicos:**
 - a) sol-gel
 - b) coprecipitación
 - c) micelas invertidas
 - d) plasma a radio-frecuencia
 - e) tratamiento hidrotérmico
 - f) microemulsión
 - g) precursor citrato
 - h) sistemas coloidales
 - i) pirolisis por spray y por laser
 - j) electroquímicos

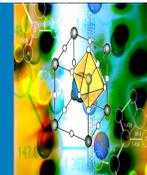


Técnicas de caracterización

Difracción de rayos-x

Microscopía-electrónica SEM y TEM

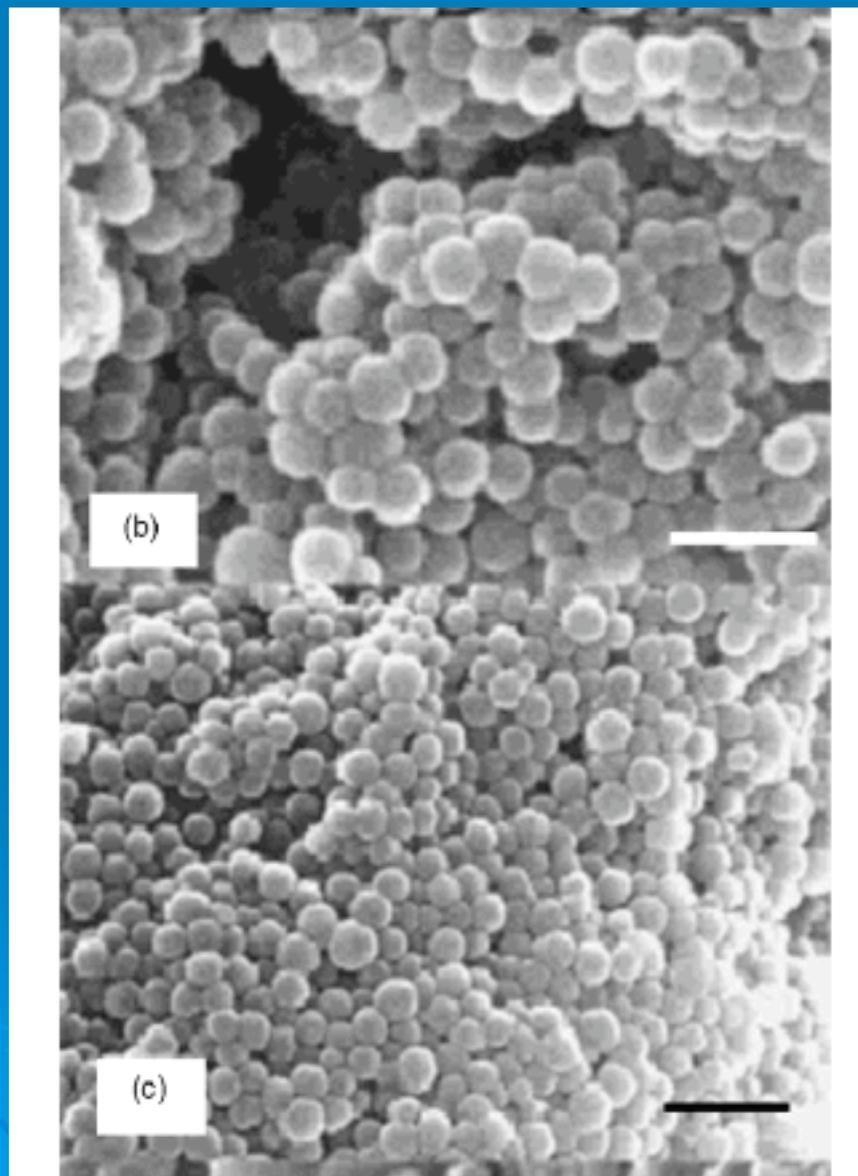
- Espectroscopía del Infrarojo
- Termogravimetría
- BET
- XPS
- Magnetismo (Mdc-Mac vs T) (M vs H)
- (Mossbauer)
- Transporte de cargas
- Magneto-óptica
- Raman



Nanopartículas
de

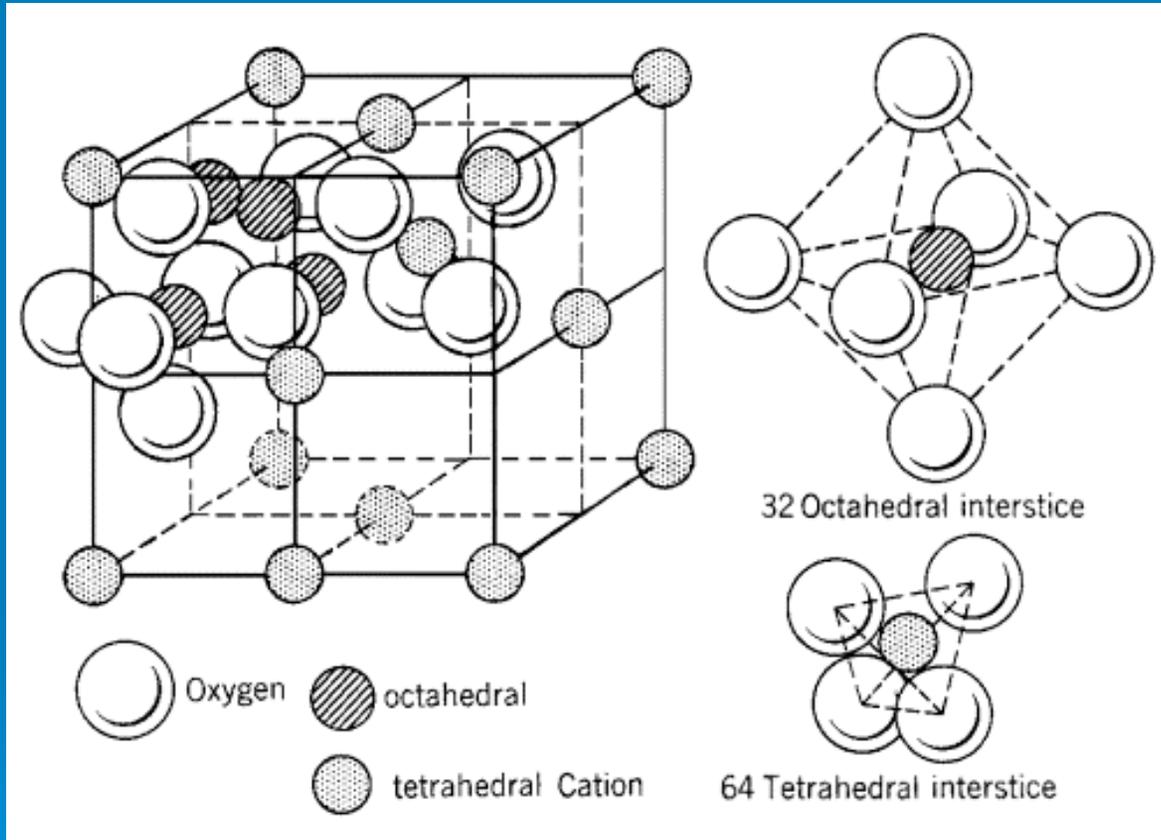
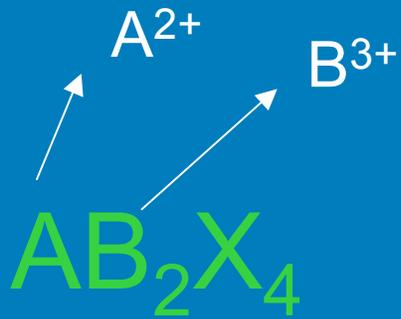
ZnMnFeO

