

# Resumen

## Introducción al Espín Nuclear

TM Daniel Castro Acuña, MSc

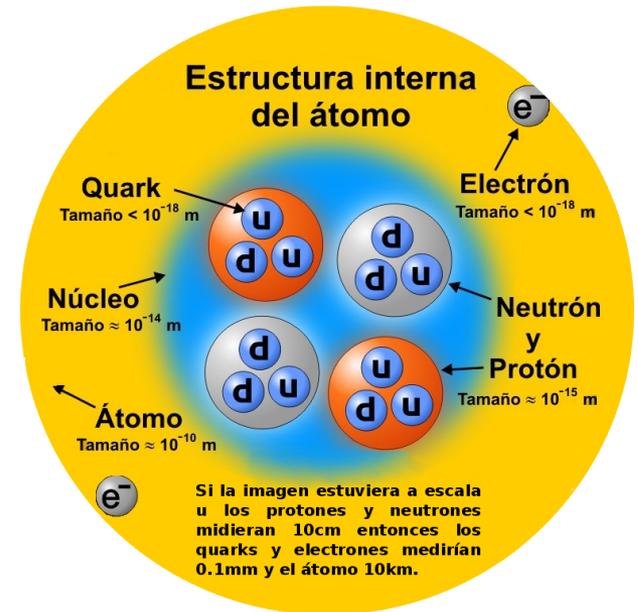
Centro de Imagenología

Hospital Clínico U de Chile

- Las imágenes en Resonancia Magnética se obtienen gracias a que algunos átomos del cuerpo humano presentan comportamiento magnético bajo la influencia de intensos imanes y campos magnéticos variables (ondas RF).

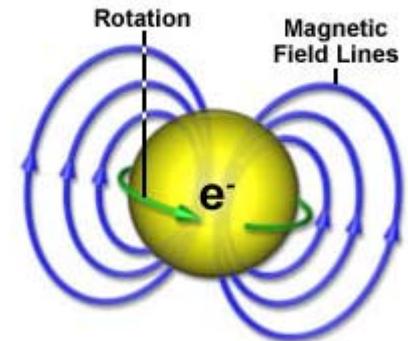
# El Espín

- El espín es una **propiedad intrínseca** de las sub-partículas atómicas (electrón, protón, neutrón).
- En el caso del **electrón** es una **propiedad fundamental**.
- Sin embargo, para **protones y neutrones**, el espín es una evidencia de su **estructura interna**.



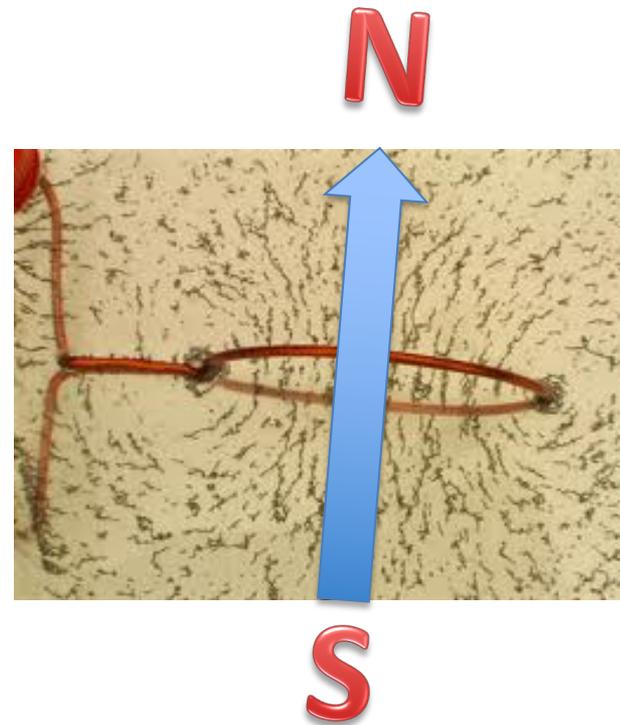
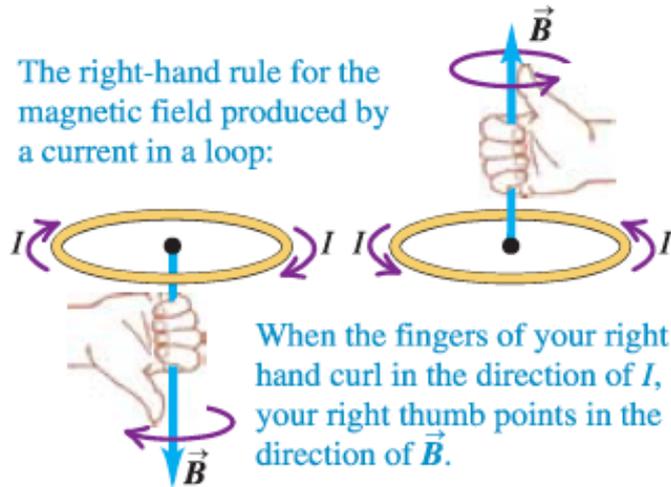
Momento magnético asociado al espín

