

Multicapas magnéticas: su interés y cómo estudiarlas. Propuesta de estudio del sistema GdCo/Co.

Ricardo López Antón

Universidad de Castilla – La Mancha

Facultad de Químicas. Ciudad Real.

eman ta zabal zazu



UPV EHU



UCLM

UNIVERSIDAD DE CASTILLA-LA MANCHA

Esquema de la presentación

Multicapas magnéticas

¿qué son? ¿por qué son interesantes? ¿Cómo obtenerlas? ¿Cómo estudiarlas?

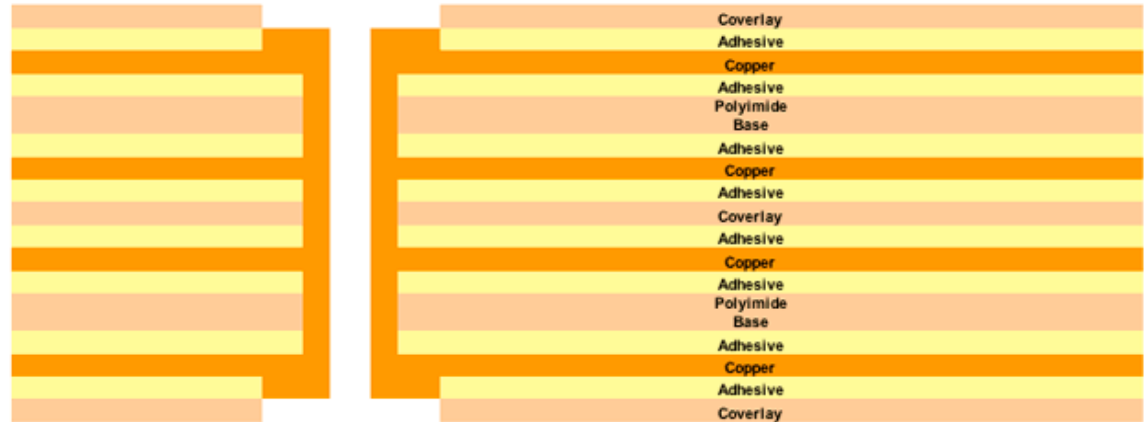
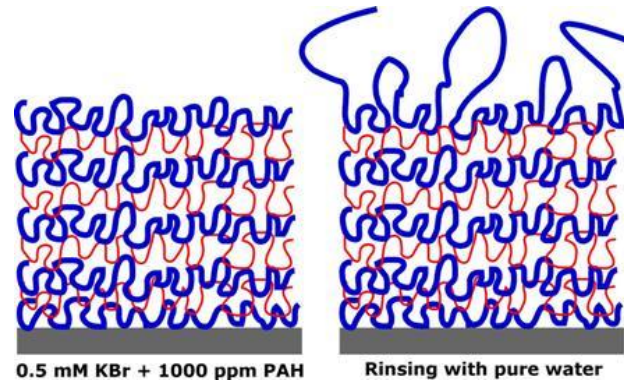
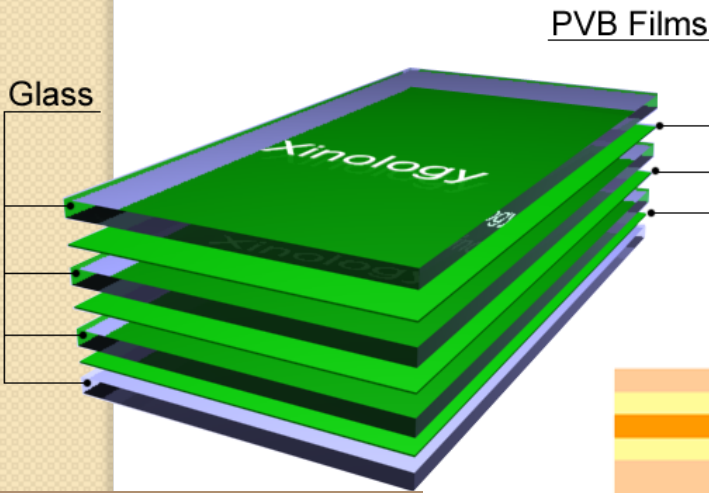
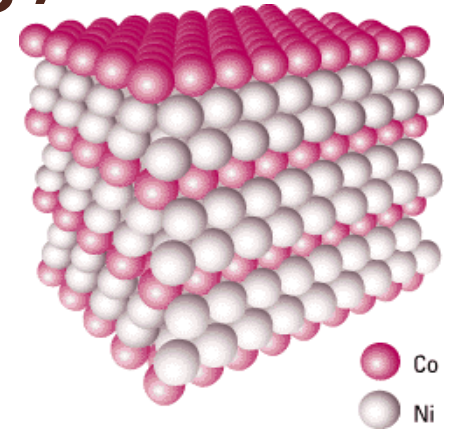
Ejemplo de estudio propuesto para sistemas multicapas: GdCo/Co

¿Por qué es interesante? ¿Qué se ha estudiado previamente y qué quisiéramos estudiar/modelizar?

Multicapas magnéticas

Multicapas (multilayers)

Una multicapa es un conjunto de capas de diferentes sustancias. Estas capas suelen ser de espesores nanométricos si bien pueden tener tamaños mayores. Los componentes de las multicapas pueden ser muy variados: metales, óxidos, vidrios, materiales orgánicos...



Las capas suelen tener espesores del orden de los **nanometros** y podemos tener desde 2 capas hasta más de 200.000. Como suele pasar con los nanomateriales, sus propiedades pueden ser muy diferentes de las de muestras masivas.

De hecho las multicapas fueron de los primeros sistemas **nanoestructurados** fabricados, comenzando el auge actual por la nanotecnología.

Sus usos son muy variados y diversos:

- tratamientos antirreflejos en las lentes
- cabezales de disco duro
- microelectrónica
- recubrimientos para mejorar la resistencia térmica y mecánica de materiales aeronáuticos
- superespejos (supermirrors) para las guías de neutrones
- y un largo etcétera...