barra: 150 nm

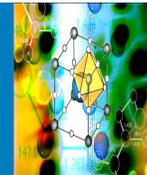


FERRITAS

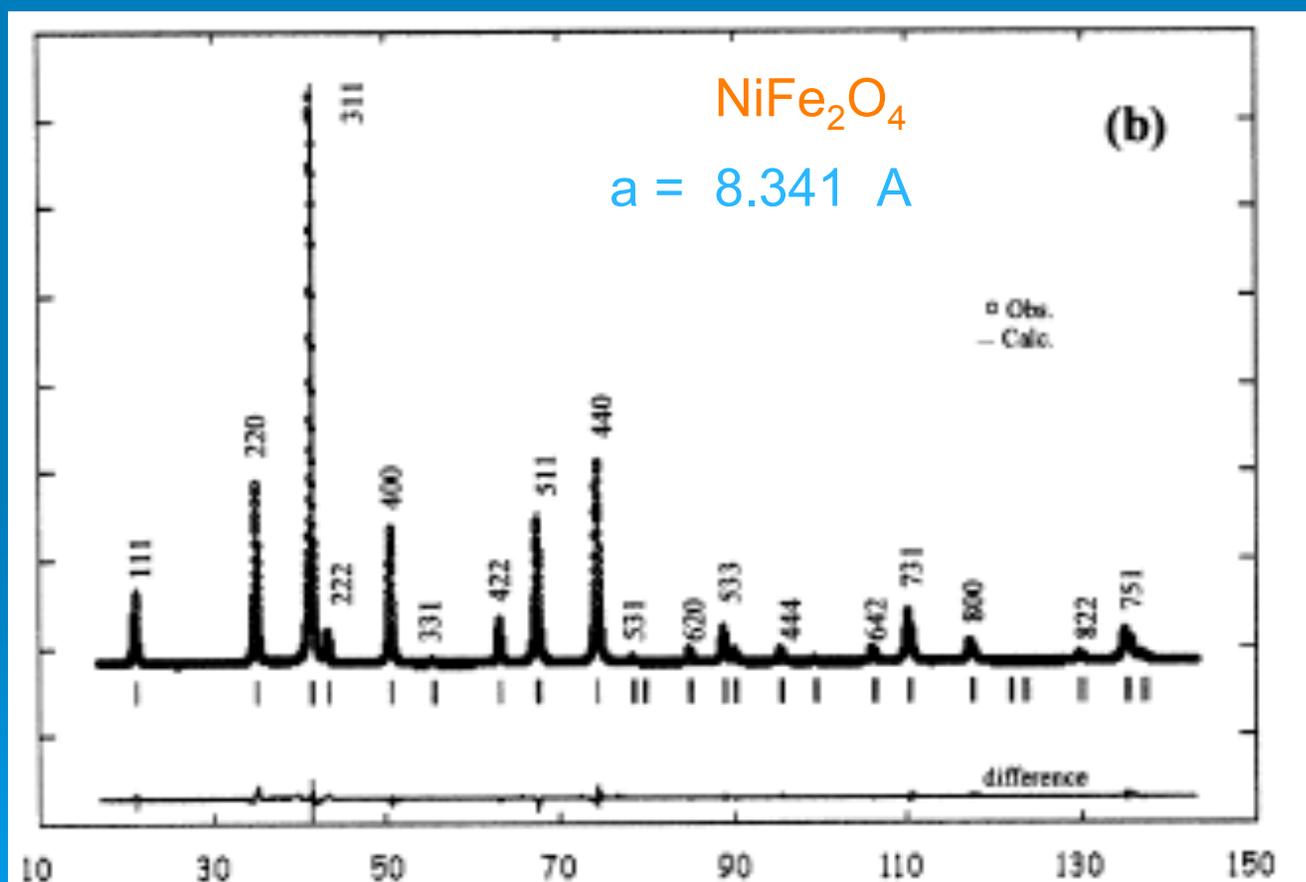
Estructura Espinela



Ocupación: 16 sitios tetraedrales
8 sitios octaedrales

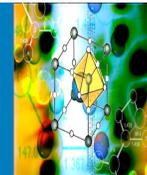


Difracción de rayos-x



Destacadas Variedades magnéticas

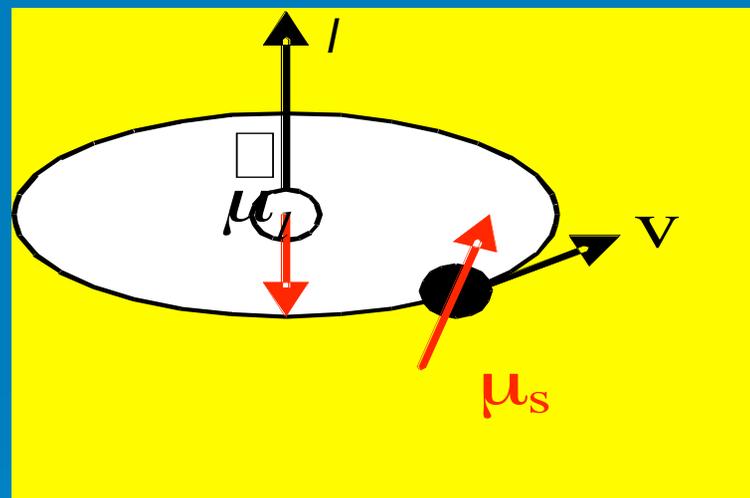
- Diamagnetismo atómico.
- Paramagnetismo atómico.
- Ferromagnetismo.
- Ferrimagnetismo.
- Antiferromagnetismo.
-
-



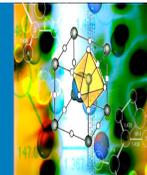
Condiciones básicas del Magnetismo

Existencia del :

- momento magnético angular electrónico y del
- momento magnético de espín electrónico



Diamagnetismo Atómico

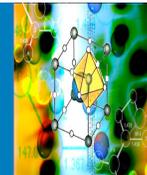


Paramagnetismo atómico

- a) configuración atómica
- b) momento magnético de espín **neto**
- c) sistema paramagnético atómico

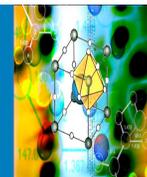


- i) Magnetización. $M = \Psi (T, H)$
- ii) Susceptibilidad magnética



Configuración electrónica atómica

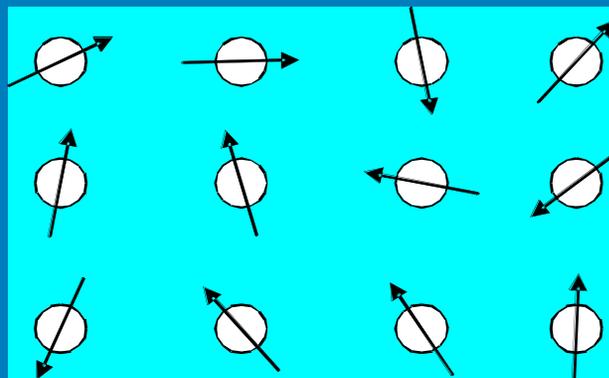
- He: $1s^2$DM
- Ar: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$DM
- Ge: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^2$DM
- Mn^{2+} : $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^5 4s^2$
- Gd^{3+} : $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^6$
 $4d^{10} 5s^2 5p^6 4f^6 5d^1 6s^2$



