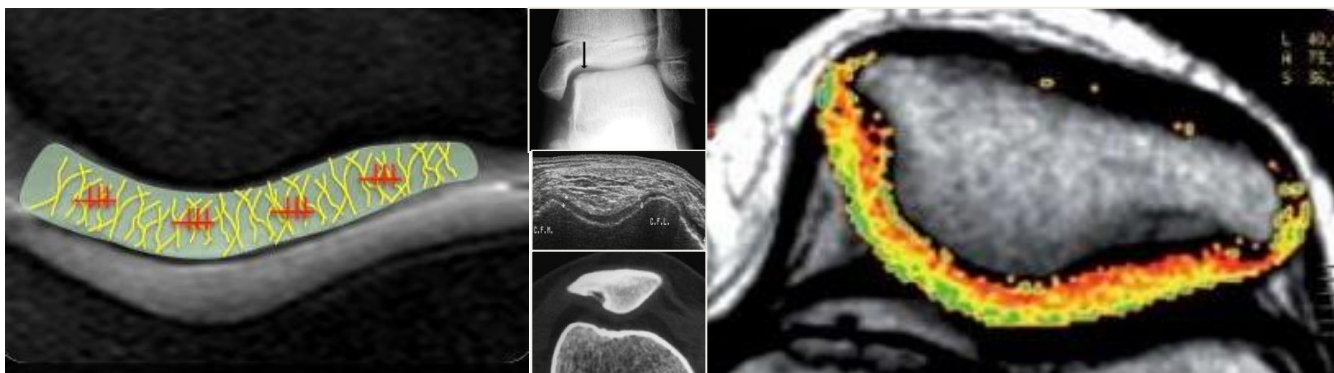




## V CONGRESO CUBANO DE IMAGENOLOGÍA



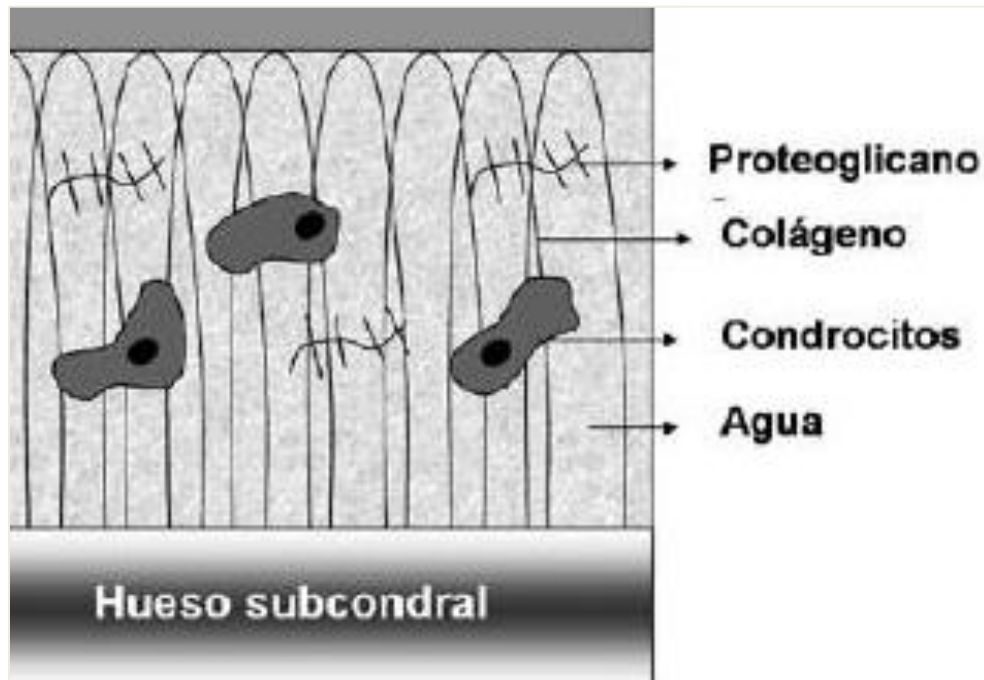
# Imagenología en la evaluación del cartílago hialino.



Prof. Jorge L. Hdez. Castro. Ms.C.  
Dra Claudia Hdez. Ariosa.

# **INTRODUCCIÓN**

# Cartílago hialino



## Composición:

Condrocitos: 1%

Agua: 65-80%

Colágeno tipo II: 40%

Proteoglicanos: 15%

# Cartílago articular: Evaluación por resonancia magnética

**Dr. Gonzalo Delgado P.**

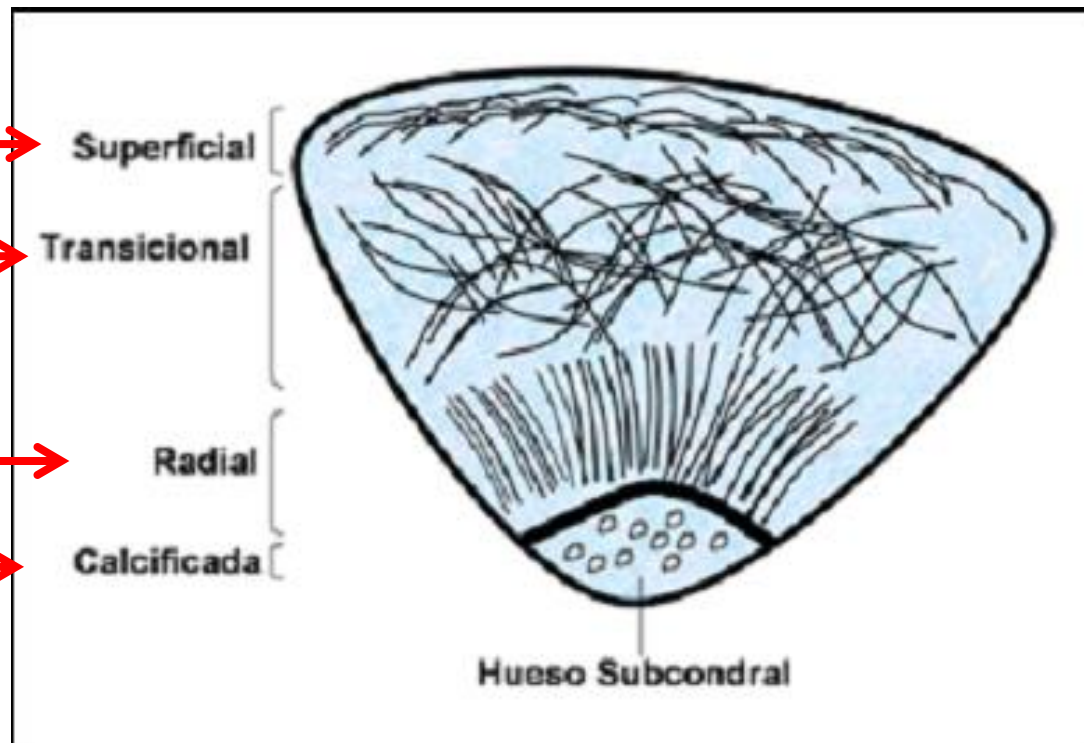
*Médico Radiólogo. Departamento Imágenes, Clínica Alemana de Santiago. Chile.  
Facultad de Medicina Clínica Alemana – Universidad del Desarrollo. Chile.*