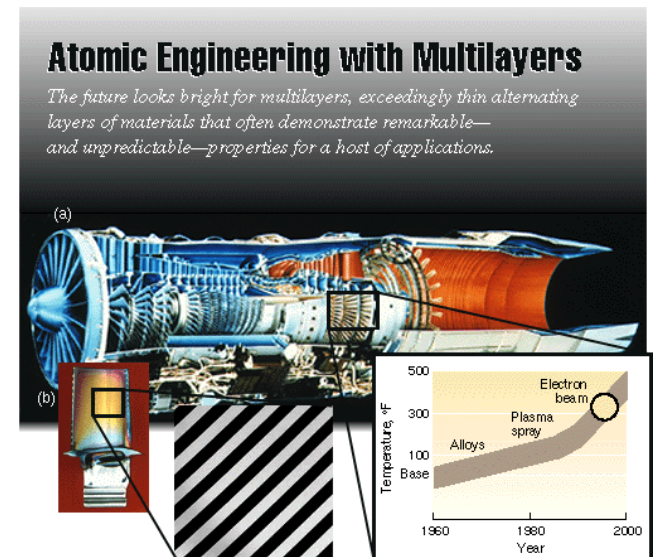
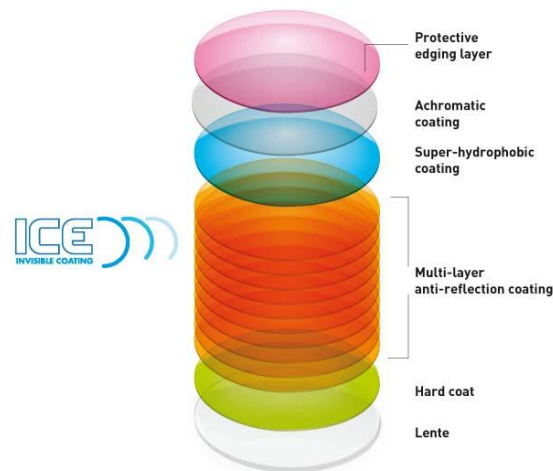
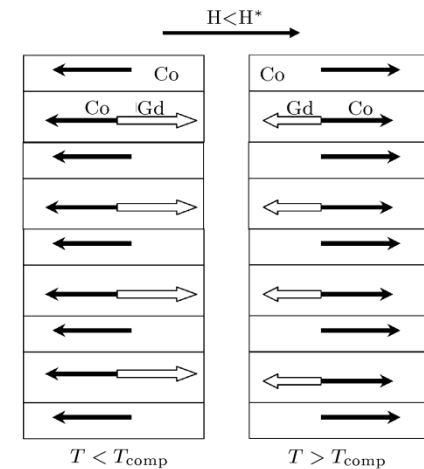
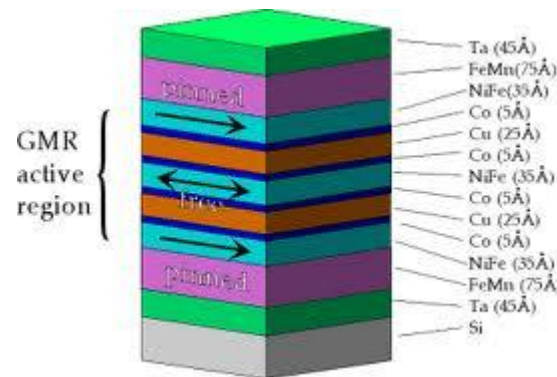
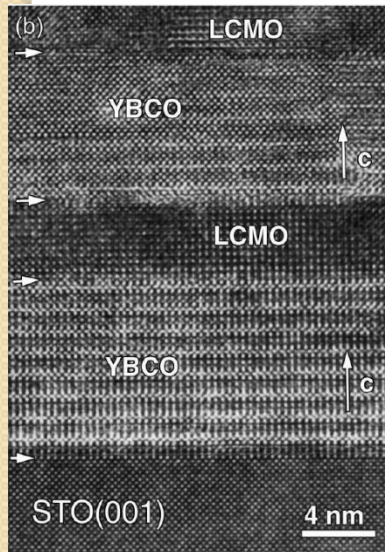
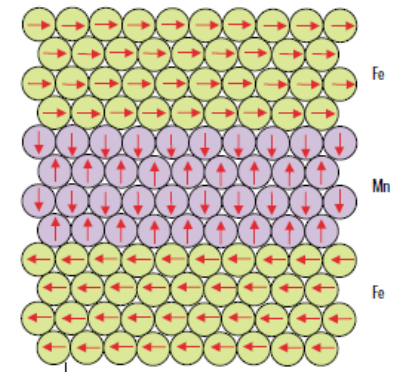
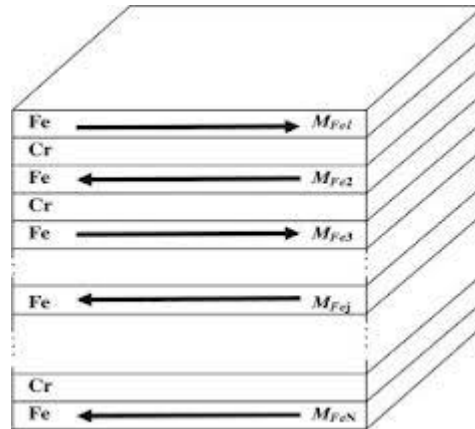
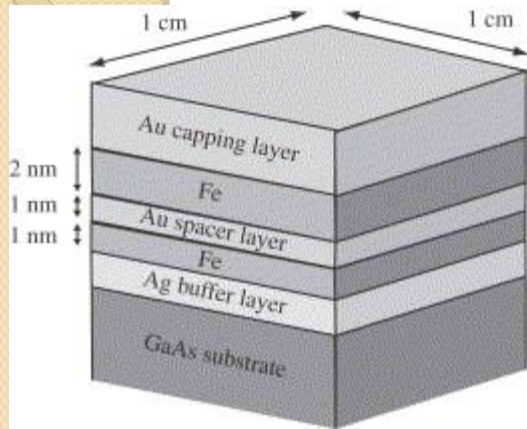


Figure 1. (a) Multilayer materials in aircraft engines withstand greater temperatures, which allow engines to develop greater thrust. (b) Turbine's airfoil thermal barrier coating prolongs engine lifetime.

Multicapas magnéticas

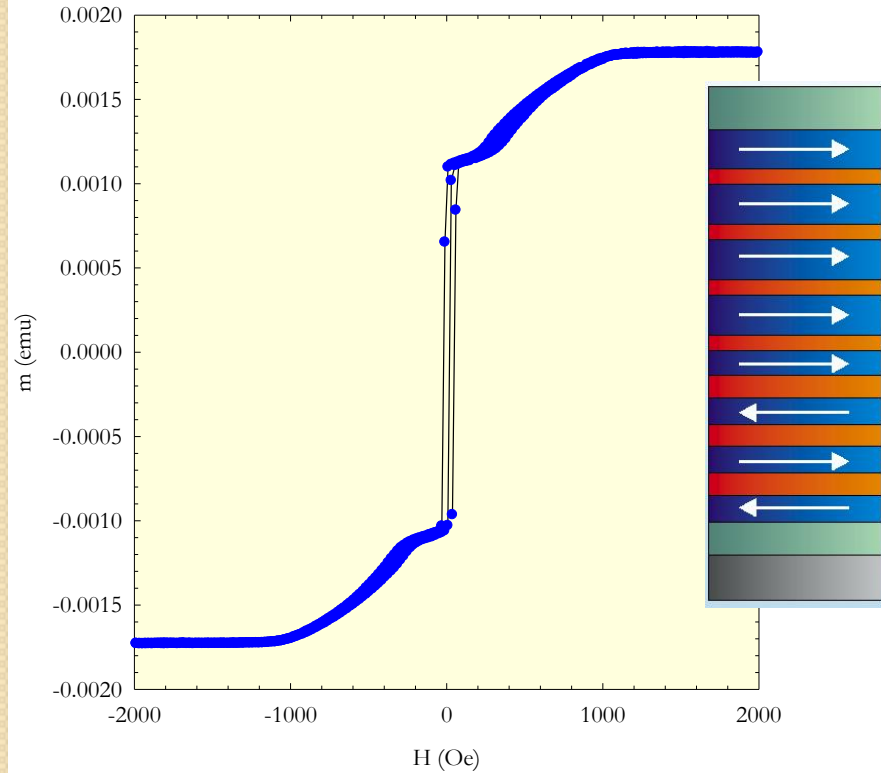
Las multicapas magnéticas, en que algunas de las capas son (ferro, ferri, antiferro-)magnéticas, son de gran interés tanto científico como tecnológico (p.e., espintrónica). Veremos a continuación varios aspectos y propiedades interesantes de estas multicapas:



Acoplamiento ferro/antiferro de capas magnéticas dependiendo del espesor del separador

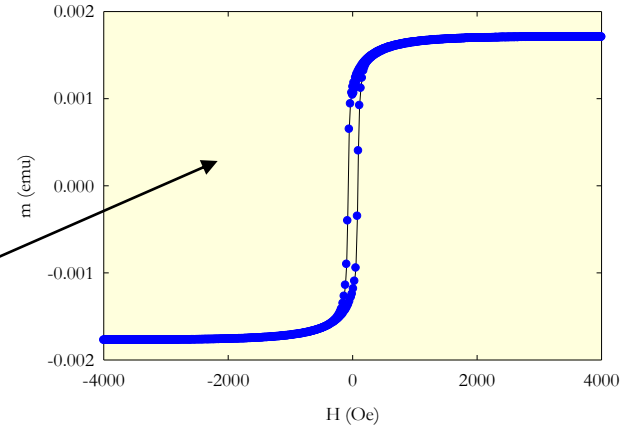


Diseño de materiales ferro y antiferro artificiales

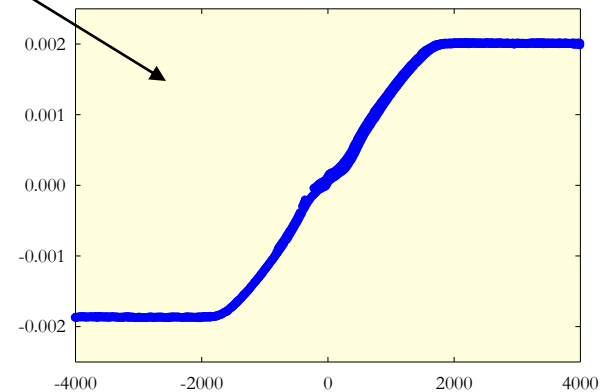


Trabajos de P. Grünberg et al.