PARAMAGNETISMO ATÓMICO

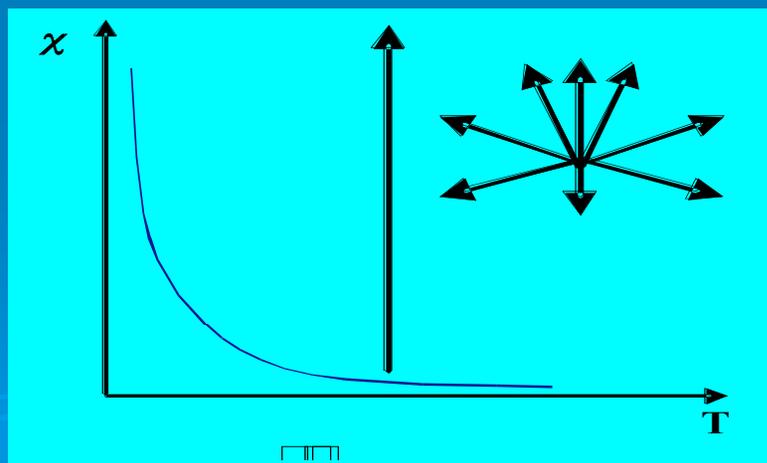
Momentos magnéticos atómicos netos

$$\vec{M} = \sum \vec{\mu}_a$$



Para $T = T$
 $H = 0$
 $M = 0$

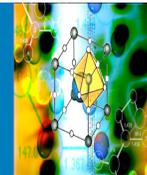
Sin embargo si
 $H \neq 0$
 $M \neq 0$



$$\chi = M / H$$

$$\chi = \frac{C}{T}$$

Distribución de momentos magnéticos atómicos no interactuantes

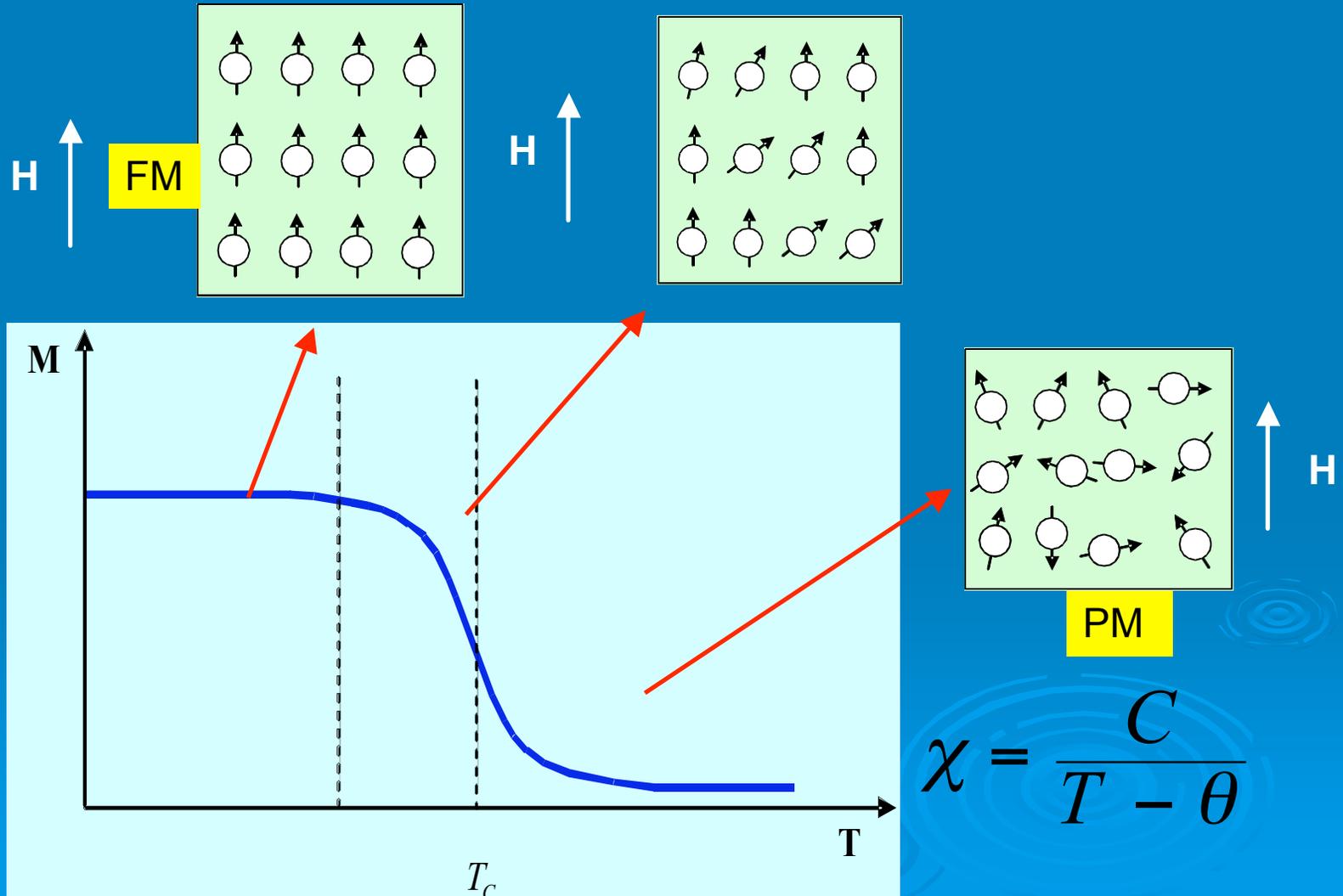
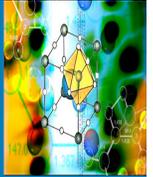


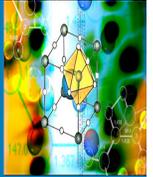
Ferromagnetismo

- **Condiciones fundamentales:**
 - **i) existencia de momento magnético neto**
 - **ii) existencia de interacciones de intercambio**
 - **entre los átomos**