**Fib.CA paralelas a Sup  
10-20%**

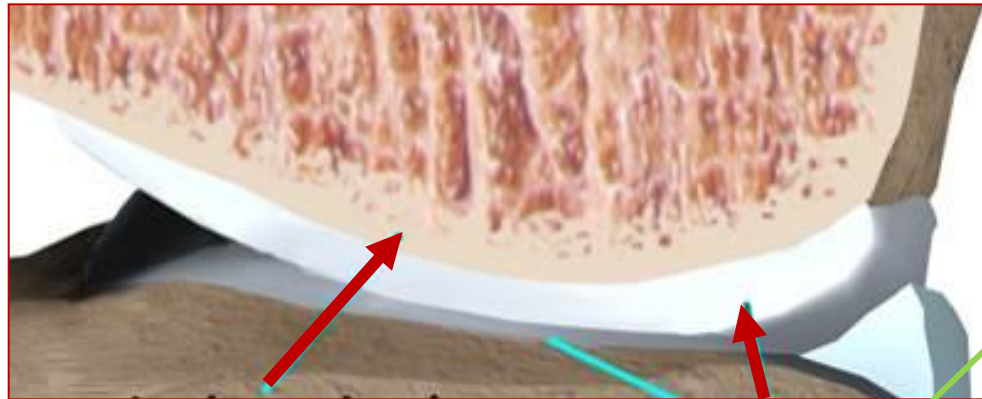
**Fib.CA dispos.  
Aleat. 40-60%**

**Fib.CA dispos.rad.  
más compacta**

**Fib.CA. se une al  
hueso**



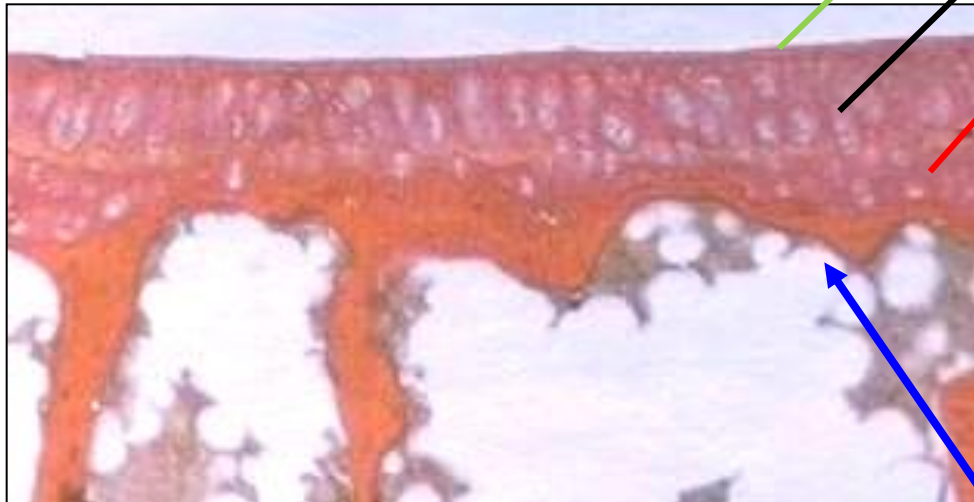
# Cartílago hialino



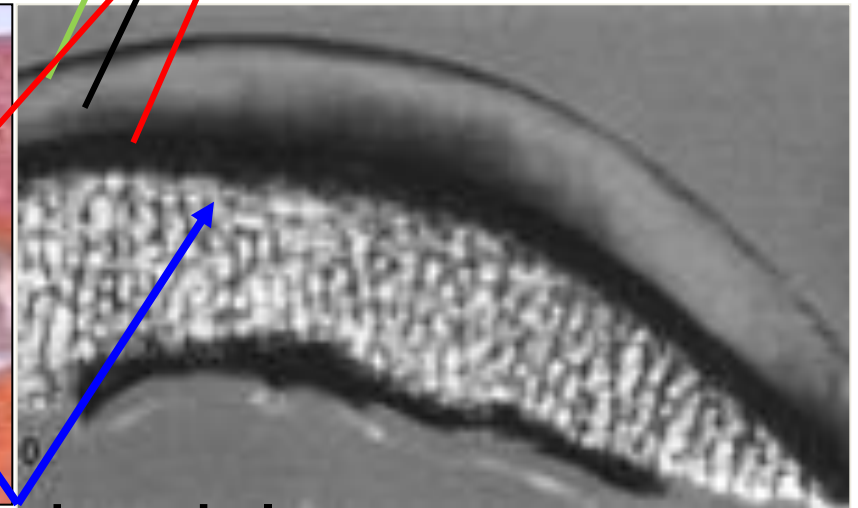
Hueso subcondral

Cartílago

- { Zona Superficial 20%
- { Zona Transicional 50%
- { Zona Radial 30%



Hueso subcondral



# Modalidad diagnóstica

- ❑ Radiografías
- ❑ Ecografía
- ❑ Tomografía computada
- ❑ Artro TAC\*
- ❑ **IRM bajo campo**
- ❑ **Artro IRM\***
- ❑ **IRM alto campo**