F artificial



AF artificial

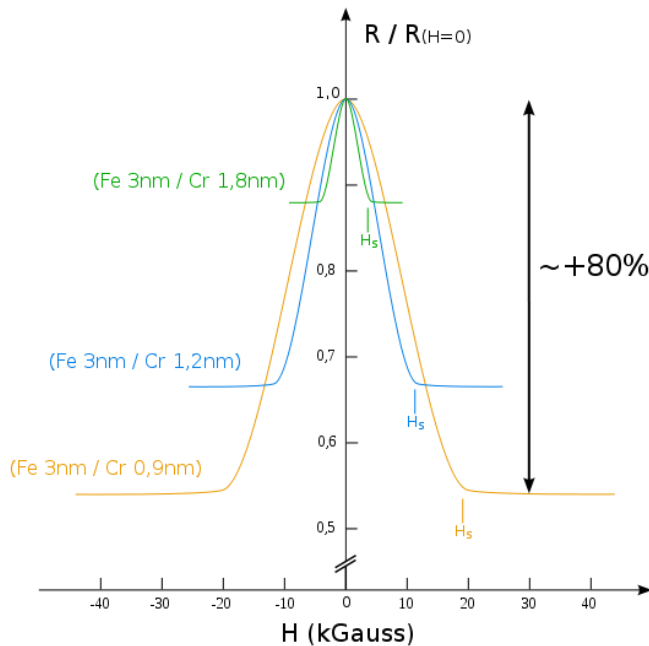
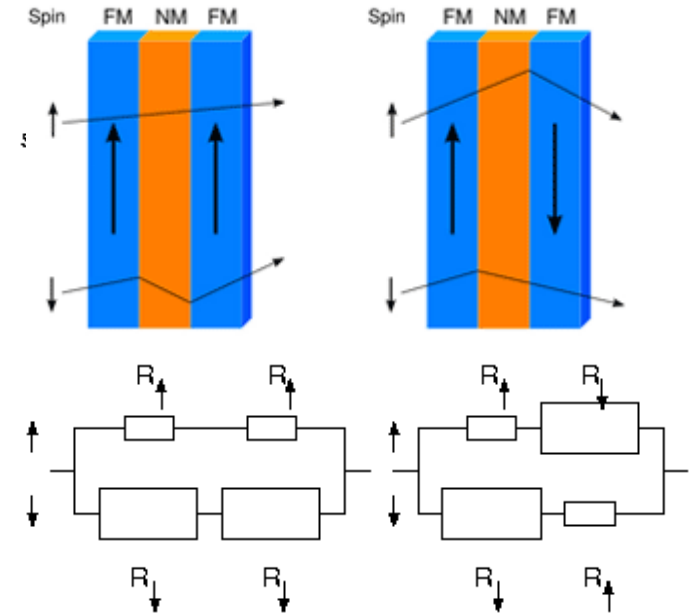


GMR (Magnetorresistencia gigante) y TMR (Magnetorresistencia de efecto túnel)

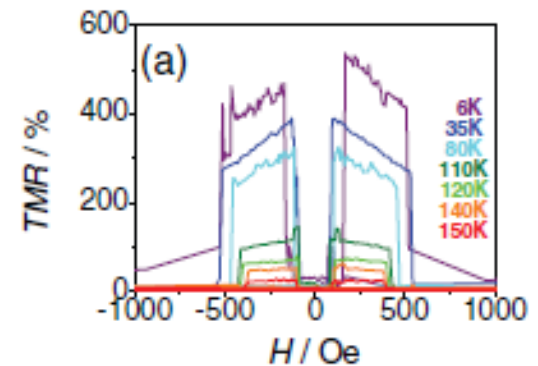
Fert y Grünberg descubrieron en 1988 que la resistencia de multicapas Fe/Cr/Fe cambiaba mucho al aplicarle campo magnético.

Esto es debido al diferente scattering electrónico según su espín sea paralelo o antiparalelo al momento magnético de la capa magnética.

(Premio Nobel de Física 2007)



También se observa un fenómeno semejante en juntas túnel (TMR)

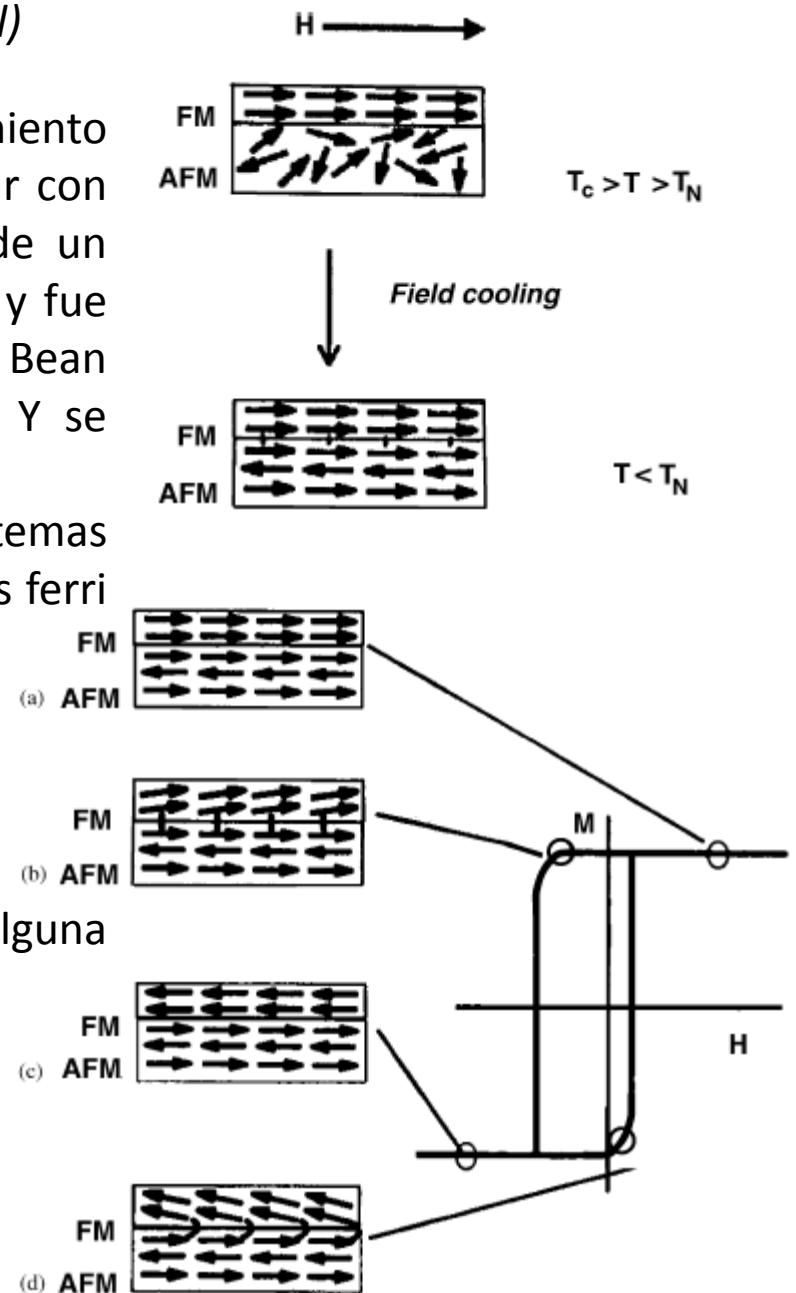


Exchange Bias (anisotropía unidimensional)

Este fenómeno consiste en un desplazamiento horizontal del ciclo de histéresis al enfriar con campo magnético (pasando por la T_N) de un sistema con fases FM y AFM adyacentes y fue observado inicialmente por Meiklejohn y Bean en 1956 en nanopartículas de Co/CoO. Y se asocia al canje entre las dos fases.

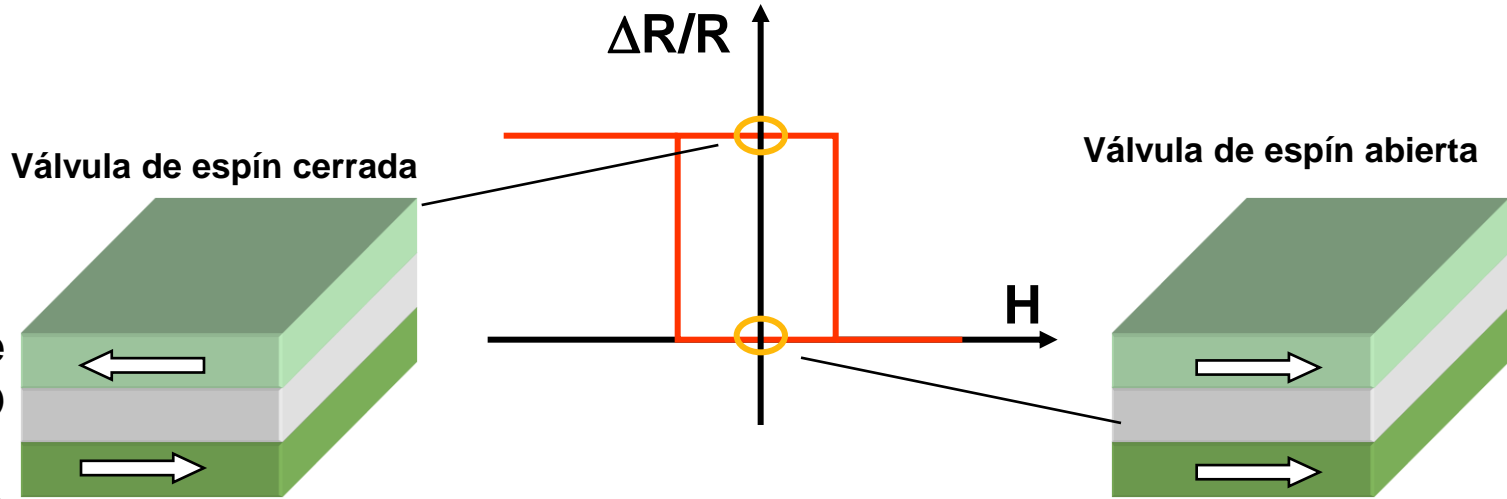
Se ha observado este efecto en sistemas multicapas así como en sistemas con fases ferri y vidrios de espín.