$$\mu_s = \frac{q}{2m} \cdot S$$

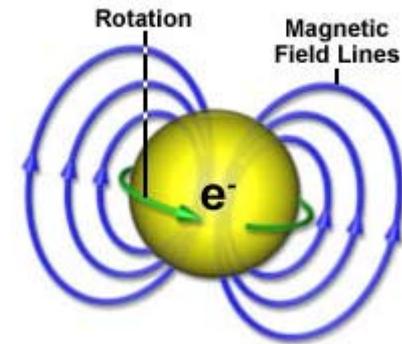
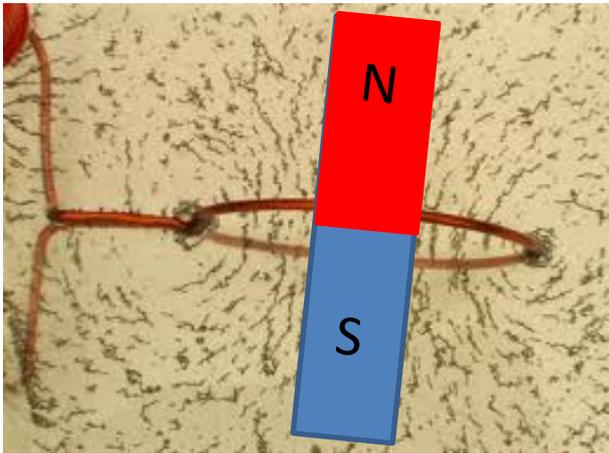


# Inducción Electromagnética

The right-hand rule for the magnetic field produced by a current in a loop:



# Momento Dipolar Magnético



$$\mu_B = 9,27 \times 10^{-24} \left( \frac{J}{T} \right)$$

Magnetón de Bohr

$$\mu_N = 5,05 \times 10^{-27} \left( \frac{J}{T} \right)$$

Magnetón Nuclear  $\longrightarrow$  1800 veces menor

- En Resonancia Magnética la información se obtiene específicamente a través del estudio del comportamiento del momento magnético de espín de los núcleos atómicos.

# Espín Nuclear

- En el caso del núcleo atómico, su valor de espín **depende de su composición** (Z y N).
- Su composición determina si **reaccionará** o no frente a la influencia de un campo magnético (B) externo.
- No todos los núcleos atómicos responden ante un B externo.
- A la potencia de los equipos de Resonancia Magnética Clínica, el núcleo responde magnéticamente **como un todo**.

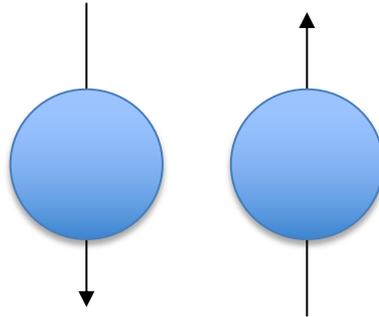
# Espín Nuclear

Nº protones	Nº neutrones	Espín nuclear	Ejemplos
Par	Par	0	$^{12}\text{C}$ , $^{16}\text{O}$
Par	Impar	Fraccionario	$^{17}\text{O}$
Impar	Par	Fraccionario	$^1\text{H}$ , $^{23}\text{Na}$ , $^{31}\text{P}$
Impar	Impar	Entero	$^2\text{H}$