Evaluación cualitativa



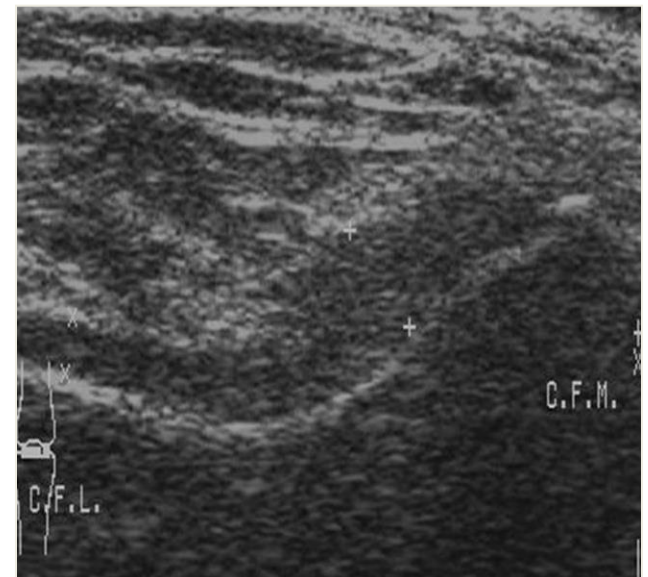
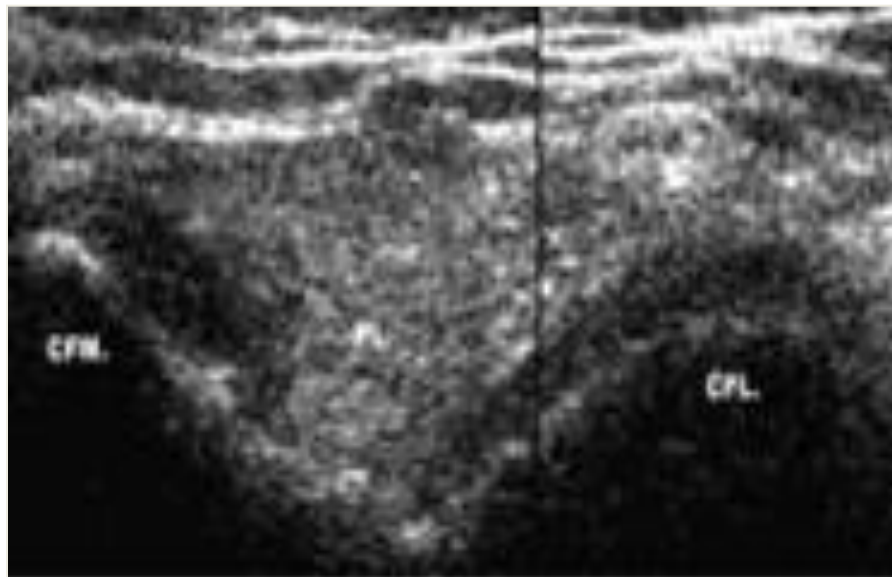
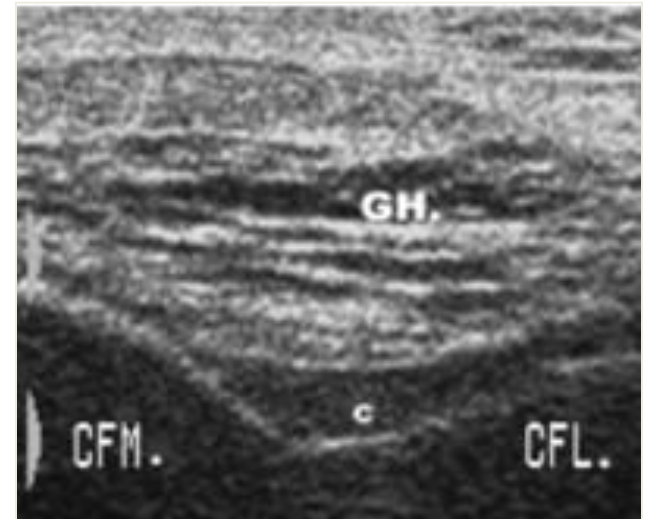
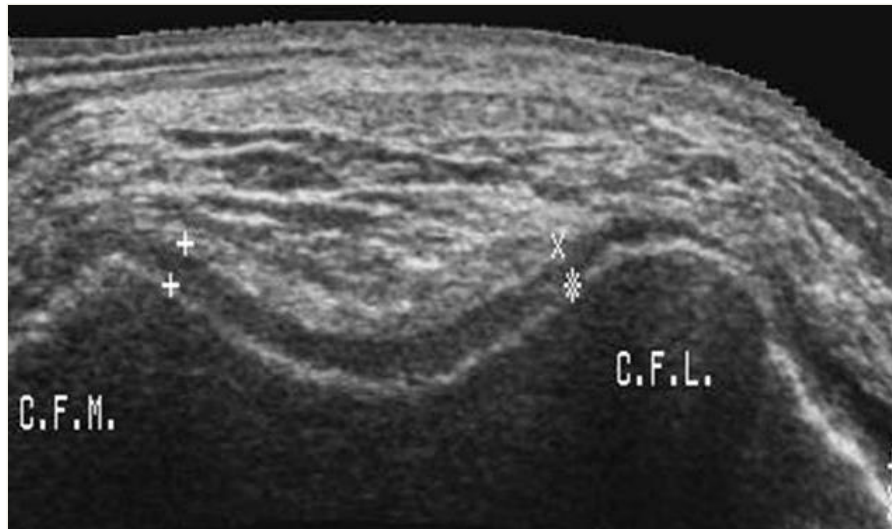
Evaluación cualitativa y cuantitativa\*

# Radiografías



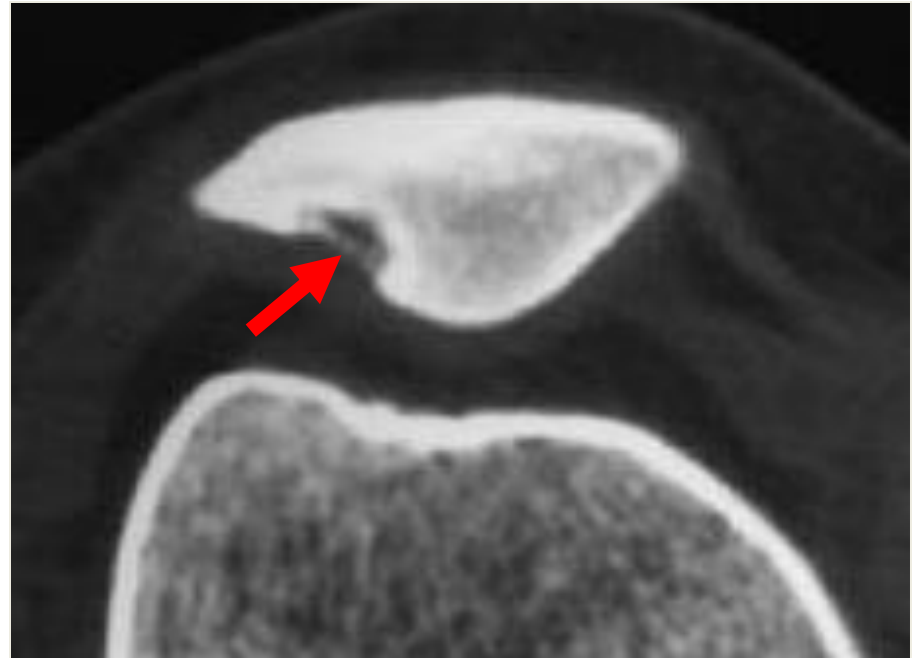
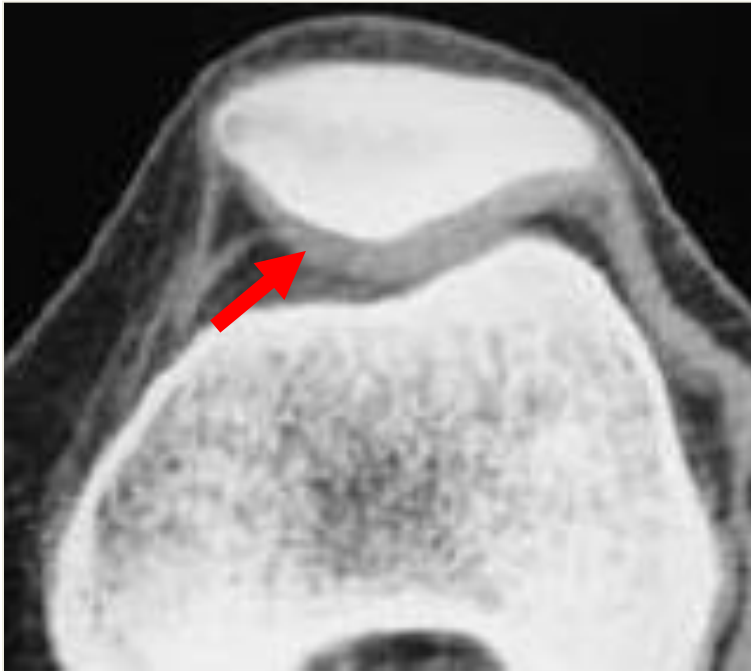