Se utiliza para anclar ("pin" en inglés) alguna capa magnética en multicapas.

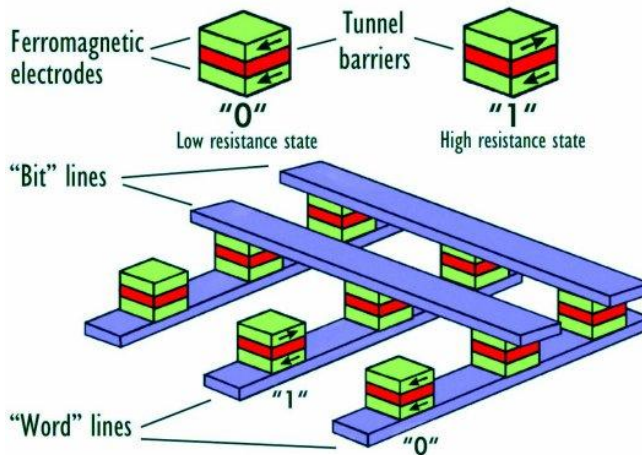
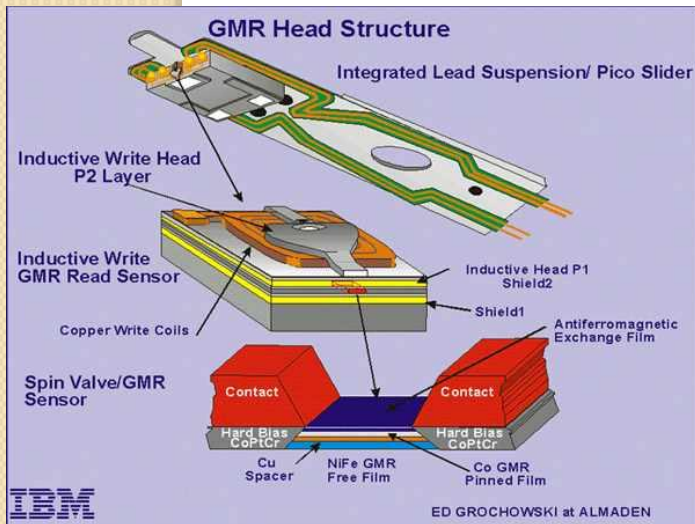


El descubrimiento de la GMR y TMR así como el uso del "Exchange Bias" permitió la creación de **válvulas de espín**.

SL: CoFe, NiFe
 Cu, Al₂O₃, MgO
 HL: Co, CoFe
 (anclado por EB)



Cu/metal no magnético: GMR válvula de espín
Aislante: TMR válvula de espín



Actualmente se usan como sensores magnéticos, cabezales de disco duro, en memoria magnética M-RAM...

¿Cómo obtenerlas?

Podemos utilizar varias técnicas de obtención de películas delgadas para fabricar multicapas. Presentaré aquí las más habituales:

Sputtering (pulverización catódica)



La más habitual, siendo versátil y no demasiado cara (relativamente)

PLD (ablación láser)



Versátil, algo más barata que el sputtering. Bastante usada para óxidos.

MBE (Epitaxia de haz molecular)



Permite controlar el depósito a nivel atómico pero es bastante lenta y muy cara.

Electrodeposición



Muy barata pero solo permite depositar materiales conductores (metales básicamente)



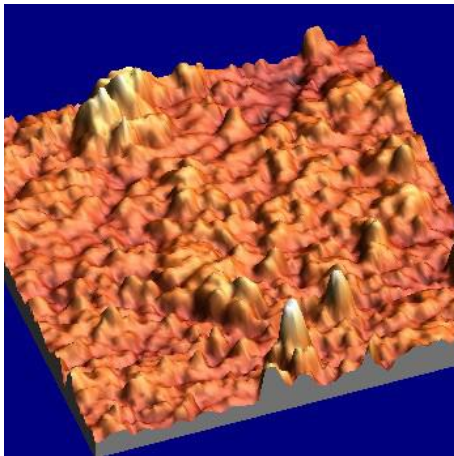
¿Cómo estudiarlas?

Dadas sus características, conviene utilizar varias técnicas complementarias para su estudio.

Microscopias

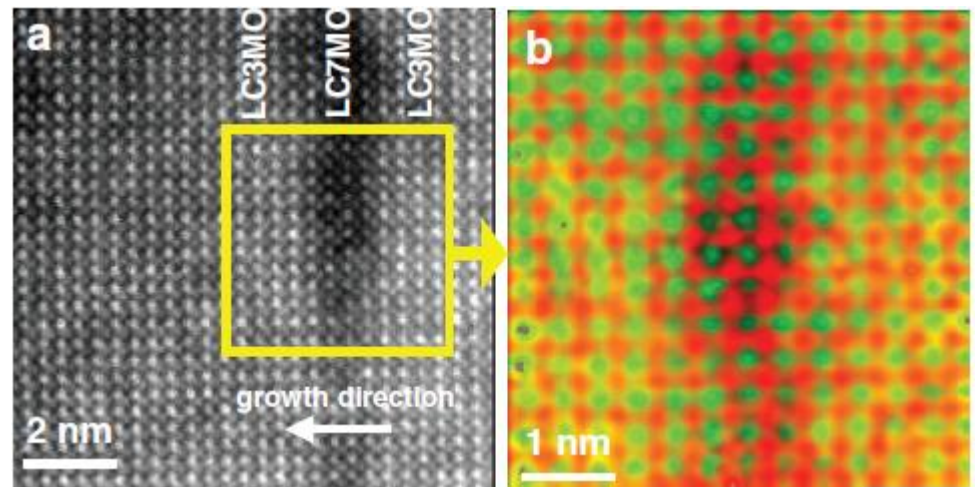
AFM/SEM

Nos puede valer para hallar la rugosidad superficial
El MFM puede usarse para ver dominios en el plano pero solo para la primera capa magnética.



TEM

Permite sacar micrografías de la sección transversal en alta definición así como para obtener mapas químicos (con EELS)



Reflectometrías

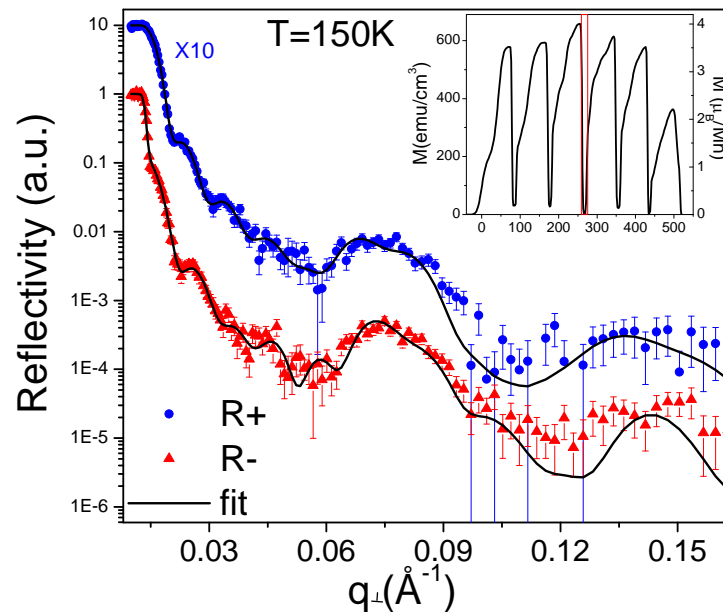
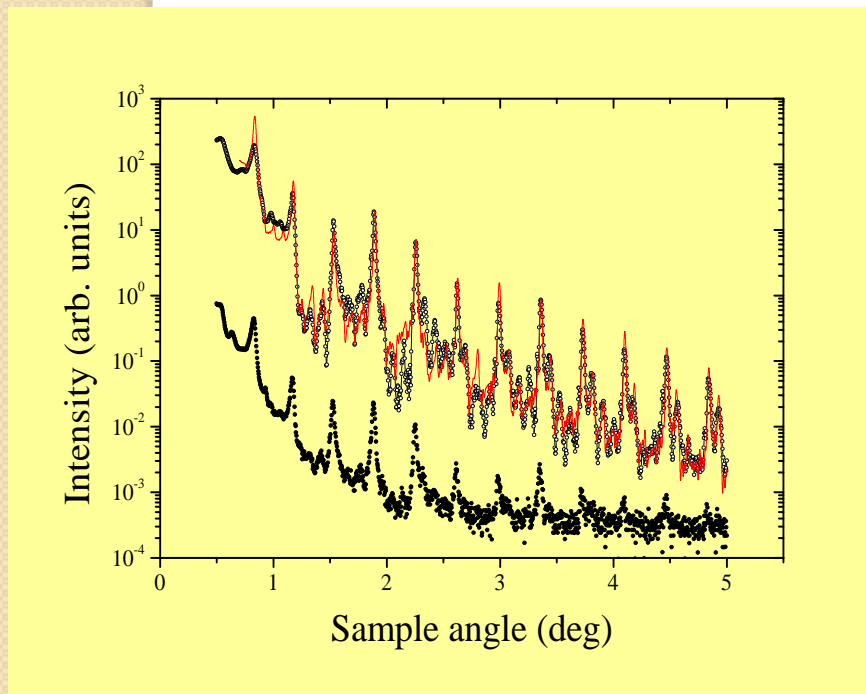
La difracción de rayos X no es demasiado útil pero en cambio la reflectometría sí.