Todo núcleo con **espín no nulo** ( $I \neq 0$ ) es **sensible** a RM

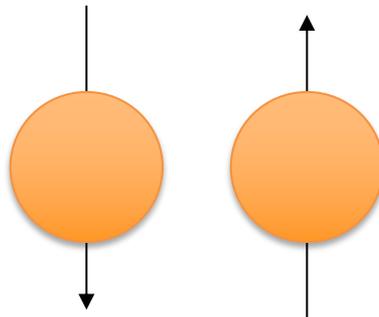
 Protones

 Neutrones



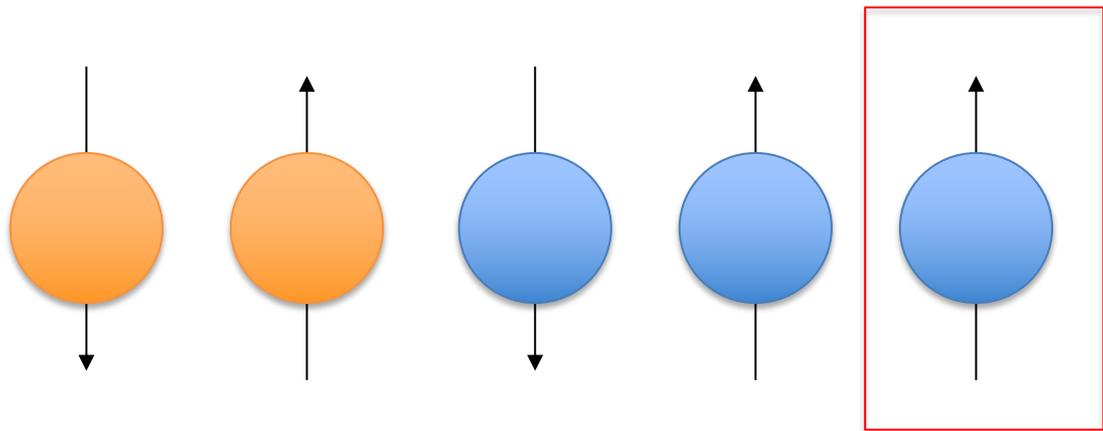
Par protones

$$I = 0$$
$$\mu_N = 0$$



Par neutrones

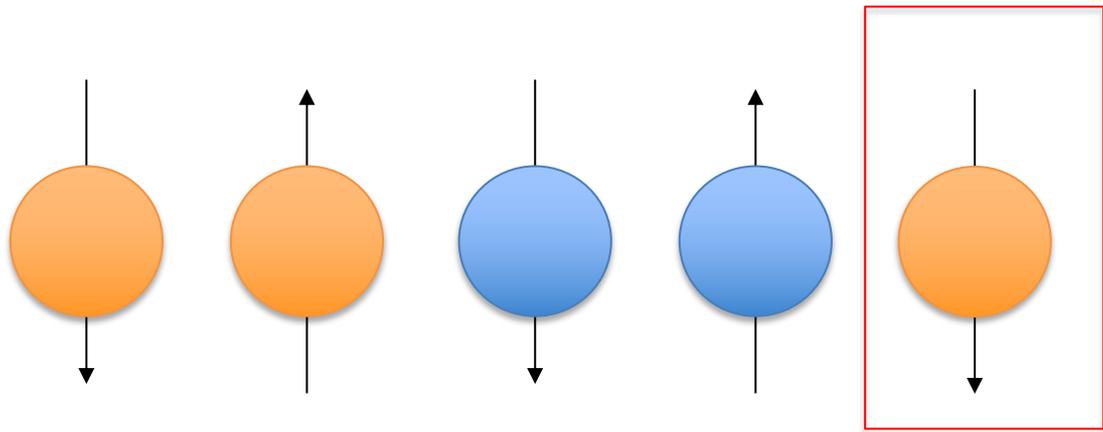
$$I = 0$$
$$\mu_N = 0$$



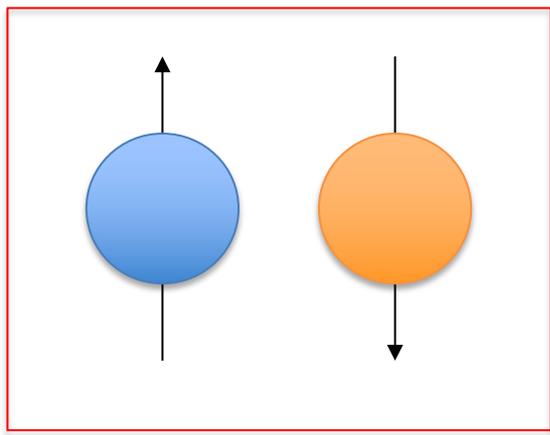
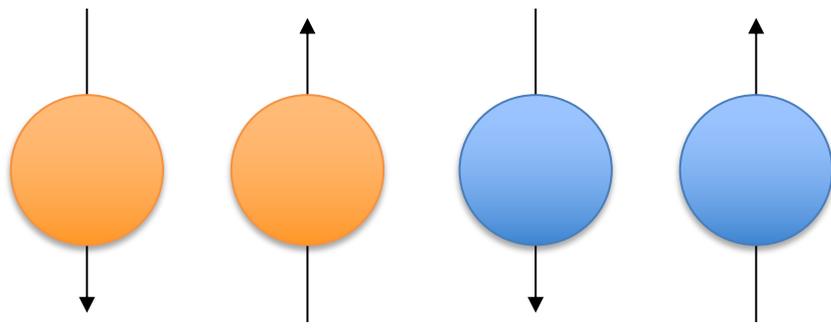
Protón desapareado