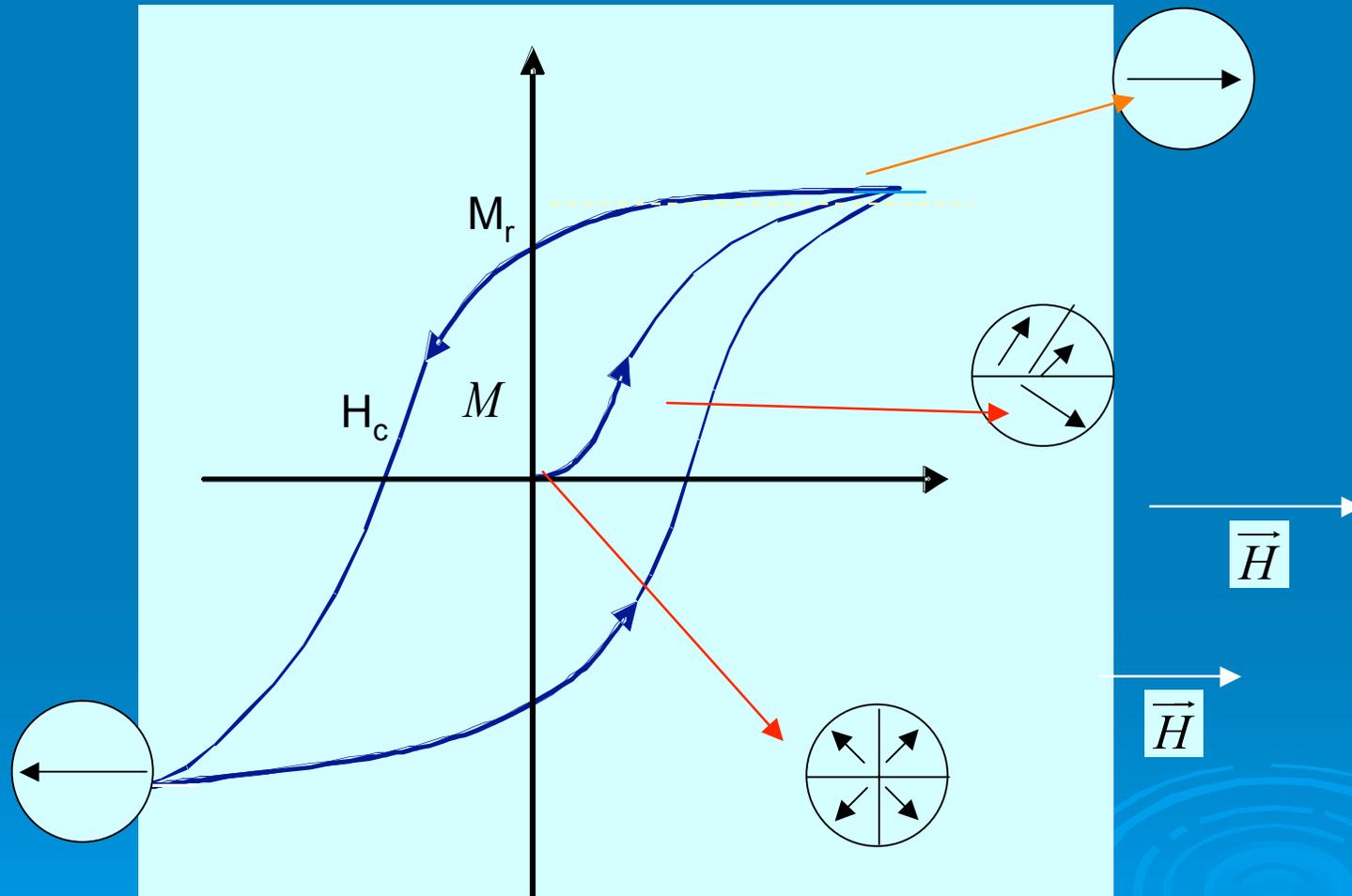
Magnetización vs Temperatura

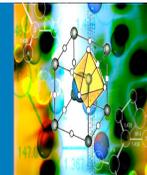
Ferromagnetismo



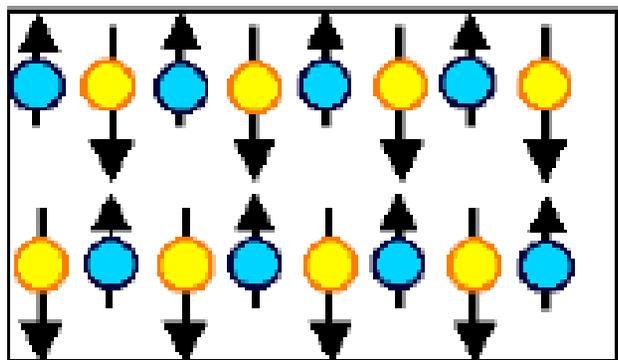


CICLO DE HISTÉRESIS





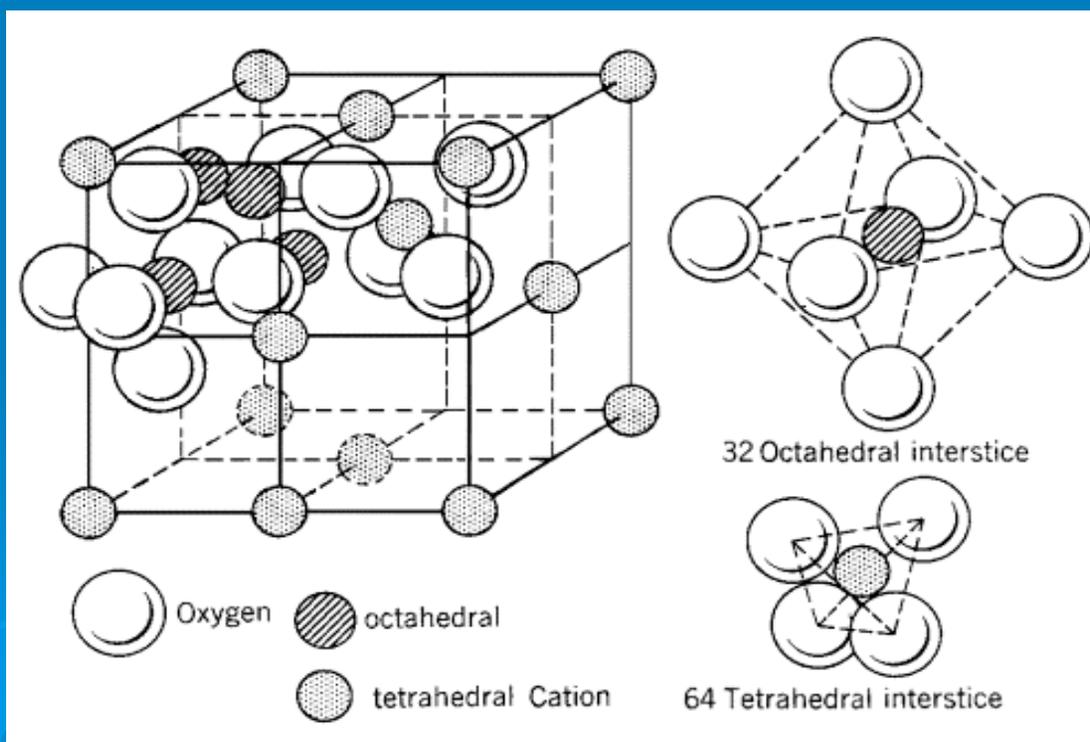
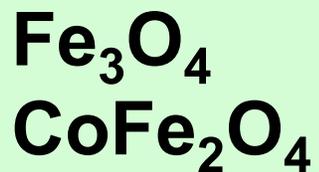
Ferrimagnetismo AB_2X_4



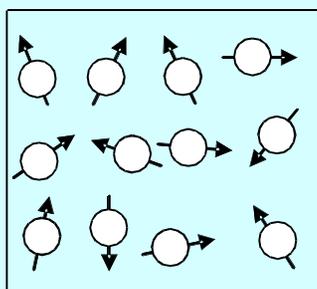
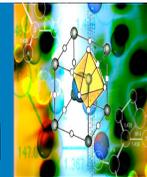
A^{2+} : Ni, Co

B^{3+} : Cr, Fe

X^{2-} : O



Magnetismo en cuerpos masivos y en nanopartículas

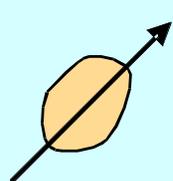
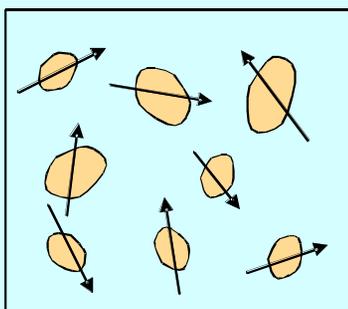


PM



$$\vec{\mu}_a$$

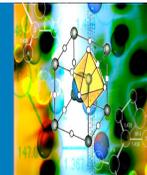
Ente magnético: el átomo



$$\vec{\mu}_p = N_a \vec{\mu}_a$$

Ente magnético:
la partícula

Propiedades intrínsecas de las nanopartículas magnéticas.

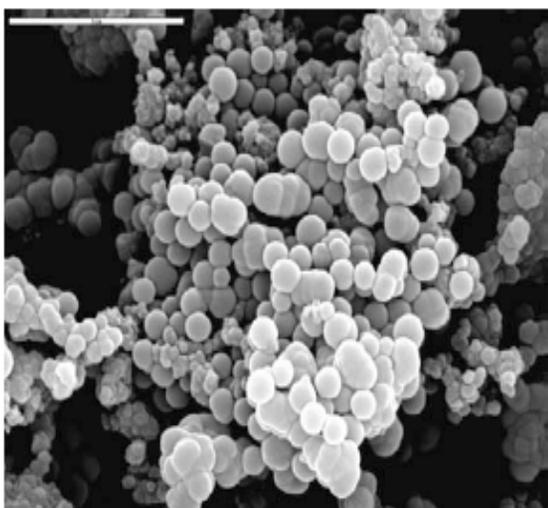


- Distribución de tamaño.
- Superparamagnetismo.
- Efectos del tamaño

Co: $a = 0.355$ nm
200 átomos; 1.6 nm
60 % superf.

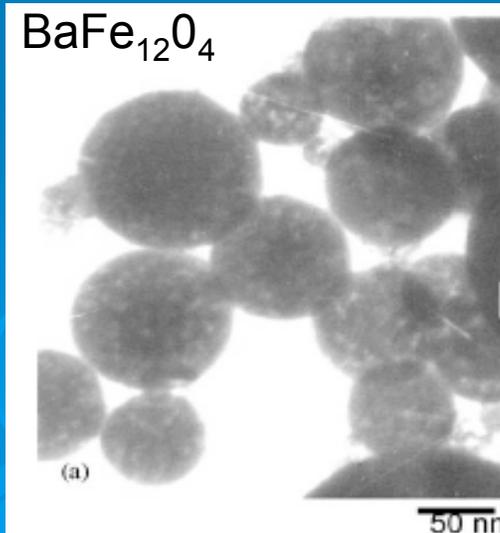
i) aumento del H_c con \uparrow de t .