Reflectometría de rayos X

Nos permite obtener información sobre espesores de las capas, rugosidades...
Con la reflectometría de r-X magnética (en sincrotrones) podemos sacar información magnética de algún elemento.

Reflectometría de neutrones polarizados

Además da información sobre el magnetismo de las películas magnéticas y distingue mejor la contribución de capas de elementos ligeros.



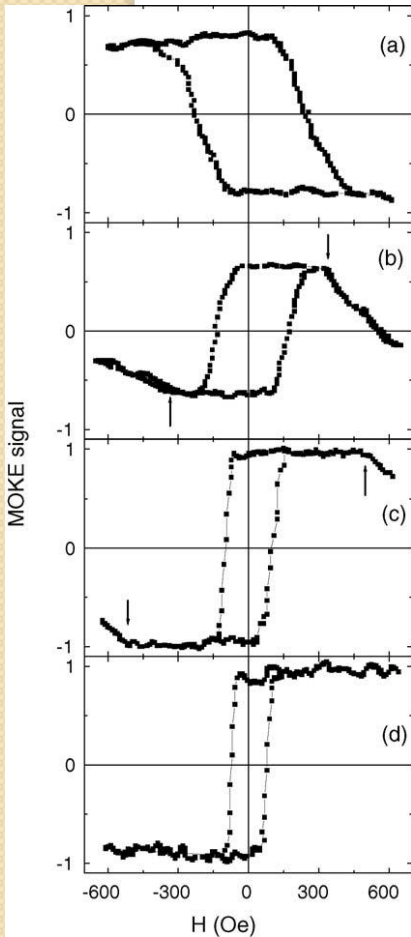
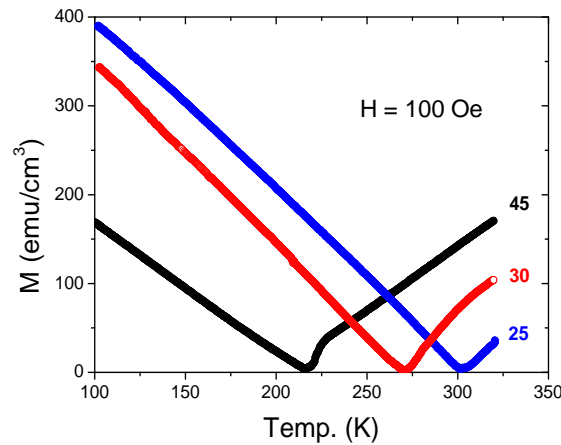
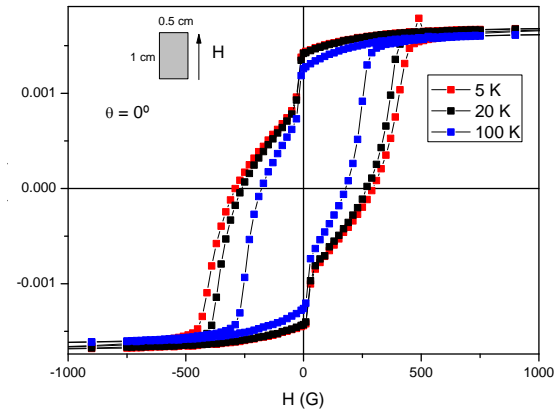
Medidas magnéticas

Evidentemente, las medidas que nos pueden aportar más información sobre el magnetismo de estas muestras.

Magnetometría SQUID/VSM

Nos da información sobre el magnetismo total de las multicapas

[LCMO(bottom), 65 nm] / [LCMO(barrier), 1.2 nm] / [LCMO(top), 10 nm]

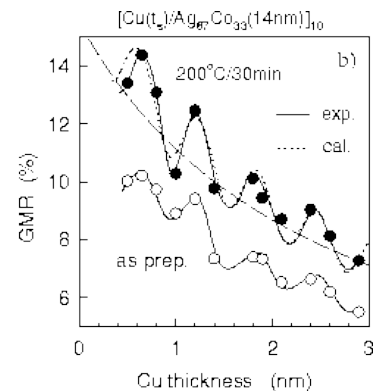
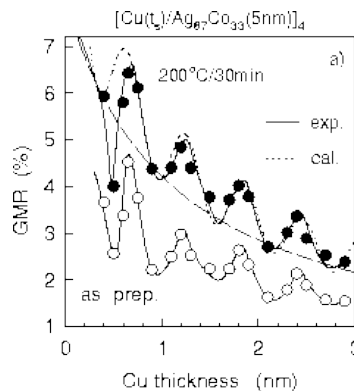
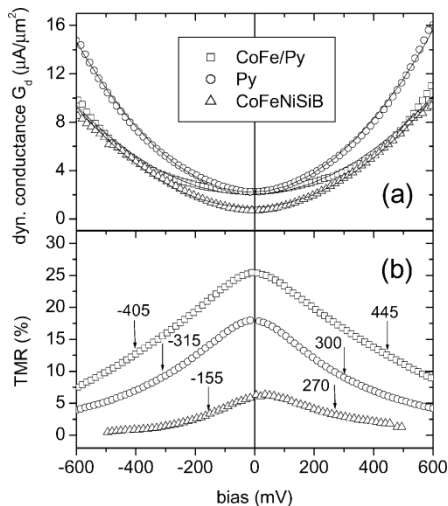
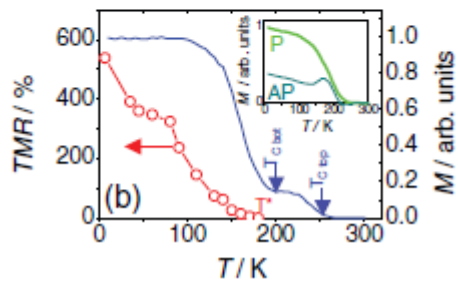
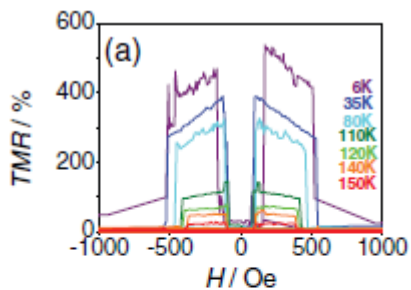


MOKE

Nos da información sobre la imanación de la capa/capas más próximas a la superficie.

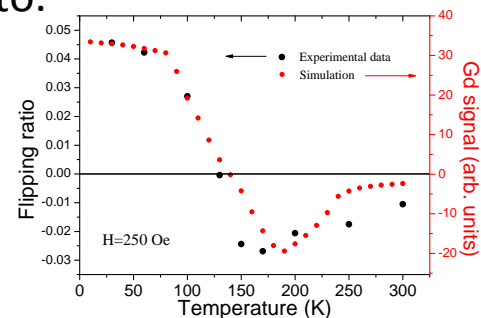
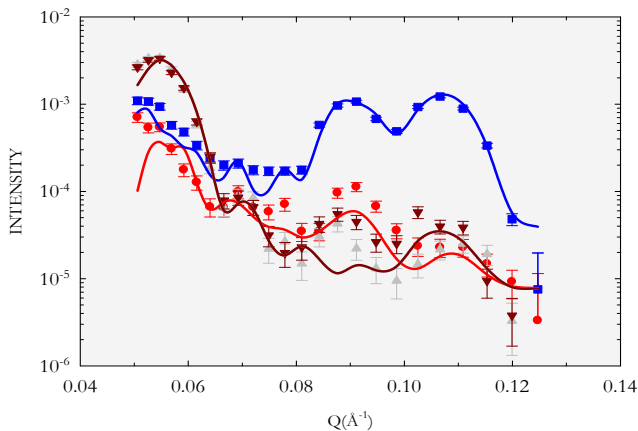
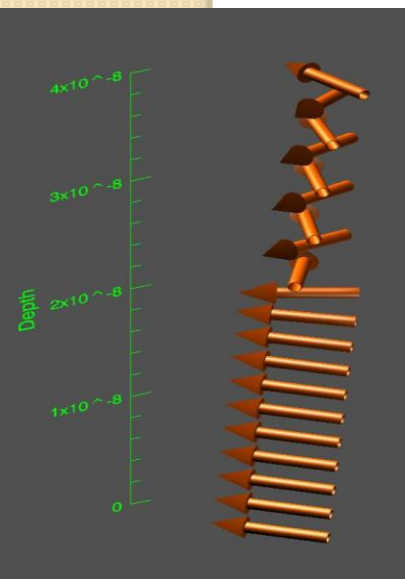
Medidas de magnetotransporte

Bastante útiles para ciertas multicapas.