$$I = n/2$$

$$\mu_N \neq 0$$



Neutrón desapareado



$$I = n$$
$$\mu_N \neq 0$$

Protón desapareado

Y

Neutrón desapareado

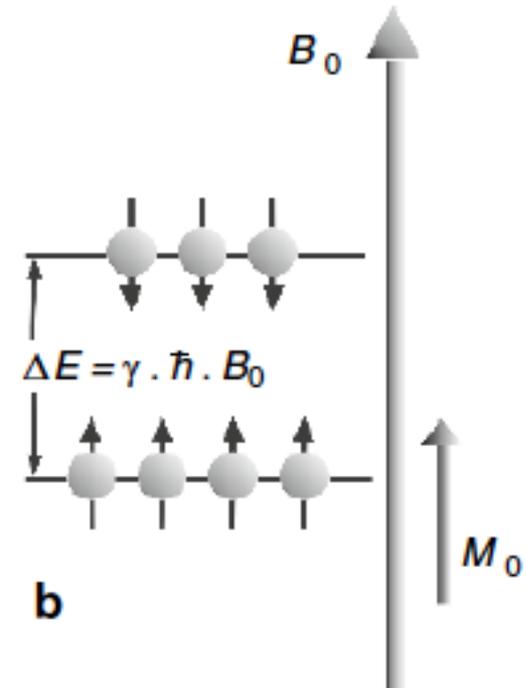
Elemento	Abundancia Biológica (%)	Isótopo más abundante	Espín Nuclear (I)	Nº orientaciones de (I) bajo B <sub>0</sub>
Hidrogeno (H)	63	<sup>1</sup> H	1/2	2
Oxigeno (O)	26	<sup>16</sup> O	0	-
Carbono (C)	9.4	<sup>12</sup> C	0	-
Nitrógeno (N)	1.5	<sup>14</sup> N	1	3
Fósforo (P)	0.24	<sup>31</sup> P	1/2	2
Calcio (Ca)	0.22	<sup>40</sup> Ca	0	-
Sodio (Na)	0.041	<sup>23</sup> Na	3/2	4

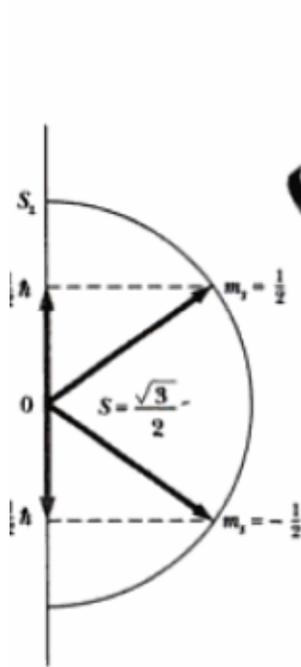
$$\# \text{ Orientaciones} = 2 \cdot I + 1$$

- El campo magnético del Resonador **tiene 2 efectos** sobre el momento magnético de espín total del núcleo atómico.

# Orientación de espín nuclear

1. **Orienta** momento magnético espín nuclear de acuerdo a las líneas de campo del imán externo.
  - El número de orientaciones que depende de  $2 * I + 1$ .
  - En el caso del núcleo de Hidrógeno, el número de orientaciones posibles es **solo 2** ( $I_{\text{protón}} = \frac{1}{2}$ ).
  - Esto implica una **diferencia de energía** entre ambos estados.
  - Si se quiere alterar el número de núcleos en cada orientación, **DEBE** aportarse energía.