# Ecografía



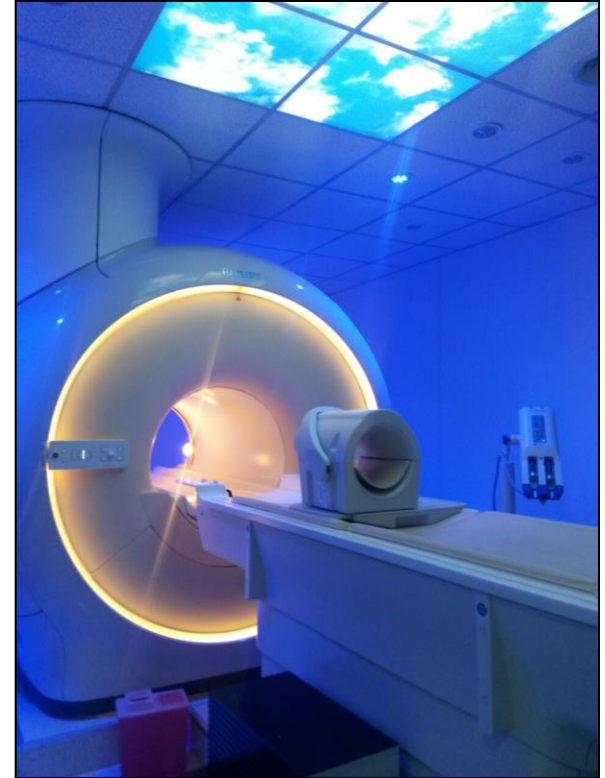


# TAC



# Resonancia magnética

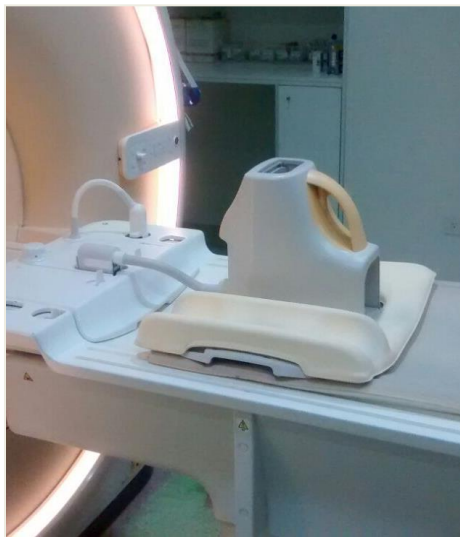
- **Método de elección**
- **No invasivo**
- **Análisis de propiedades:**
  - **Morfológicas**
  - **Estructurales**
  - **Bioquímicas**
  - **Edema subcondral**