Simulaciones/modelización

Nos permite simular y/o modelizar lo que tenemos e intentar ajustar nuestros datos experimentales al modelo propuesto.





Estudio del sistema GdCo/Co

Interés del sistema

El sistema Gd/Co presenta un canje antiparalelo entre el Gd y el Co



Sistema ferrimagnético artificial

T_C del Co y el Gd muy diferentes

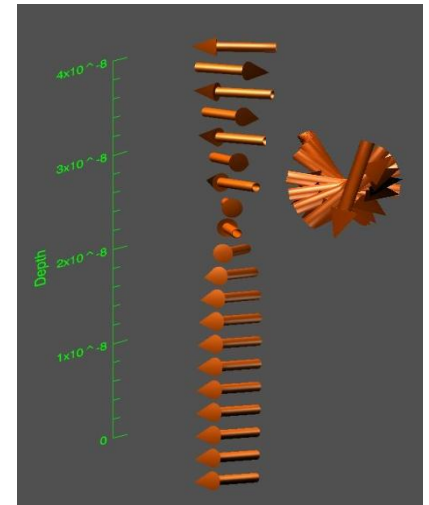
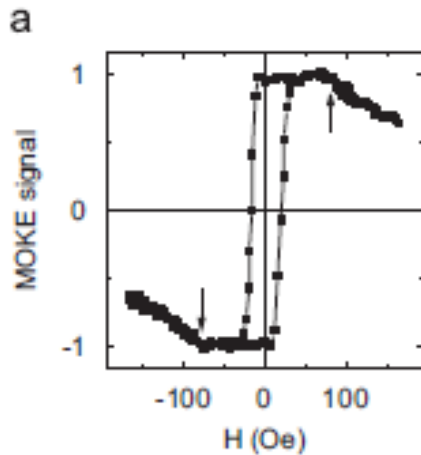
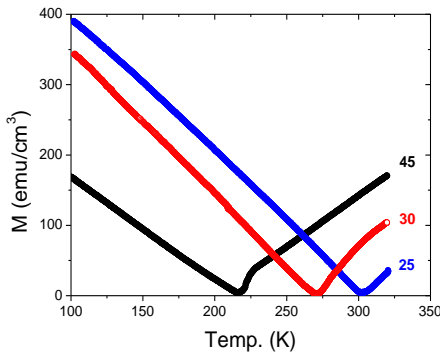


se tiene un mínimo de la imanación a una *temperatura de compensación* (dependiendo de los espesores relativos).

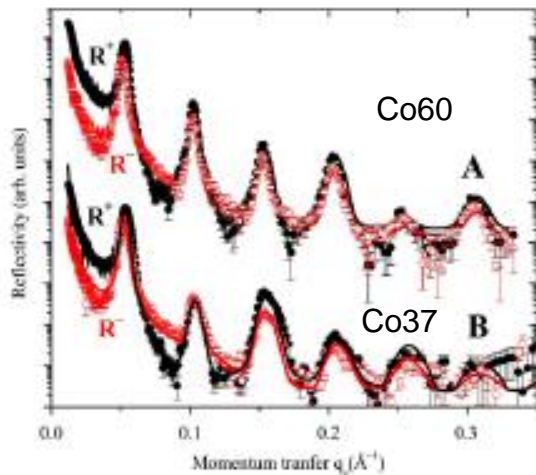
En las cercanías de esa T de compensación podemos tener estados magnéticos "twisted" (no colineales) tipo spin-flop o exchange-spring

Asimismo podemos tener un campo crítico a partir del cual los momentos magnéticos dejan de estar en la dirección del campo aplicado.

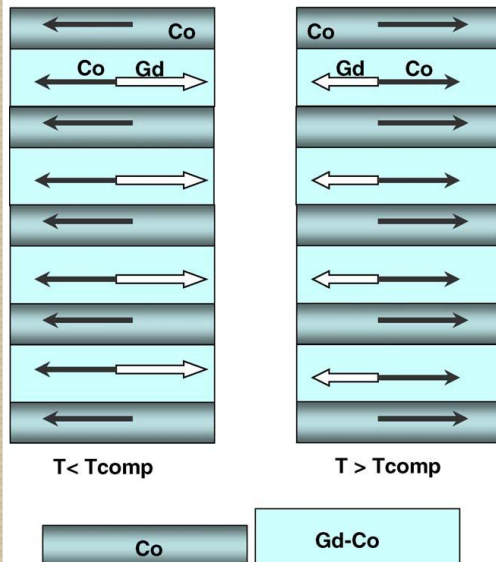
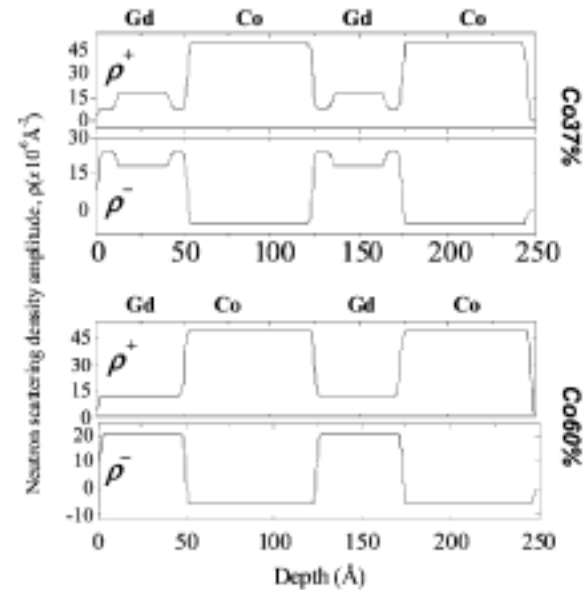
Como vemos, el sistema tiene apreciable interés desde el punto de vista magnético (para más información, mirar trabajos teóricos de Camley al respecto)



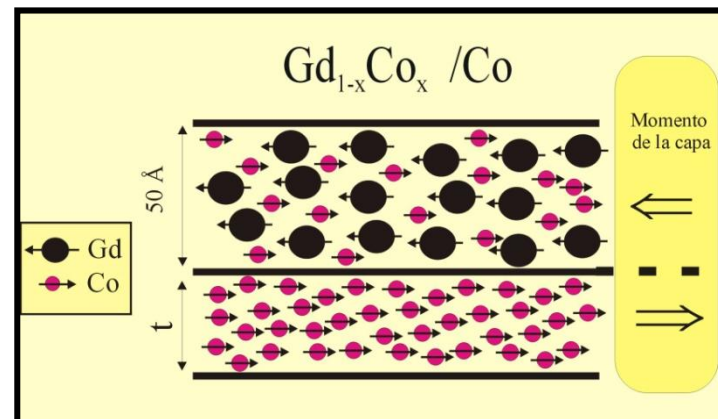
Ahora bien, existe una fuerte interdifusión entre el Co y el Gd, como ya estudió nuestro grupo mediante PNR.