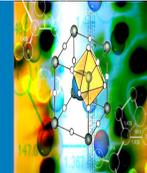
Fe_2O_3 ii) disminución de la M con el \uparrow de t



Desorden superficial de espín

Rotura de enlaces
Cambio de coordinación

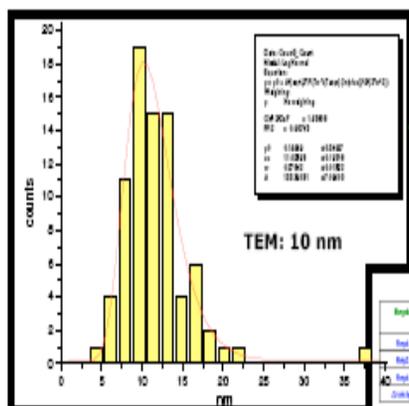




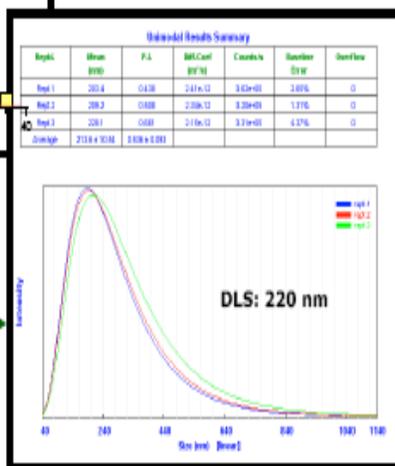
Distribución de tamaños

$$M(H,T) = \dots$$

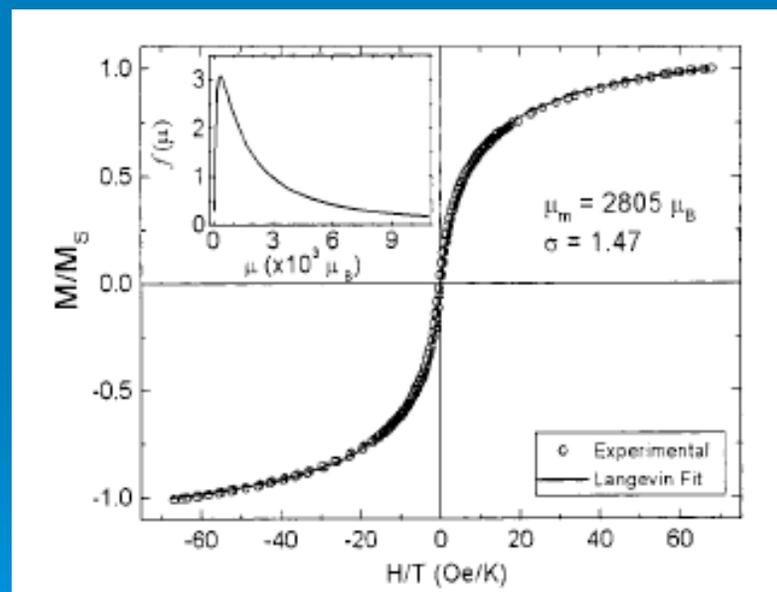
$$f(\mu) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma\mu}} \exp\left(-\frac{(\ln(\mu/\mu_0))^2}{2\sigma^2}\right)$$



El tamaño de las nanopartículas individuales se obtiene por Microscopía electrónica de alta resolución y por Rayos X

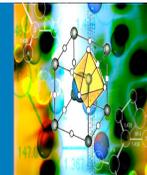


Dynamic Light Scattering y medidas magnéticas determinan el tamaño de agregados

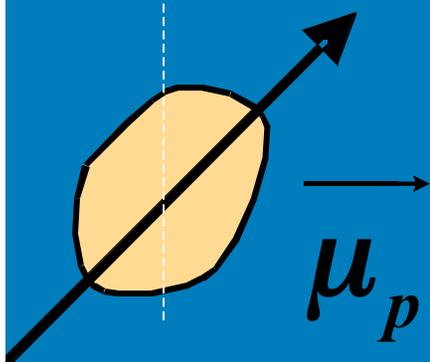


G.Goya et al. JAP (2003)

Superparamagnetismo



Partícula magnética



$$\mu_p = N_a \mu_a$$

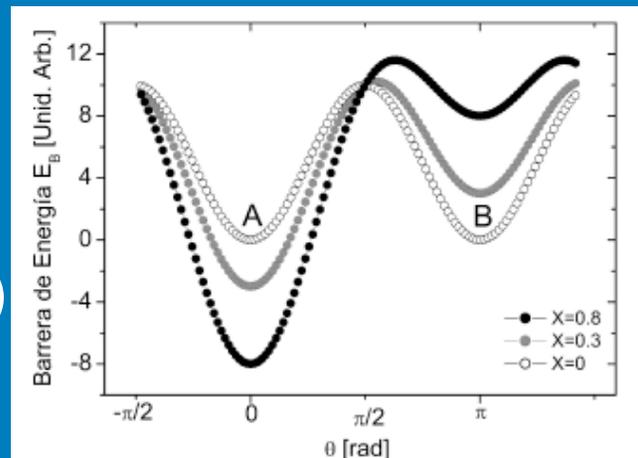
Anisotropía uniaxial
Campo magnético

$$M(t) = M_0 \exp(-t/\tau)$$

$$\tau = \tau_0 \exp(E_B/kT)$$

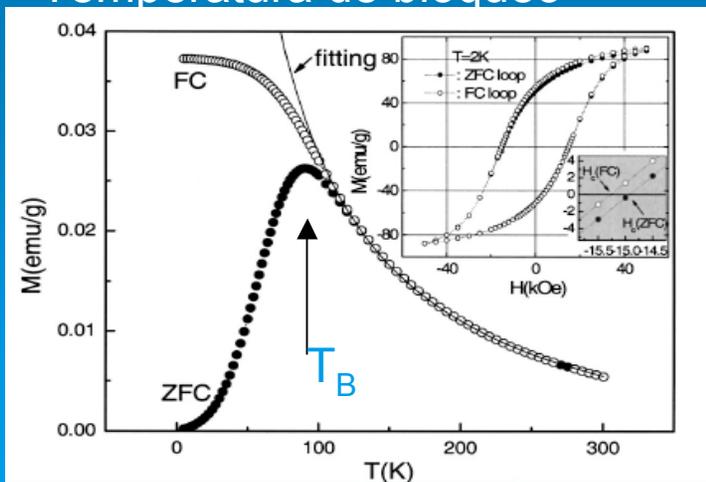
$$E_B = \kappa V$$

$$E_\theta = E_B \sin^2 \theta$$



Barrera de energía

Temperatura de bloqueo



Relación entre τ - τ_m

a) Si $\tau_m \gg \tau \Rightarrow$ relajación rápida \Rightarrow PM

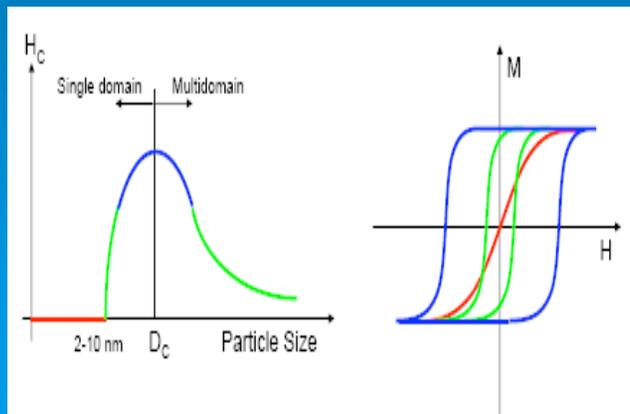
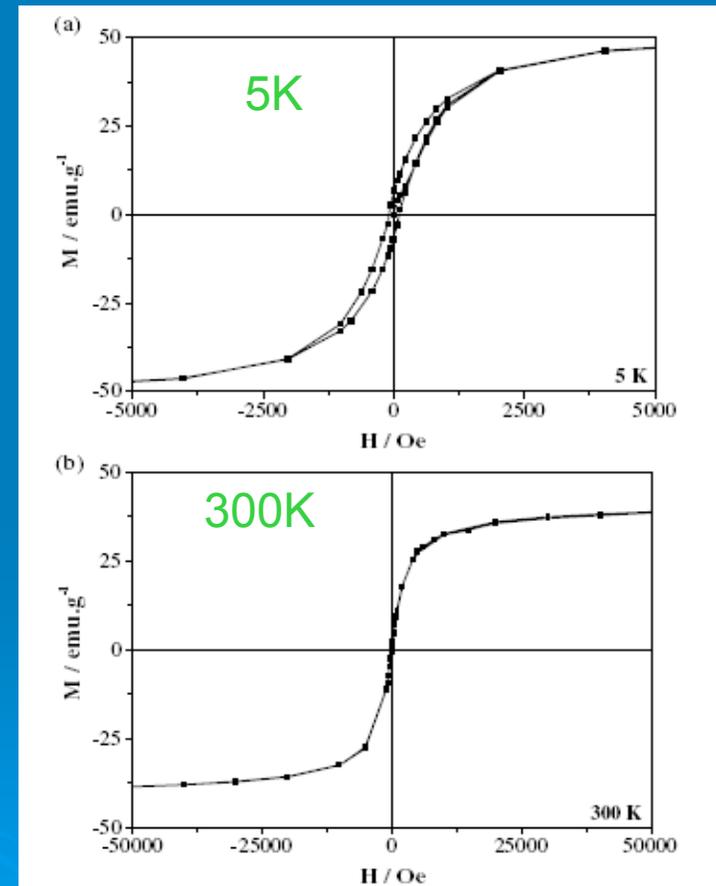
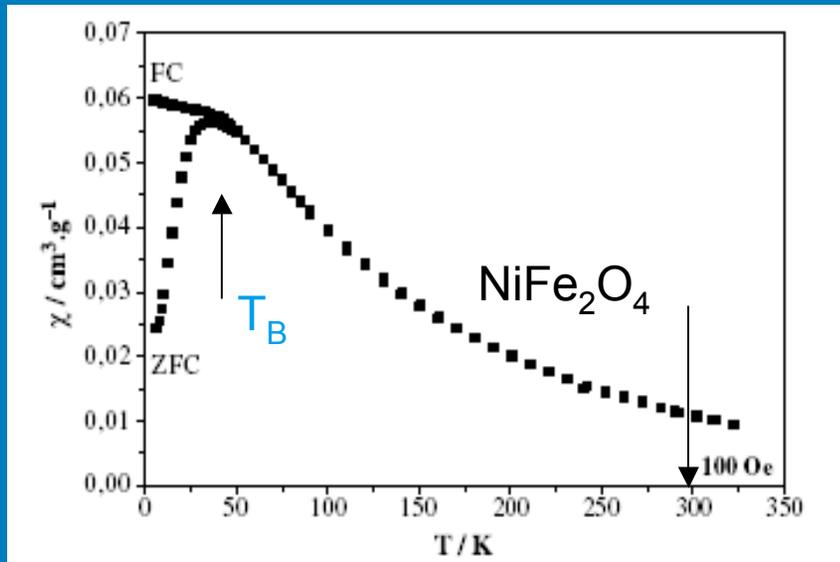
b) Si $\tau_m \ll \tau \Rightarrow$ Sist. Magn. ord. bloqueo