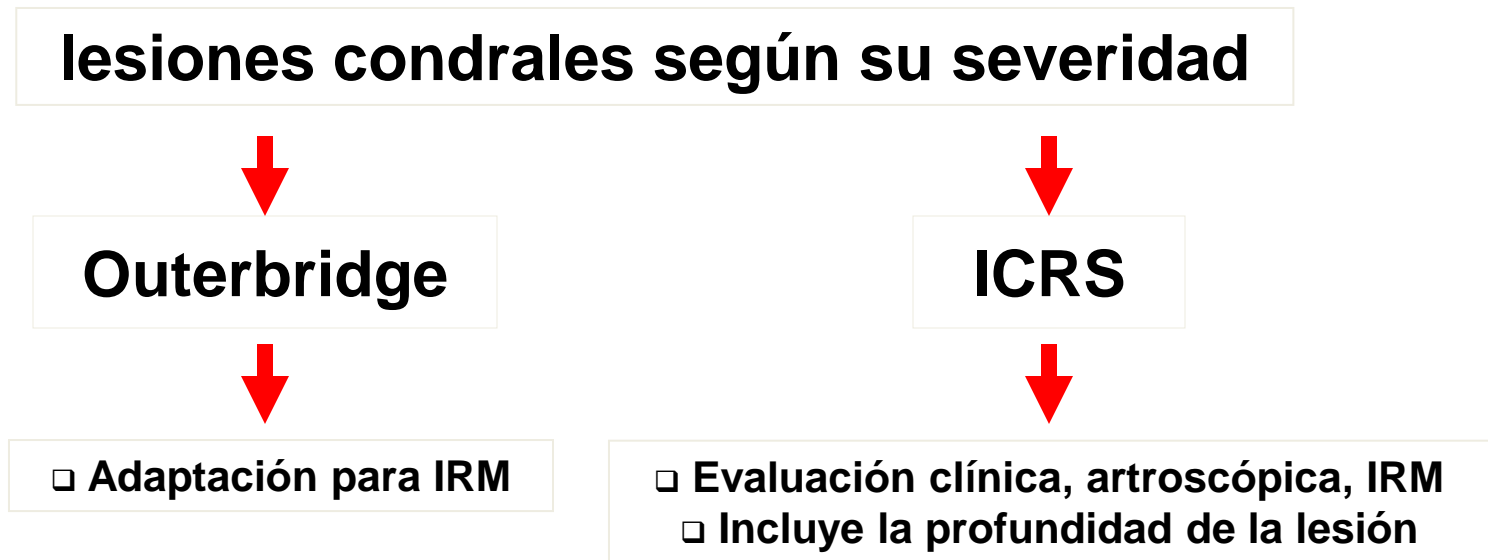
**RM de alto campo!!...**

**Cortes finos, alta resolución espacial y buena señal de imagen**

# Relación señal-ruido



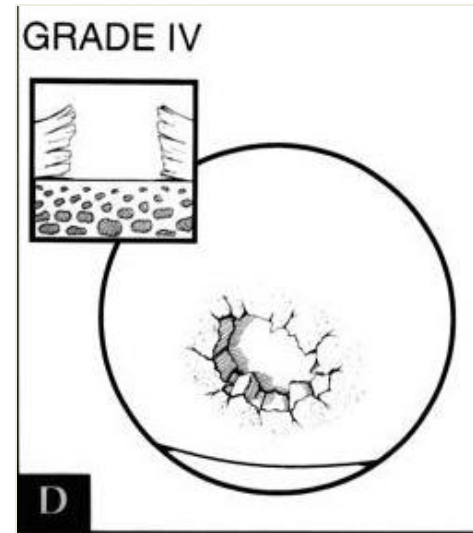
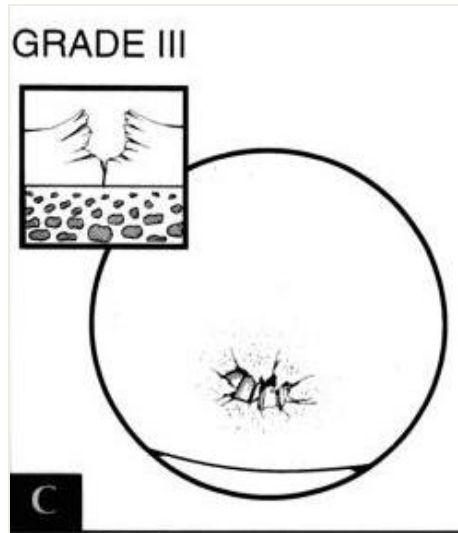
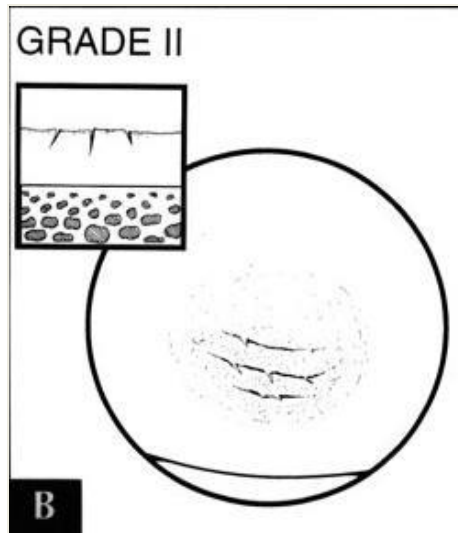
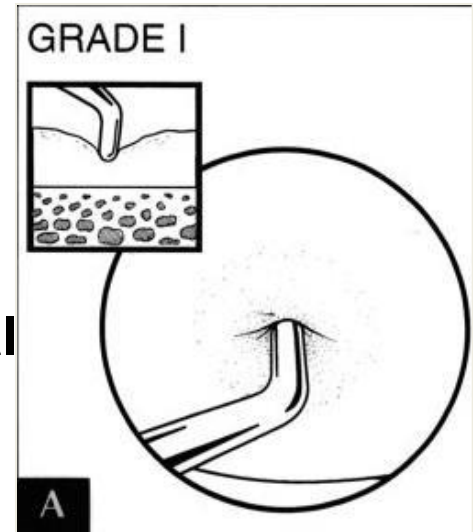
# Clasificación de lesión condral



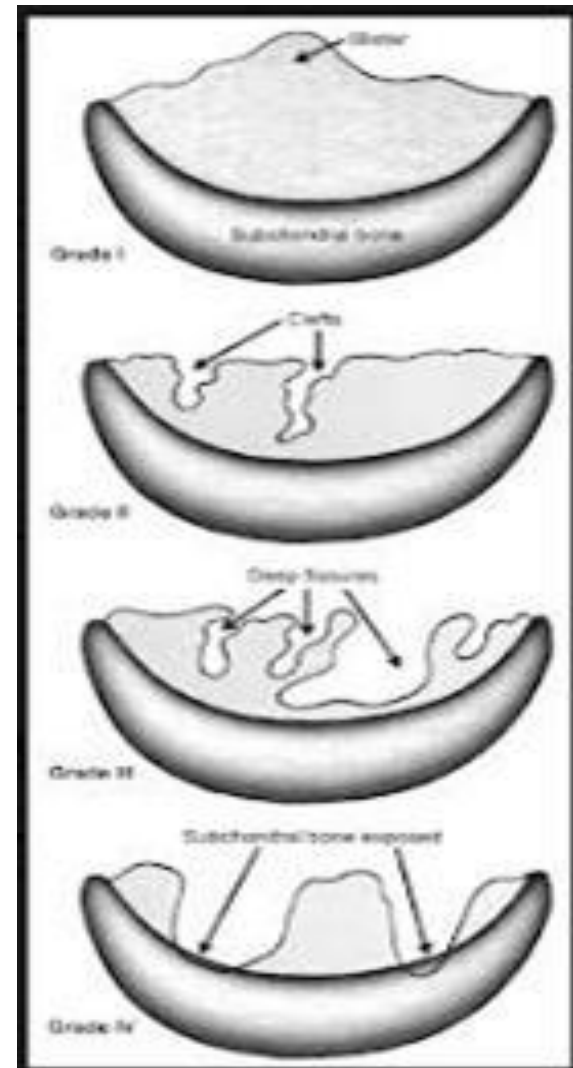
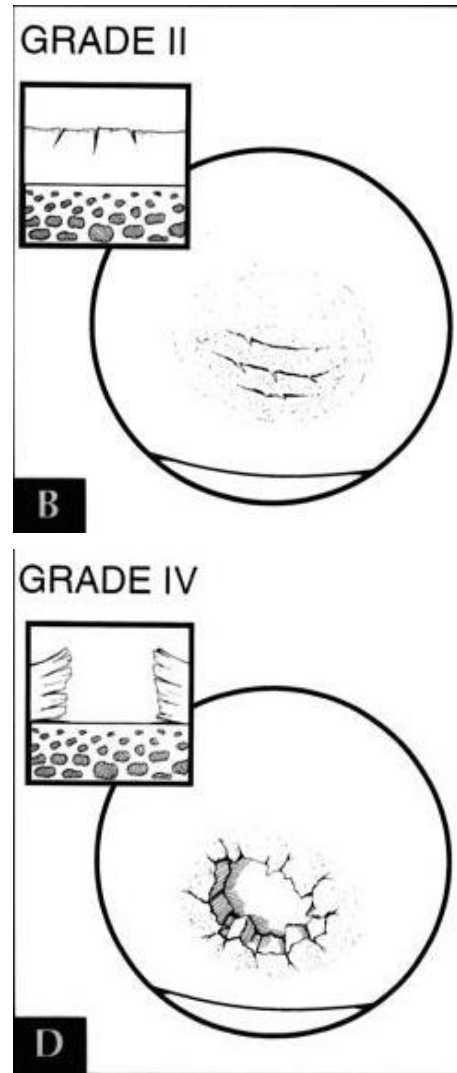
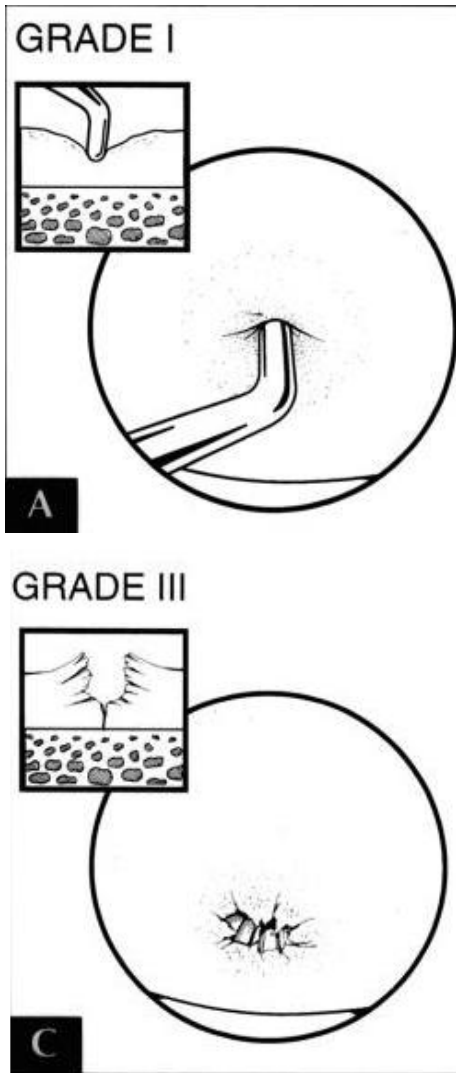
ICRS: International Cartilage Repair Society