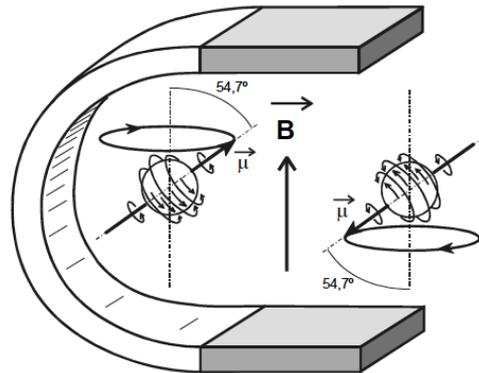
Espín Up - Paralelo



Espín Down - Antiparalelo

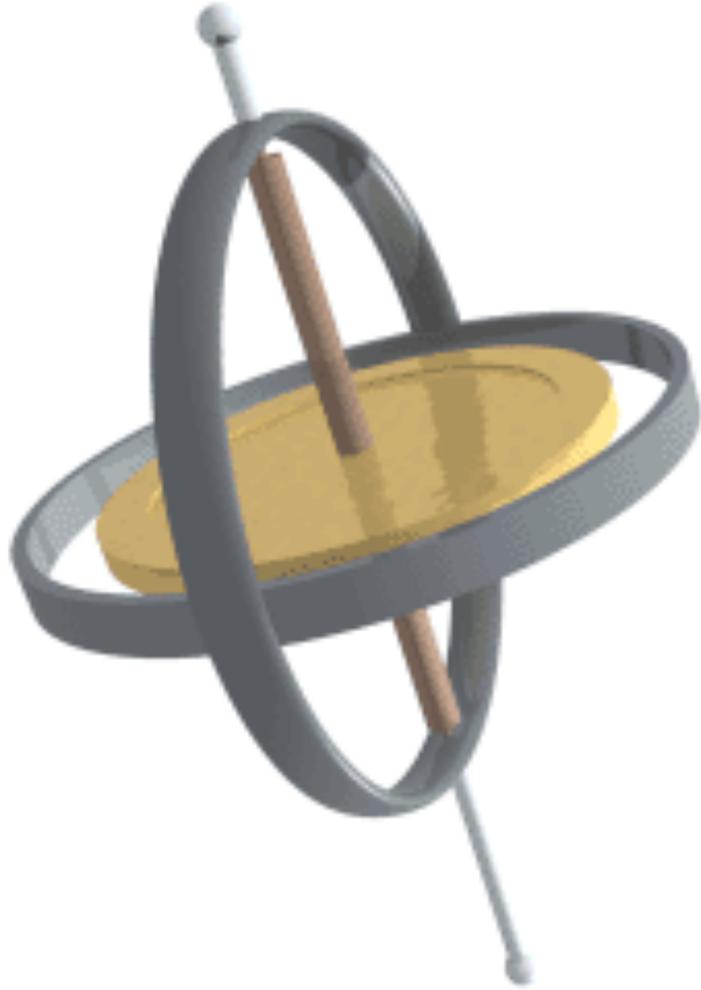
# Precesión

2. Se genera una fuerza de torca que obliga al momento magnético de espín nuclear a **PRECESAR** alrededor de las líneas de campo.
- La frecuencia de precesión **DEPENDE** de la intensidad de B según la denominada Ley de Larmor.



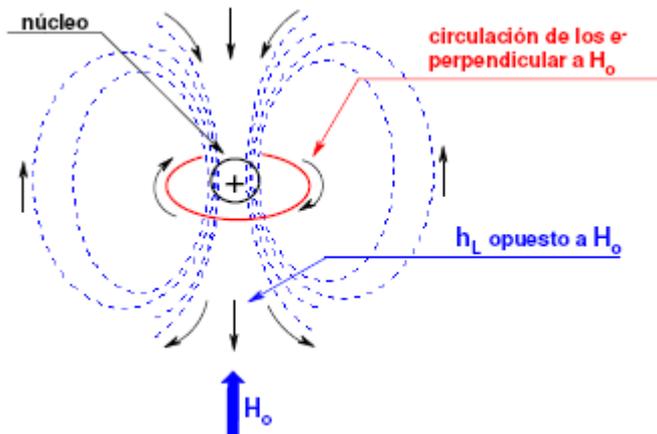
Elemento	$\gamma$ (MHz/T)	$f_L$ a 1,5 T (MHz)
$^1\text{H}$	42,6	63,9
$^{13}\text{C}$	10,7	16,1
$^{14}\text{N}$	3,1	4,6
$^{19}\text{F}$	40,1	60,1
$^{23}\text{Na}$	11,3	16,9
$^{31}\text{P}$	17,2	25,9
$^{39}\text{K}$	2,0	3,0