J.A. González et al,
Physica B 345 (2004) 181–184

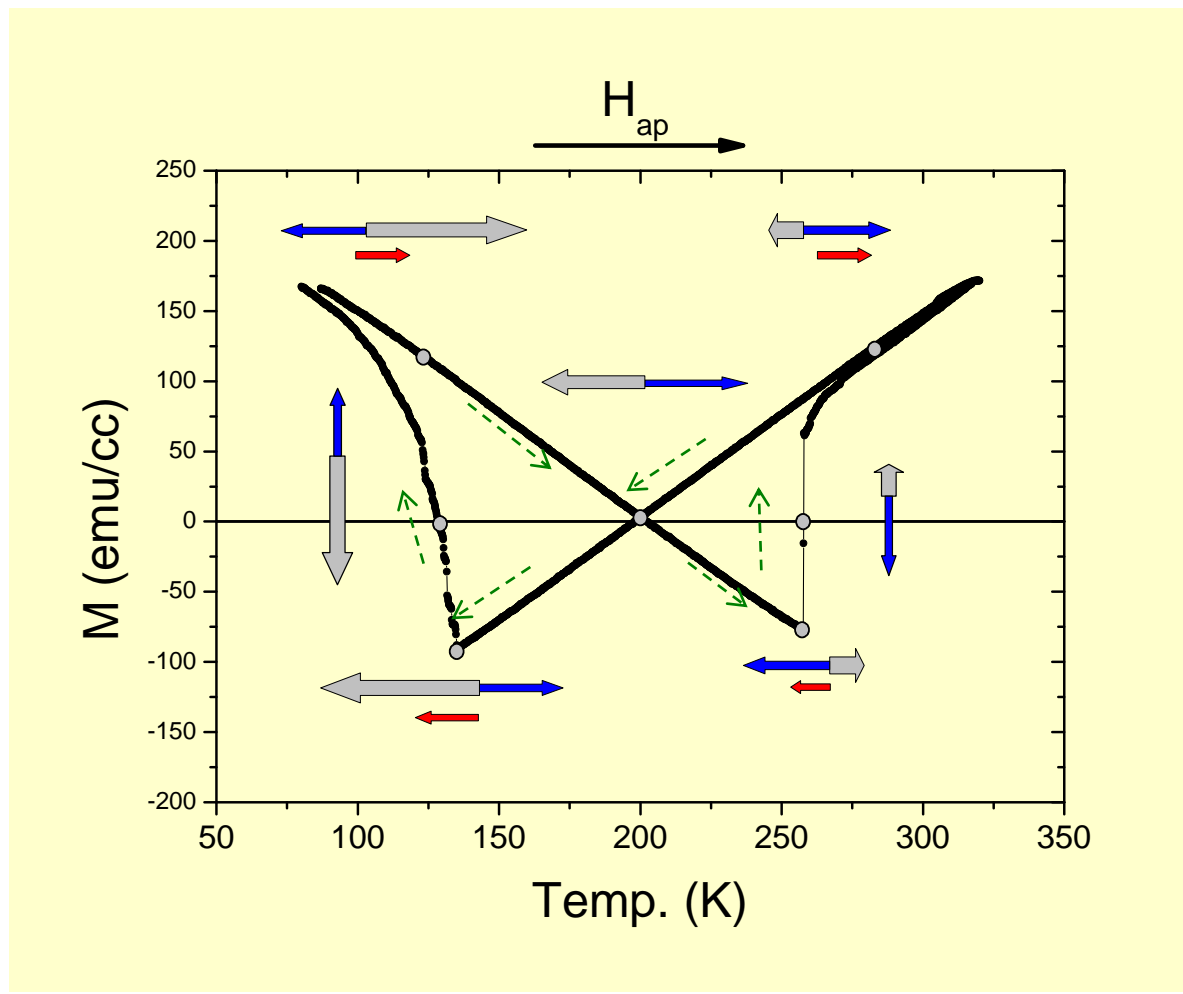
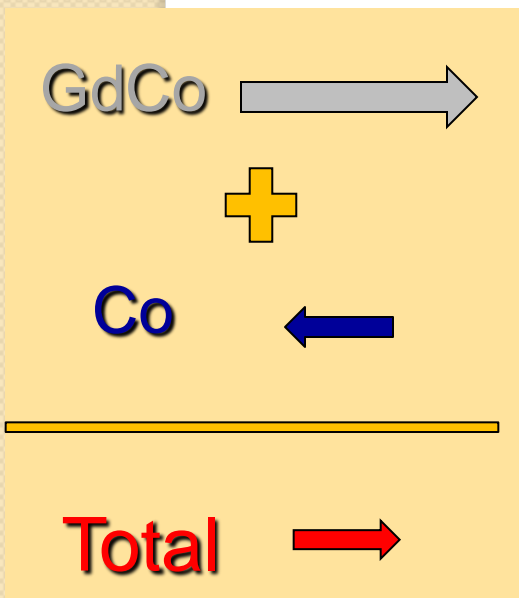


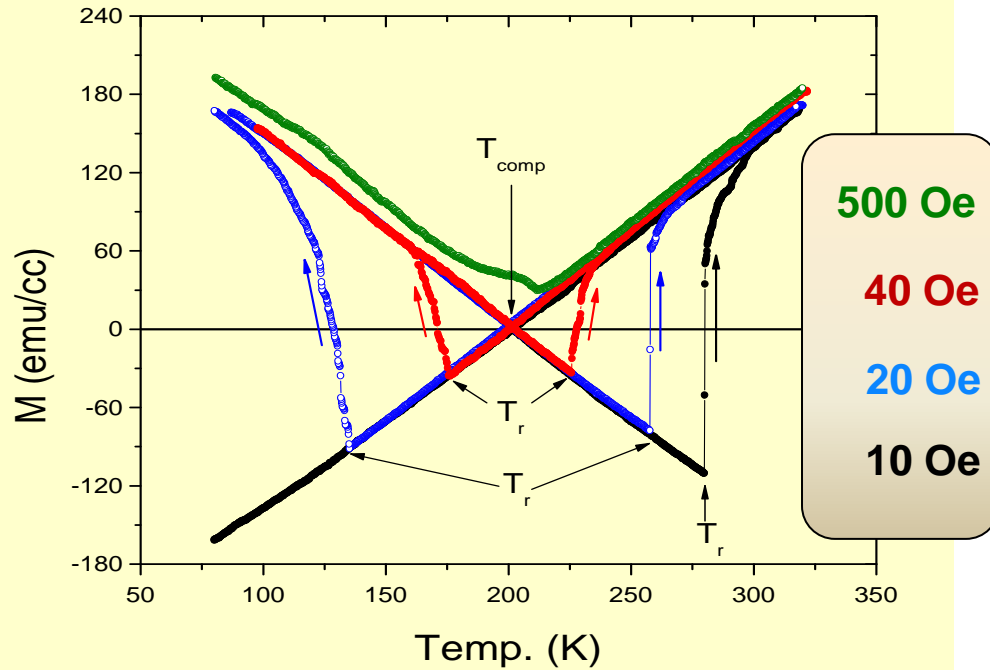
Por tanto, pasamos de dicho sistema al $Gd_{47}Co_{53}/Co$, ya que con esa aleación se mantiene el sistema ferrimagnético artificial pero con intercaras más nítidas y sin interdifusión.



Otro aspecto interesante que aparece en este sistema es la histéresis térmica:

Measurement sequence

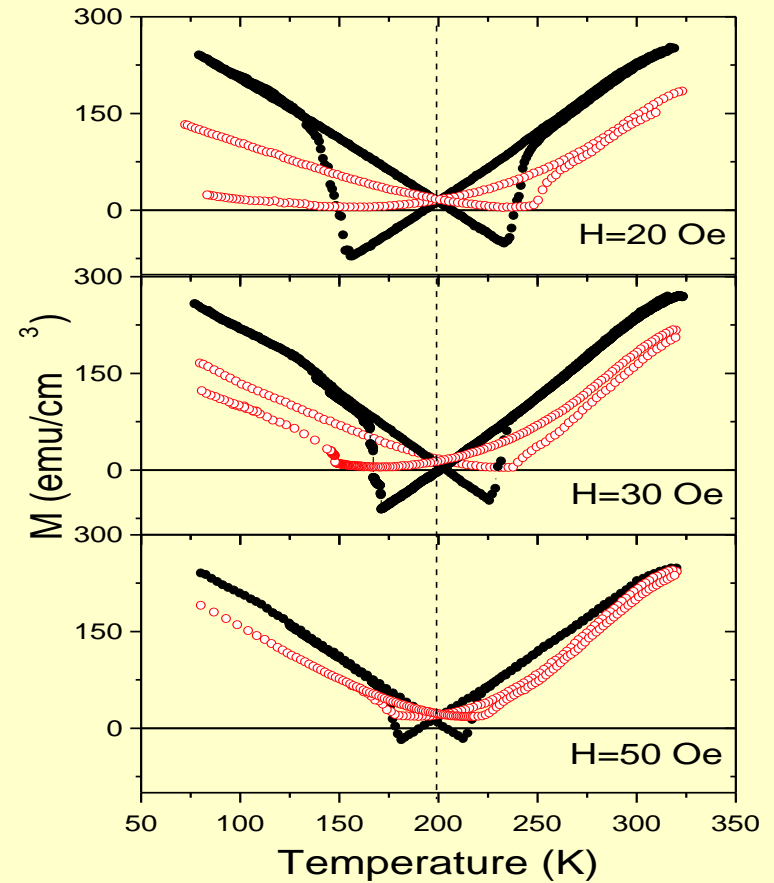




La histéresis térmica es muy sensible al:

- campo aplicado
- anisotropía magnética

J.P Andrés et al, PRB 77 (2008) 144407

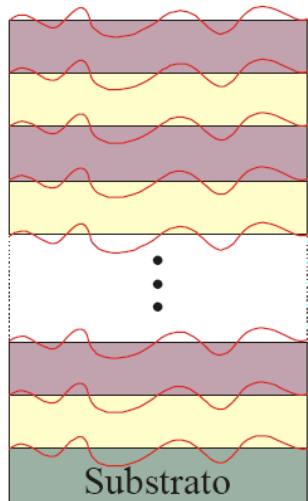
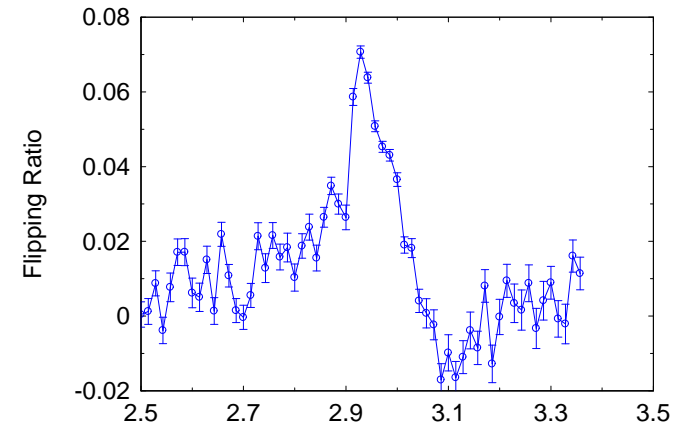
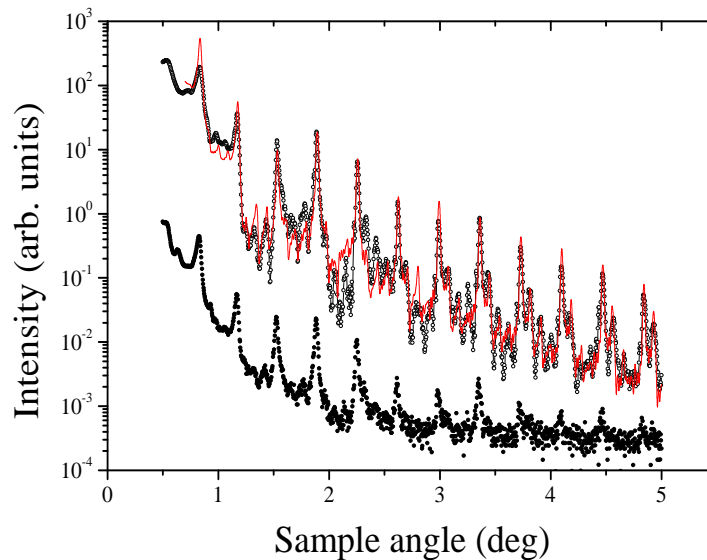


¿Qué tenemos?

- multicapas GdCo/Co obtenidas en nuestro sputtering
- Bien caracterizadas magnéticamente
- Caracterización estructural con reflectometría de rayos X (ESRF) evidenciando la correlación de las rugosidades
- Medidas de reflectometría de rayos X magnética resonante (Xmas, ESRF) en el borde del Gd

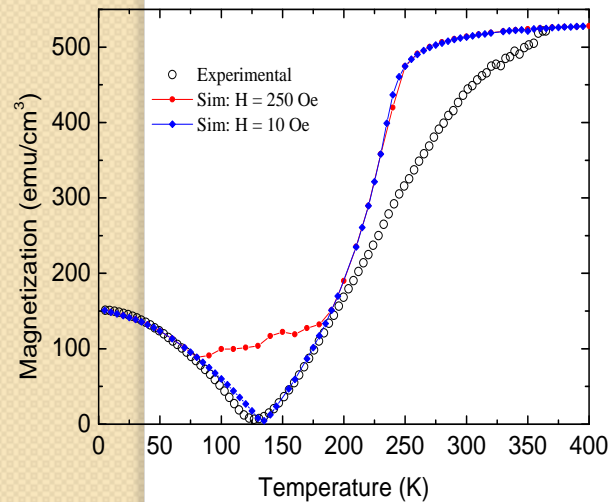


J.P Andrés et al, PRB 77 (2008) 144407

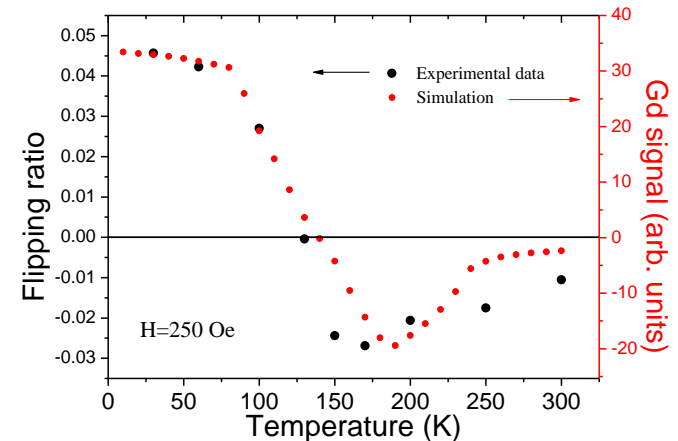


Simulaciones

- Realizamos unas simulaciones de las $M(T)$ de nuestras muestras
 - basándonos en los modelos de Camley,
 - con una cadena unidimensional de espines
 - interacciones de canje Co-Co, Co-Gd y Gd-Gd
 - efecto campo externo (Zeeman)
- Los resultados de las simulaciones no son totalmente satisfactorios
 - ➔ Hacen falta campos externos bastante menores de los reales

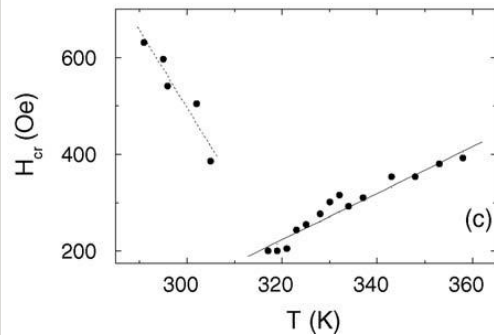
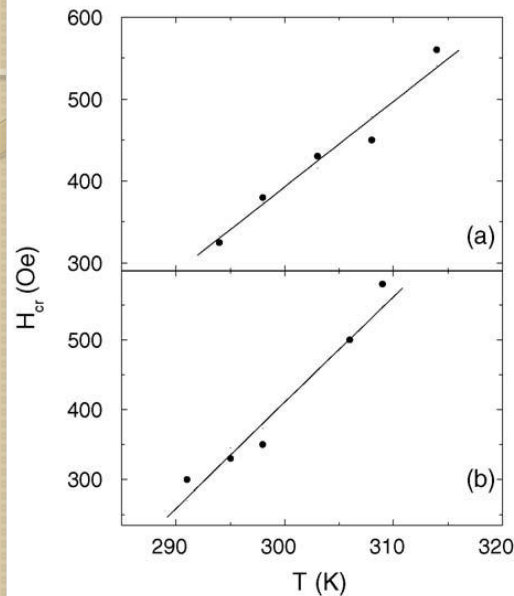


La simulación de la reflectividad magnética resonante también es mejorable

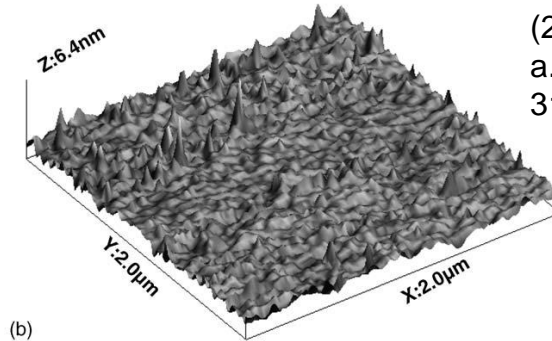
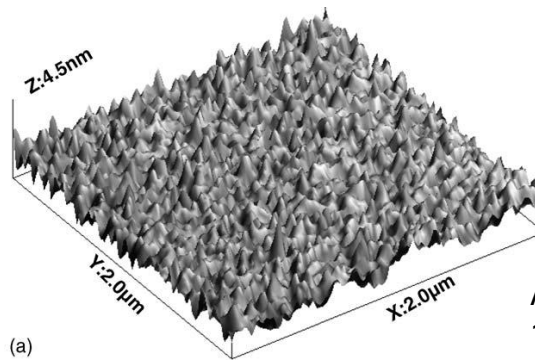


¿Sobrep parametrización?

Buscamos colaboraciones con expertos en simulación para completar estas simulaciones y extenderlas a la histéresis térmica (introduciendo el Hc)



Asimismo, si la colaboración/simulación sale bien, también se puede extender a los sistemas GdCo/X/Co (X espaciador no magnético) que estudian G. Kurlyandskaya y A. Svalov, de la UPV/EHU (y con los que colaboro años ha)



A.V. Svalov et al, Physica b 396 (2007) 113-116

A.V. Svalov et al, J. Alloys and Comp. 419 (2006) 25-31

a.v. svalov et al, Chin. Phys. Lett 22 (2005) 3169-72