# Según Outerbridge (artroscópica)

- ❑ **Grado I:** reblandecimiento.
- ❑ **Grado II:** fibrilación  $< 1.3 \text{ cm}^2$ .
- ❑ **Grado III:** fisuración  $> 1.3 \text{ cm}^2$ .
- ❑ **Grado IV:** exposición del hueso subcondral

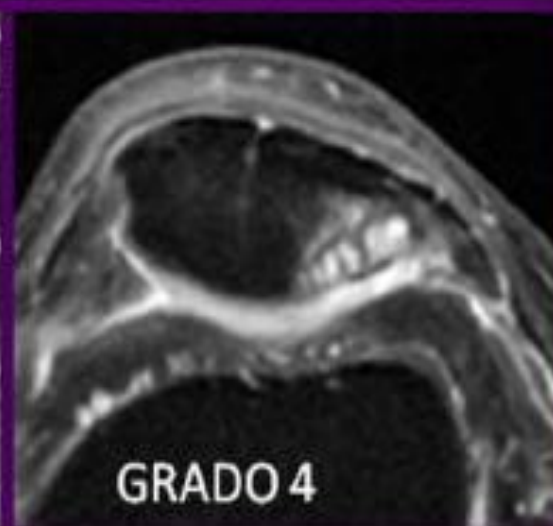
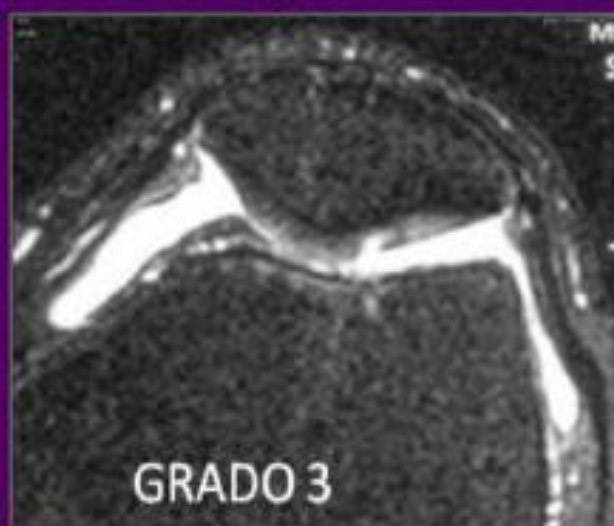
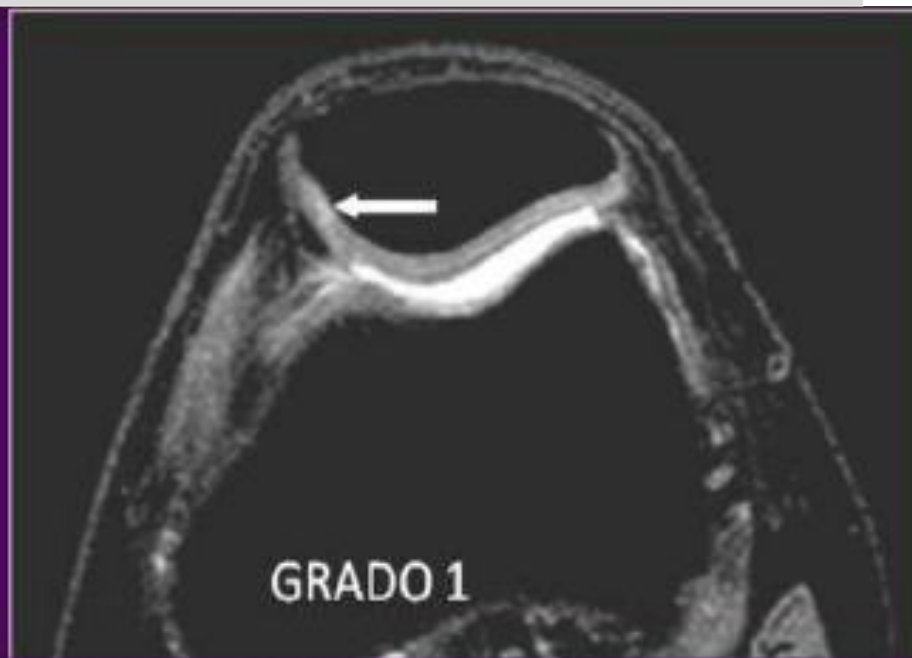
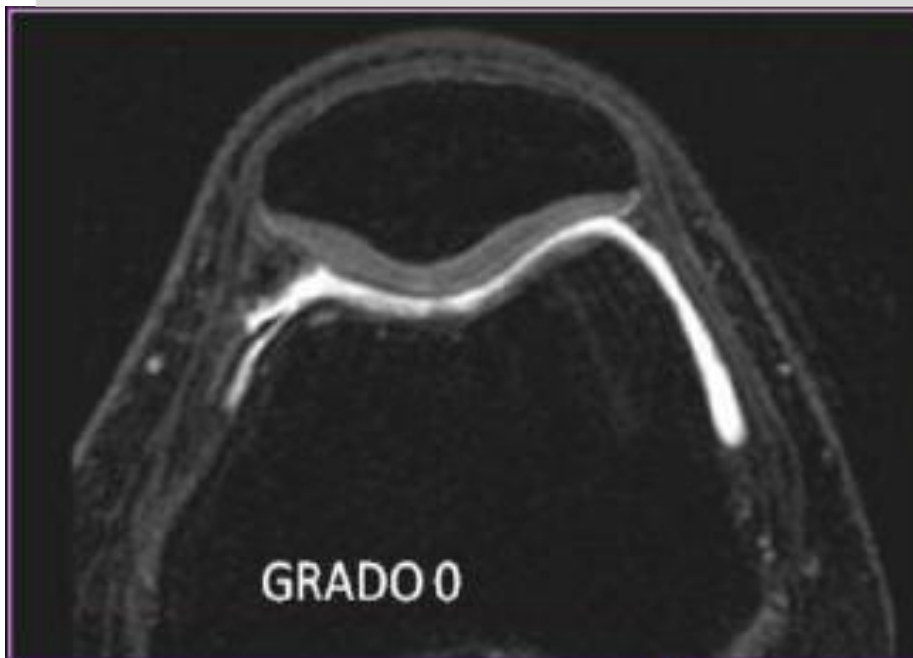


# Outerbridge vs ICRS





# Clasificación de Outerbridge aplicado a la IRM



# Degeneración precoz

Los cambios tempranos a nivel histológico previo a osteoartritis (OA):