$$\omega_L = \gamma * B$$



# Apantallamiento Magnético

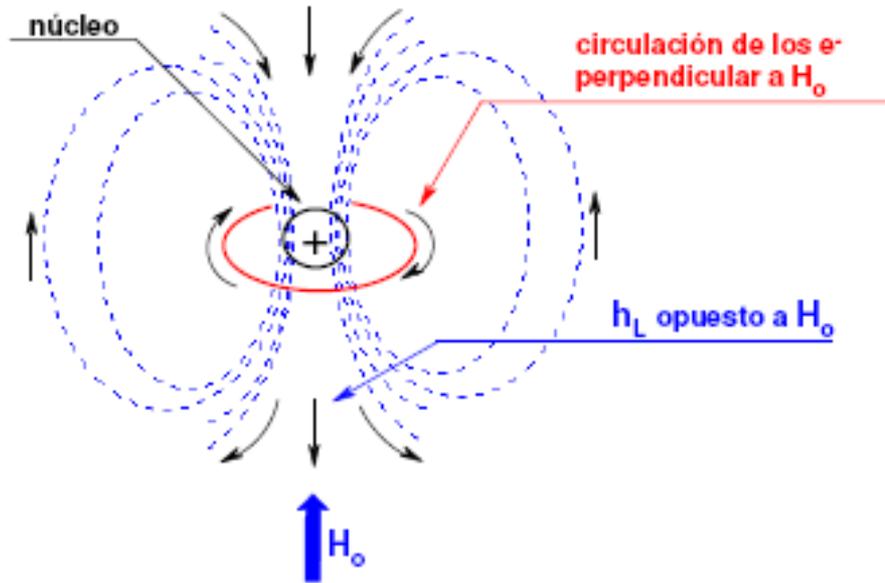
- La intensidad del campo magnético del Resonador que puede **percibir** un núcleo atómico en particular, depende de su **ENTORNO BIOQUÍMICO**.
- Esto se debe a que el momento magnético de los electrones **APANTALLA** el campo magnético que efectivamente alcanza un determinado núcleo atómico.



$$B = B_{Ext} * (1 - \sigma)$$

$\sigma$ : Constante de apantallamiento (shielding o screening constant)

# Apantallamiento Magnético



$$B = B_0 + B_{Gra} + B_{Bioq}$$



$$B = B_{Ext} + B_{Bioq}$$

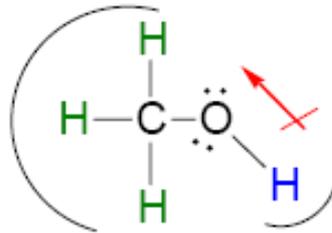


$$B = B_{Ext} * (1 - \sigma)$$

# Apantallamiento Magnético

- Esto implica que núcleos de igual tipo pueden **precesar a distintas frecuencias** si están en entornos **bioquímicos diferentes** incluso bajo el mismo campo magnético externo.

más apantallados:  
absorben a campo más alto

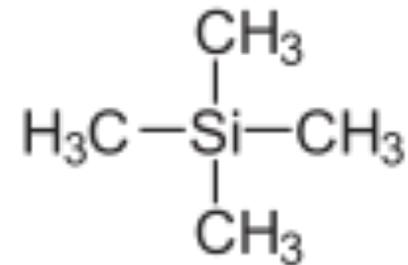


menos apantallado:  
absorbe a campo más bajo

# Apantallamiento Magnético

- Esto se puede cuantificar a través de la **Escala Delta** o **Escala de Apantallamiento Magnético**.
- Esta escala está referida a un patrón de comparación denominado Tetrametilsilano (TMS).

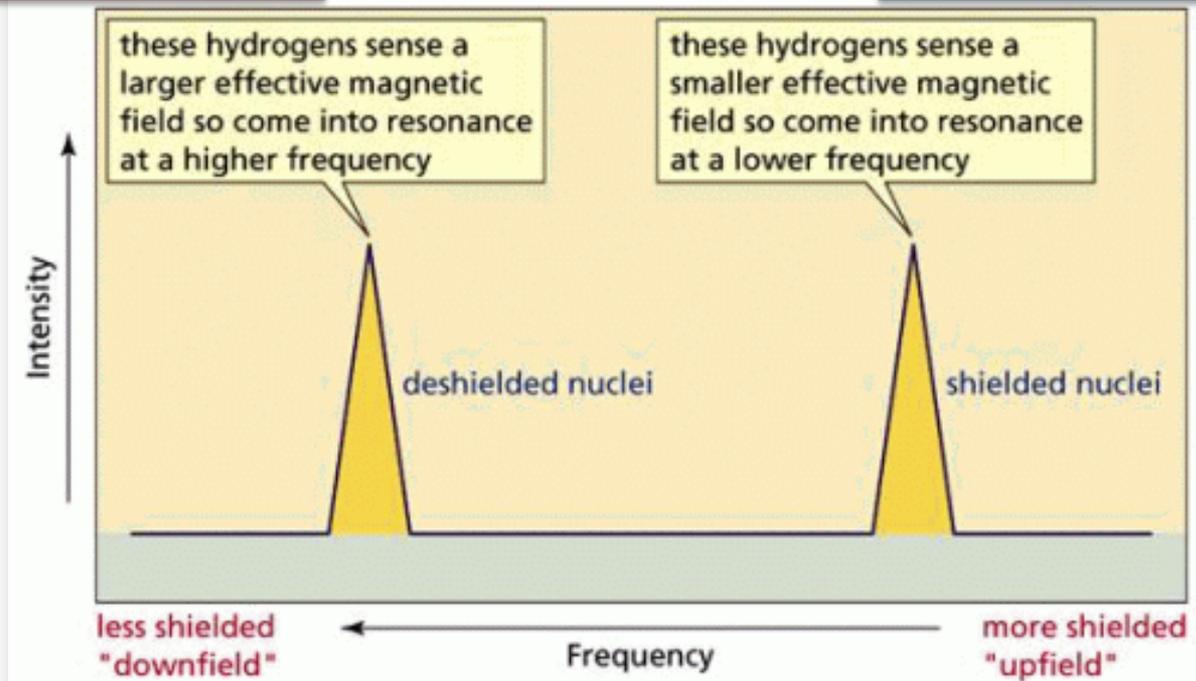
$$\delta \text{ (ppm)} = \frac{\nu_{\text{muestra}} - \nu_{\text{referencia}}}{\nu_{\text{referencia}}} \times 10^6$$