L.Tung. JAP(2003)
 CoFe_2O_4

$$\tau = \tau_m \Rightarrow T_B$$

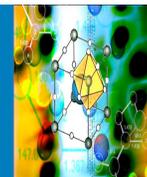
Regiones ferri y superparamagnéticas

S.Chkoundali et.,al (2004)

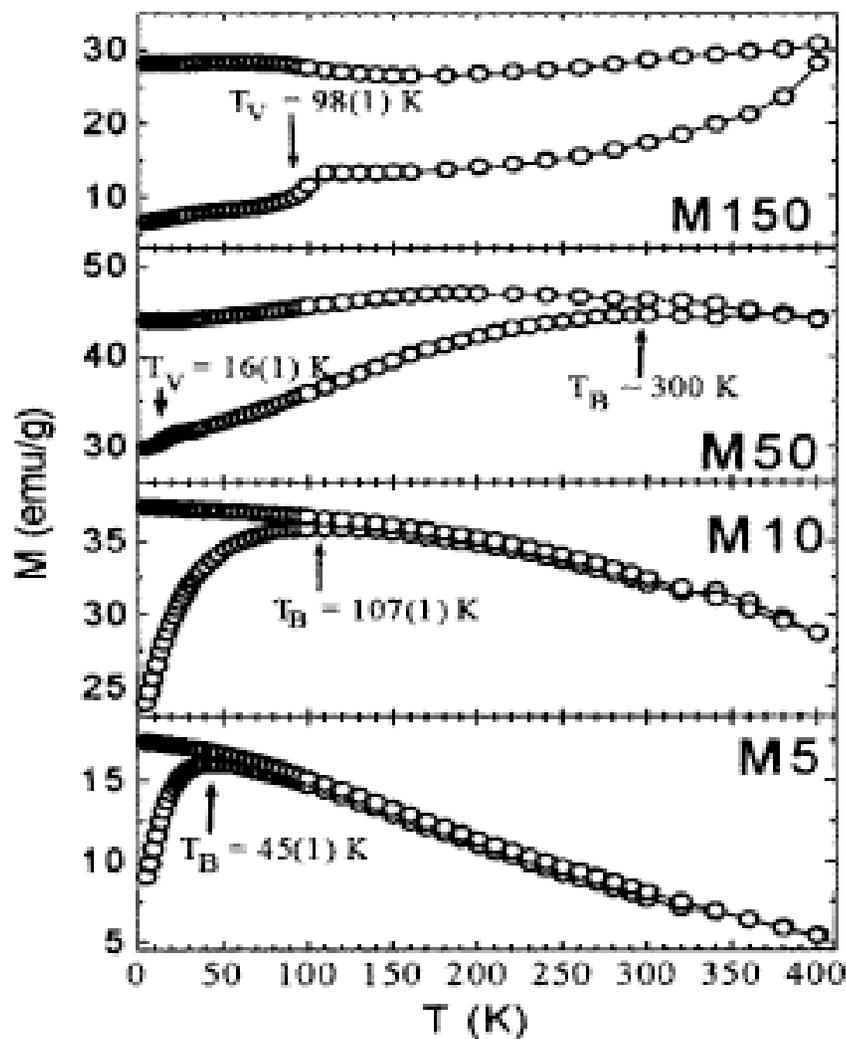


$$D_c = 2 A^{1/2} / M_v$$

Temperatura de bloqueo vs tamaño de partícula

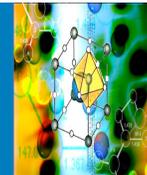


$$T_B = K V / 35k$$



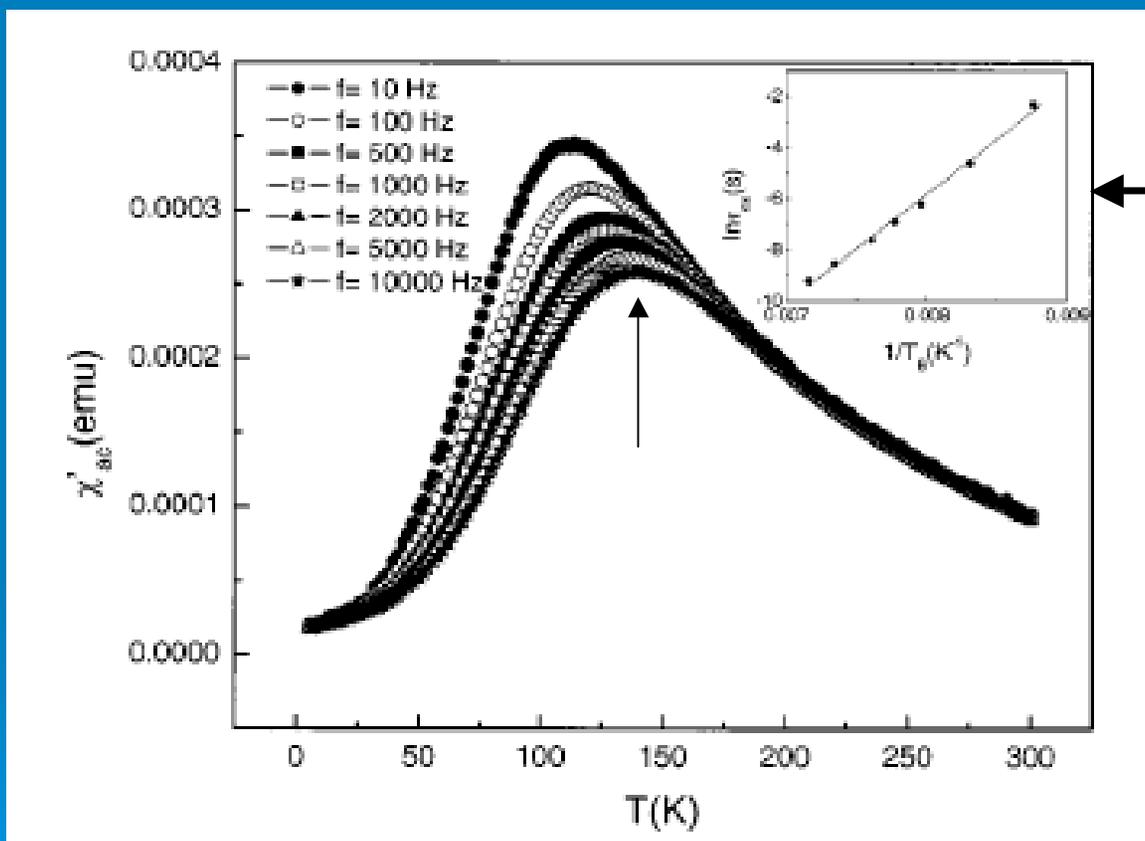
Goya
JAP (2003)