- ❑ Aumento del contenido de agua
- ❑ Degeneración de condrocitos
- ❑ Disminución de proteoglicanos
- ❑ Lesión de la matriz colágeno
- ❑ Disminución de su resistencia
- ❑ Rigidez del cartílago

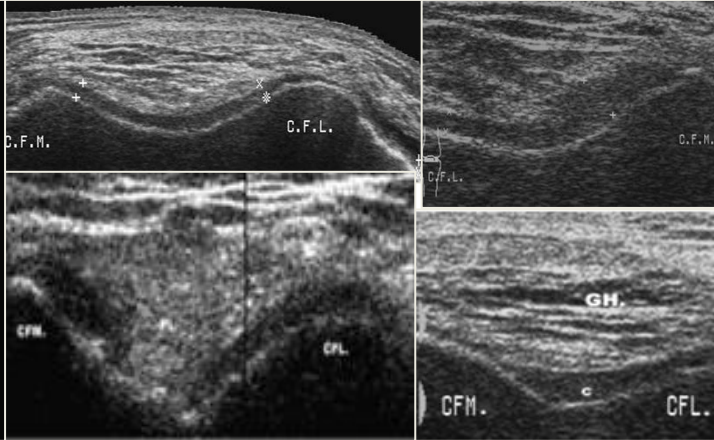
# Propósito

- **Presentar el aporte de las técnicas imagenológicas en la evaluación del cartílago articular.**
- **Resaltar el aporte de cada técnica para la evaluación del cartílago articular**

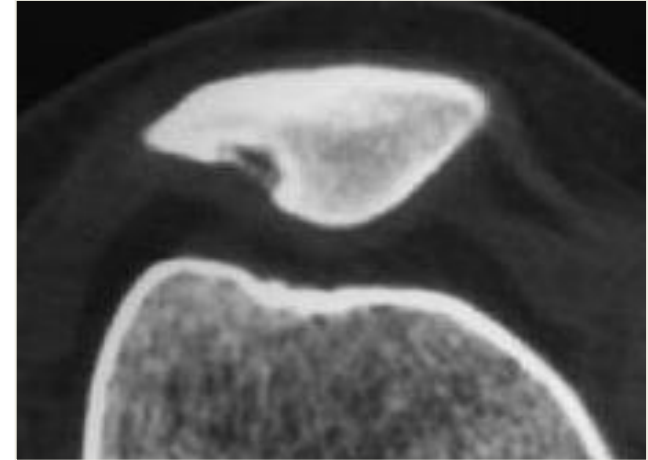
# Valoración cualitativa vs cuantitativa



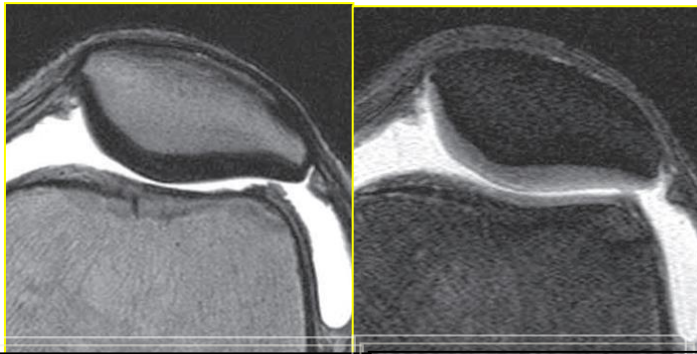
Rx



USAR



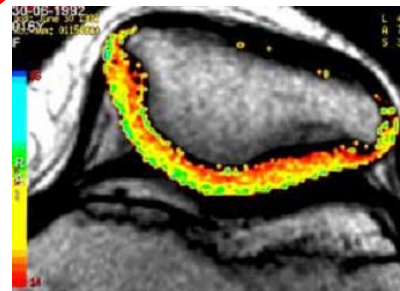
TAC



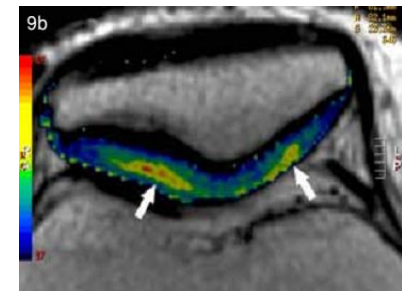
T2 CA sin SG, que proporciona un excelente contraste entre la superficie cartilaginosa y el liquido sinovial, pero el cartilago aparece mal definido

T2 intermedia con SG CA, que muestra un contraste excelente entre la superficie cartilaginosa, el liquido sinovial y el hueso subcondral.

IRM cualitativa



a. Mapa T2 cartilago normal



b. Mapa T2 zonas alteradas con aumento de nivel de T2

IRM cuantitativa

**IRM**

=

**Modalidad imagenológica de excelencia para evaluar las lesiones intrínsecas de la rodilla, traumáticas o degenerativas.**

**Herramienta no invasiva poderosa para detectar tales lesiones y monitorear los efectos terapéuticos farmacológicos y quirúrgicos.**

# IRM

```
graph TD; A[IRM] --> B[Alto campo<br/>(1,5 - 3 T)<br/>Morfología<br/>(cualitativo)]; A --> C[Alto campo<br/>Cuantitativo<br/>(3T)]; A --> D[Bajo campo<br/>NO]; B --> E((Rodilla (AR)<br/>Sinv.,<br/>DA, Cart. Art,<br/>H.S.)); C --> E; D --> E;
```

Alto campo  
(1,5 – 3 T)  
Morfología  
(cualitativo)

Alto campo  
**Cuantitativo**  
(3T)

Bajo campo  
**NO**

Rodilla (AR)  
Sinv.,  
DA, Cart. Art,  
H.S.



**PRESENTE**

**PRESENTE - FUTURO**

**A.C. (3T)  
CUALIT.  
Imag.  
morfológica.**

**A.C. (3T)  
CUANT.  
Im. Func.**

**Mejor  
contraste**

**Cuantif.  
Intesidad  
señales**

-mejor resol.  
-sec. Anat. Novedosas

-mejor resol.  
-sec. Anat. Novedosas  
-Realse de las lesiones.

Spin-Eco (SE) y de  
gradiente de eco (GRE)  
Secuencias SE rápidas  
y 3D

T2. Mapa  
IRM con Gd (dGEMRIC),  
IRM-T1r

Imagenología con Na,  
Técnicas de difusión  
Espectroscopia



# Ejemplos de técnicas morfológicas (cualitativas)

## RB:

- Delgado GP. Cartílago articular: Evaluación por resonancia magnética. Revista Chilena de Radiología. Vol. 19 N° 3, año 2013; 134-139.
- RB: Crema MD, et al. Articular Cartilage in the Knee: Current MR Imaging Techniques and Applications in Clinical Practice and Research. RadioGraphics 2011;31:37–62.