# Apantallamiento Magnético

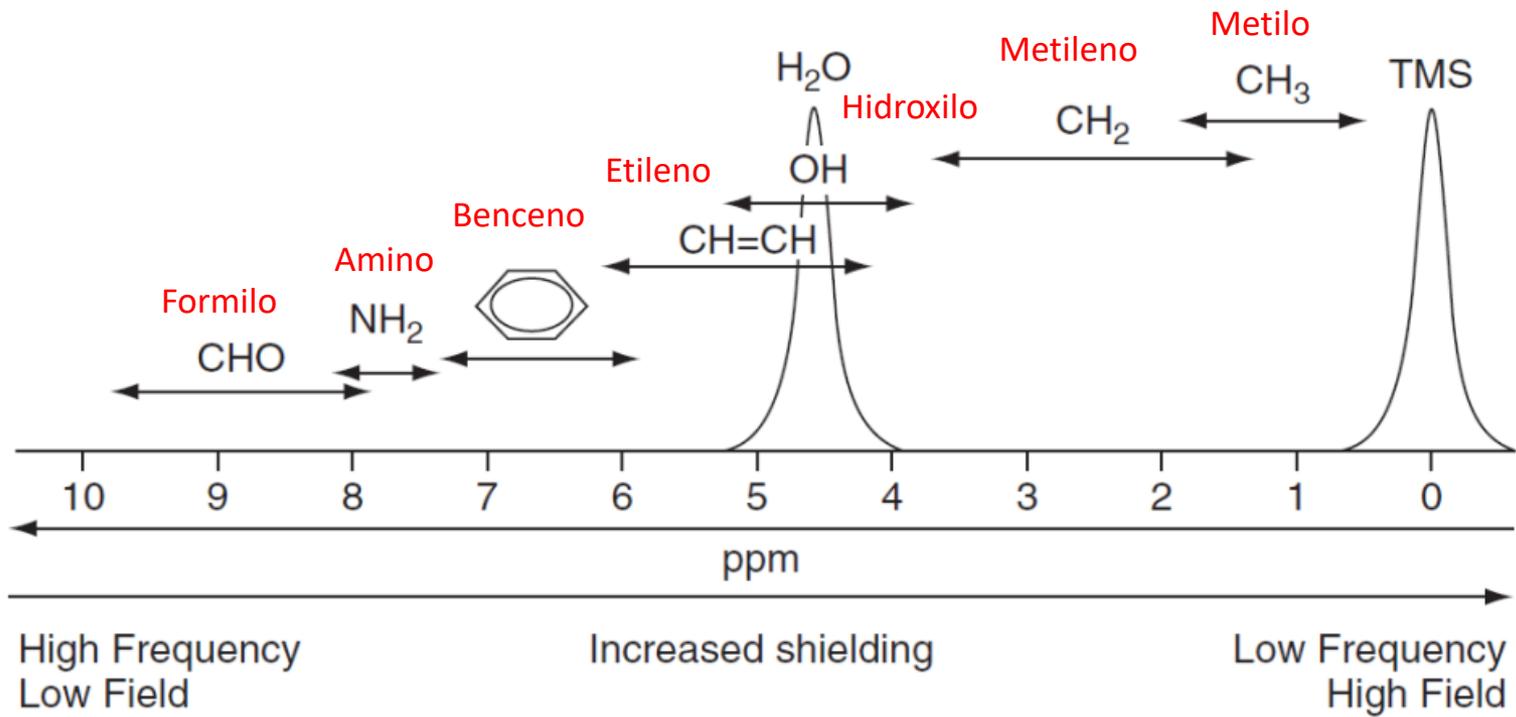
Perciben un mayor B  
Mayor frecuencia de precesión