Temperatura de bloqueo vs tiempo de relajación

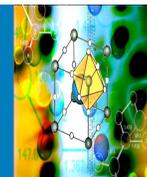


L.Tung. JAP (2003)

$$\tau = \tau_0 \exp(E_B/kT)$$



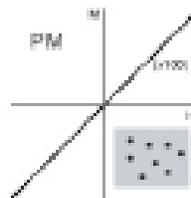
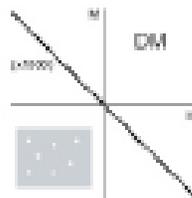
Magnetización-ac vs T



Comportamiento magnético de la materia

Diamagnetismo

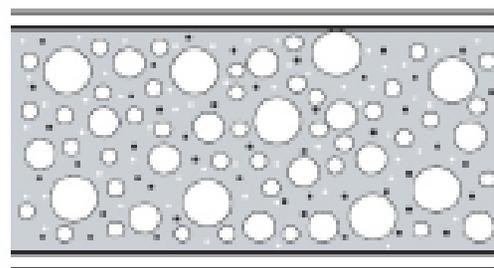
Toda la materia



Paramagnetismo

Átomos aislados

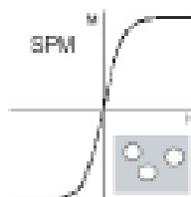
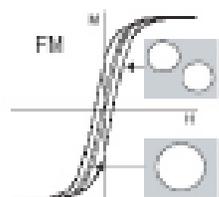
Conducto
venoso



Q.A. Pankhurst et al. J. Phys. D: Appl. Phys. 36(2003) R167

Ferromagnetismo

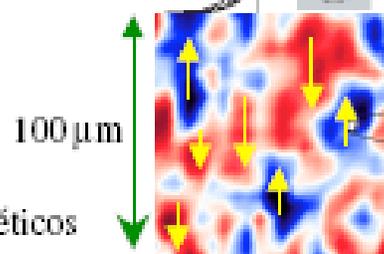
Algunos metales



Superparamagnetismo

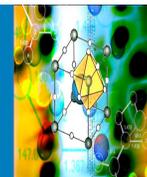
Nanopartículas

Dominios magnéticos

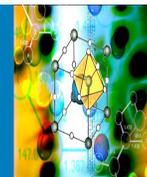


Partículas monodominio

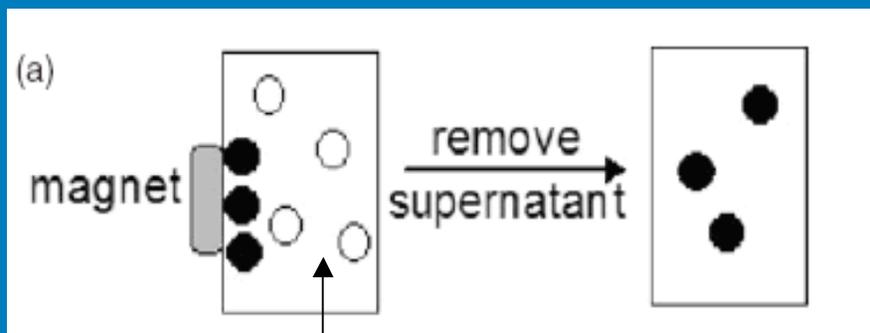
Aplicaciones Biomédicas de partículas magnéticas



- Separación magnética de un material biológico desde su entorno natural
- Portadores magnéticos de medicinas hacia el lugar enfermo
- Hipertermia o tratamiento térmico localizado de tumores



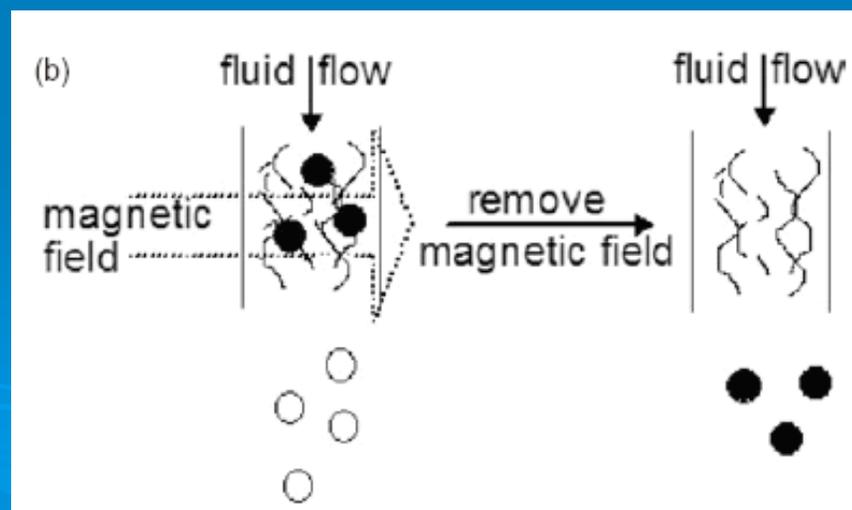
Separación magnética de un material biológico desde su entorno natural

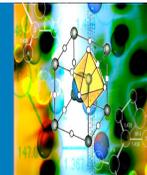


Material no deseado

a) Fijar el elemento biológico con un material magnético

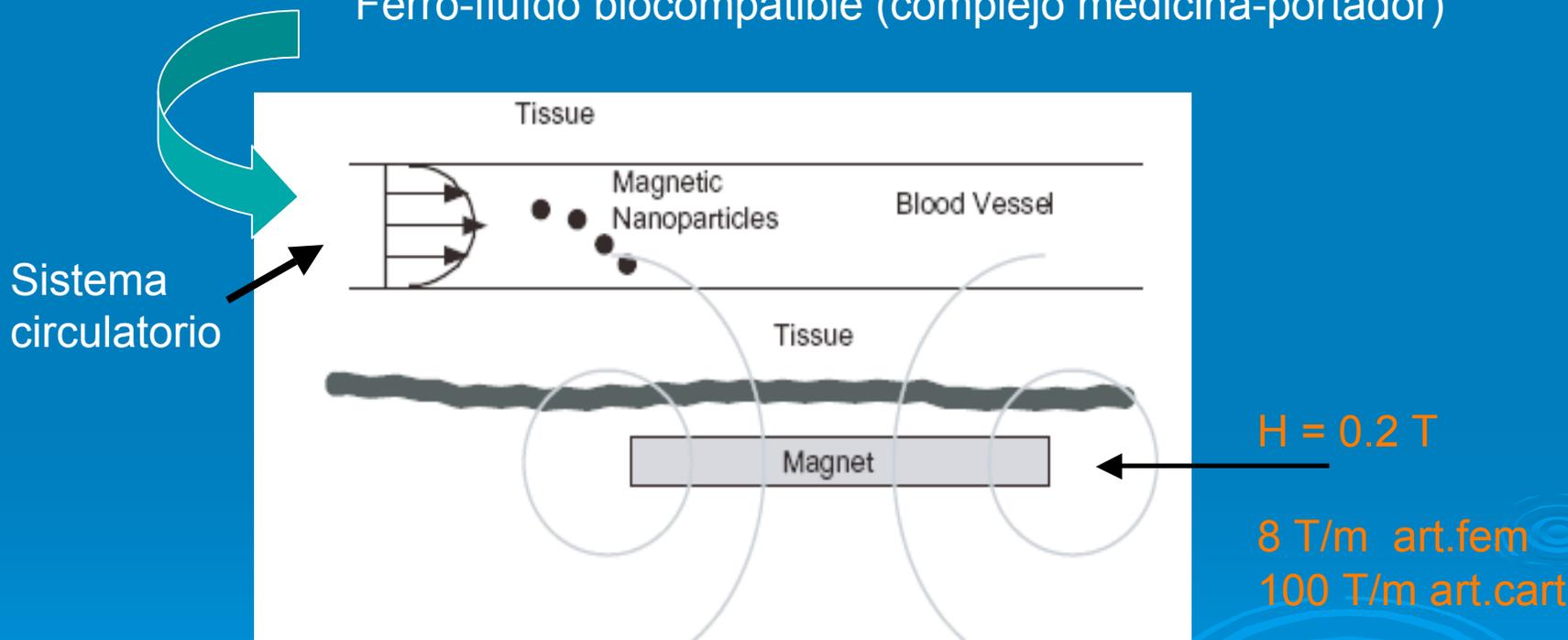
b) Separar ese elemento mediante un fluido