Perciben un menor B  
Menor frecuencia de precesión

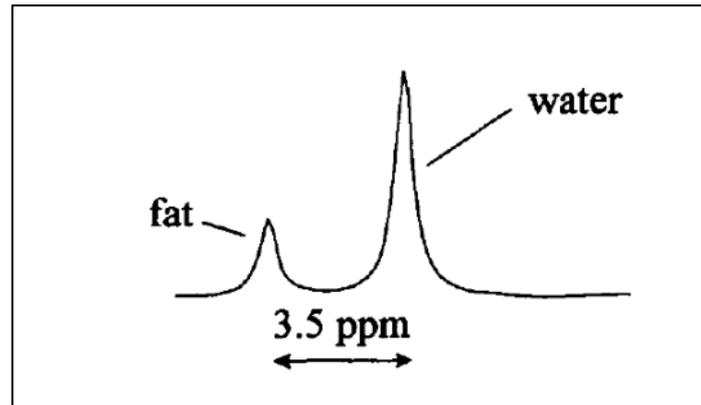


Menos apantallado  
 $B_{\text{bioq}}$  bajo

Más apantallado  
 $B_{\text{bioq}}$  alto



# Desplazamiento Químico



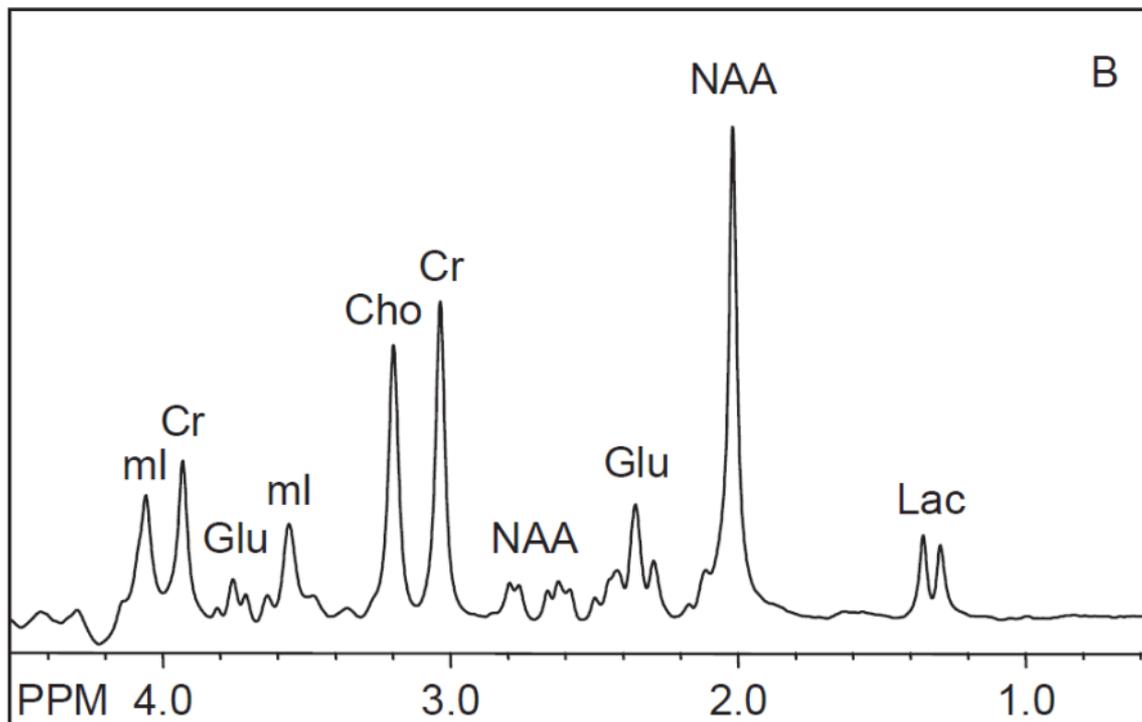
Desplazamiento  
en frecuencia  
(Hz)

$$\Delta f = \delta * \omega_0$$

Desplazamiento de la  
frecuencia de resonancia  
(ppm)

Frecuencia de  
Precesión Central (MHz)

# Desplazamiento Químico



**GRACIAS POR SU ATENCIÓN**