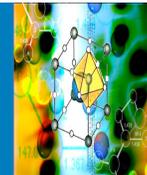
Portadores magnéticos de medicinas hacia el lugar enfermo

Ferro-fluido biocompatible (complejo medicina-portador)

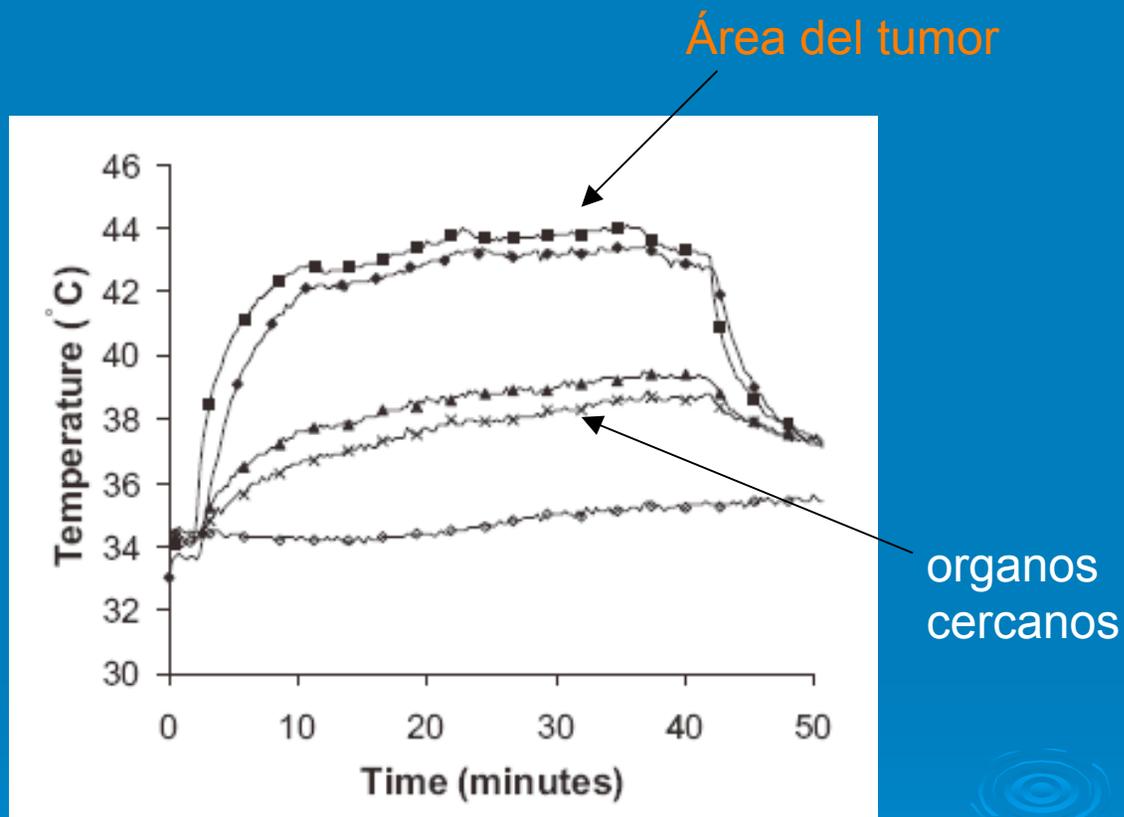
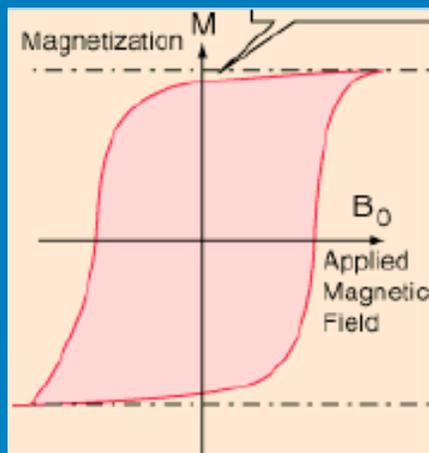


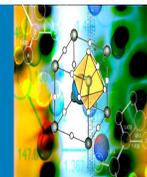
- ETAPAS:**
- inyectar el complejo
 - llevar el complejo al lugar afectado mediante el C.M
 - soltar la medicina mediante actividad enzimática

Hipertermia o tratamiento térmico localizado de tumores



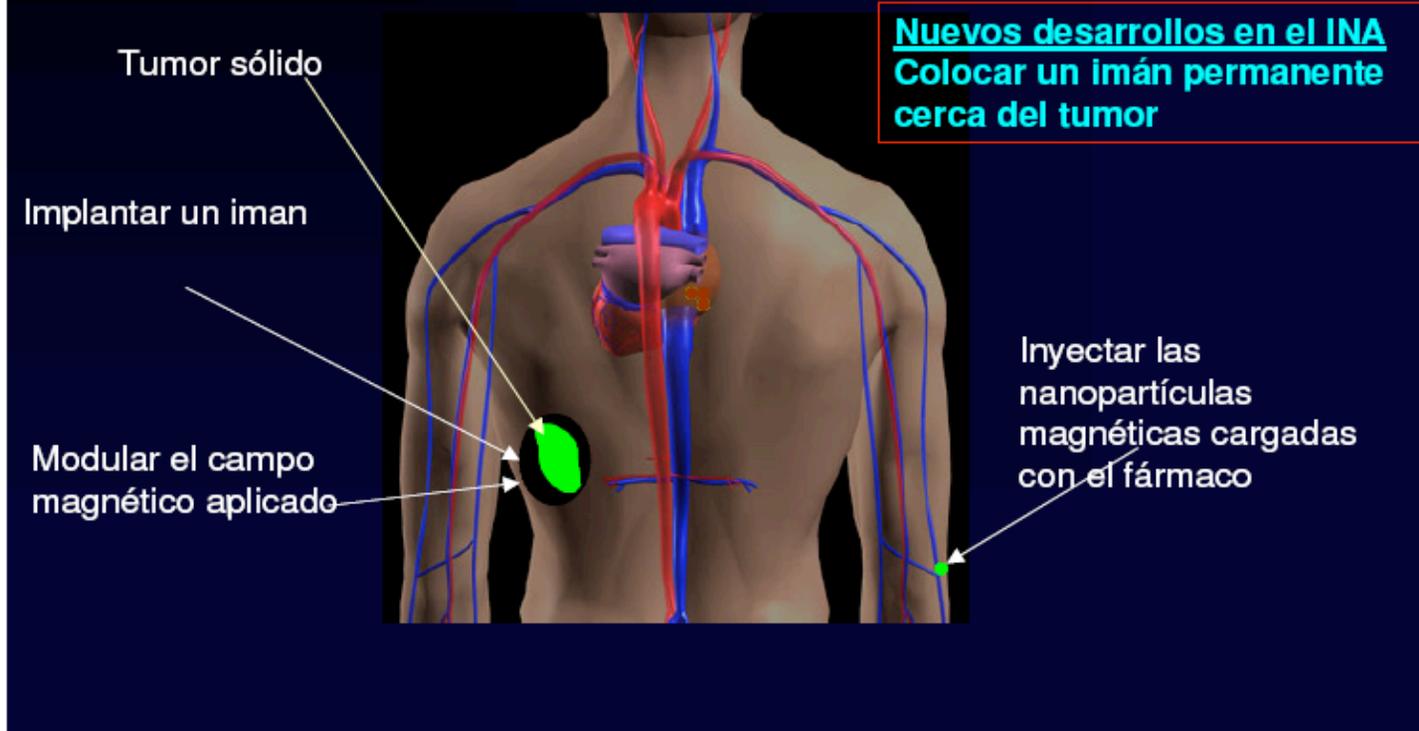
$$P_{FM} = \mu_0 f \oint H dM.$$





Nanomedicina

Suministro local de fármacos mediante partículas magnéticas





UNIVERSIDAD
DE LOS ANDES

**GRACIAS
POR LA
ATENCIÓN**