# Secuencias morfológicas de RM

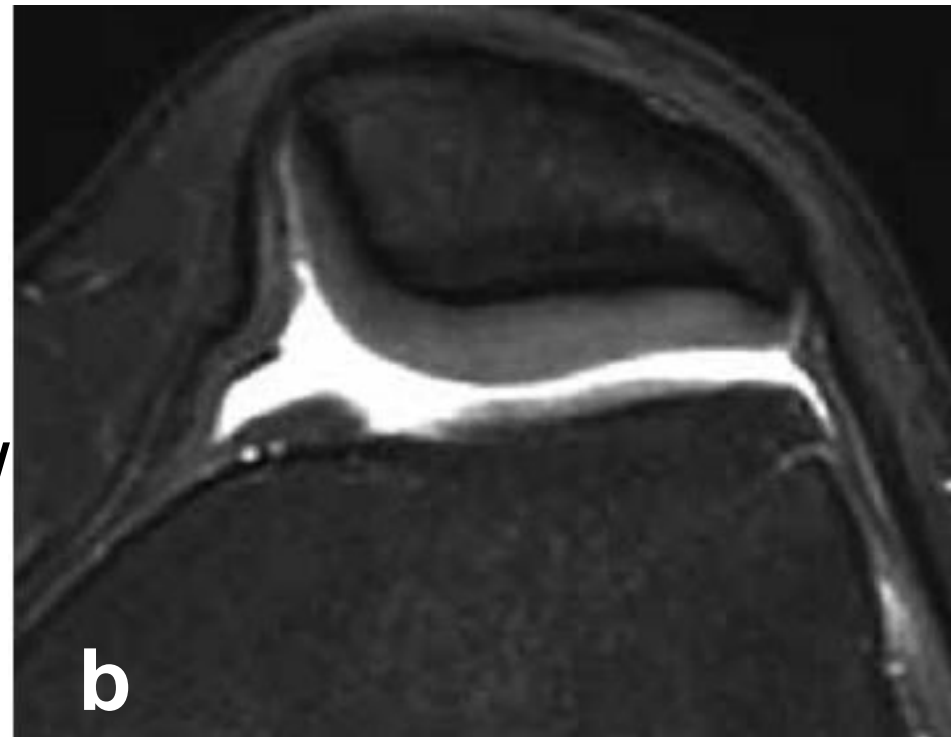
**Table 1**  
Characteristics, Strengths, and Drawbacks of MR Imaging Techniques for Morphologic Assessment of Knee Cartilage

MR Imaging Technique	Characteristics	Strengths	Drawbacks	Utility for Assessing Menisci and Ligaments	Utility for Assessing Bone Marrow	Tested in Clinical Trials
2D fast SE	Standard imaging technique used in clinical and research settings; includes T1-, T2-, intermediate-, and proton density-weighted sequences	T2- and intermediate-weighted sequences provide excellent contrast between fluid and cartilage	Anisotropic voxels, section gaps, partial volume effects	Yes	Yes	Yes
3D fast SE	Relies on flip-angle modulation to reduce blurring, parallel imaging to reduce time for acquisition of intermediate-weighted or proton density-weighted images	Isotropic voxels allow multiplanar reformatting of image data, decrease in partial volume artifacts	Has not yet replaced 2D fast SE in clinical practice	Validated in few studies	Yes	No
3D SPGR	Spoils the transverse steady state by semirandomly changing the phase of the radiofrequency pulse; provides T1- or proton density-weighted contrast	Standard technique for 3D morphologic imaging, has higher sensitivity than routine 2D fast SE; isotropic voxels allow multiplanar reformatting, decrease in partial volume artifacts	Long acquisition times, lack of reliable contrast between fluid and cartilage, vulnerability to susceptibility artifacts	Not yet well validated	Not reliable	Yes
3D DESS	Two or more gradient echoes, each pair separated by a refocusing pulse, are acquired, and data from both are combined in image reconstructions; higher flip angles may be used	Allows shorter acquisition times than SPGR, high SNR, and high cartilage-to-fluid contrast; isotropic voxels allow multiplanar reformatting, decreased partial volume artifacts	Unreliable depiction of signal intensity changes within cartilage, vulnerability to susceptibility artifacts	Not yet well validated	Not reliable	Yes
3D bSSFP	Steady-state sequence similar to DESS but with different parameters; may be combined with a 3D radial k-space acquisition (VIPR)	High SNR and cartilage-to-fluid contrast; isotropic voxels allow multiplanar reformatting, decreased partial volume artifacts	Long TR leads to banding artifacts, especially when high field strength (3.0T) is used	Validated in few studies	Not yet well validated	No
3D DEFT	Active return of magnetization to the z-axis after each excitation enhances the signal intensity of fluid while preserving that of cartilage	Allows diagnostic performance comparable to that obtained with 2D fast SE and SPGR techniques	Long acquisition times, frequently insufficient fat saturation	Not yet well validated	Not reliable	No
3D fast SE SPACE	Large eligible turbo factors are used with a restore pulse and variable flip angle distribution to achieve a pseudo steady state	Allows acquisition of isotropic voxels for multiplanar reformatting; has good SNR and high SNR efficiency	Long acquisition times; insufficiently validated for clinical use	Not yet well validated	Not yet well validated	No

Note.—bSSFP = balanced steady state free precession, DEFT = driven equilibrium Fourier transform, DESS = dual-echo steady state, SNR = signal-to-noise ratio, SPACE = sampling perfection with application-optimized contrast using different flip-angle evolutions, SPGR = spoiled gradient-recalled echo, TR = repetition time, 2D = two-dimensional, VIPR = vastly undersampled isotropic projection reconstruction.



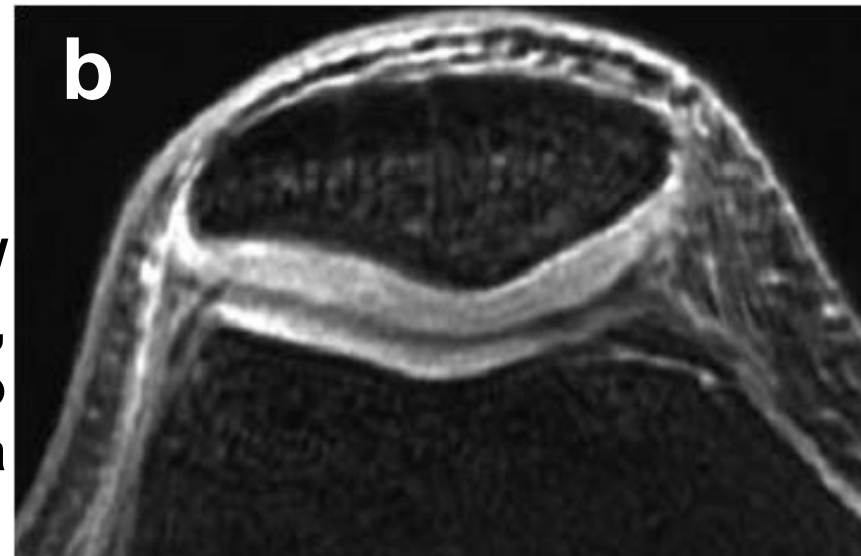
**a. CC T2 1,5T Pequeña Lesión superficial del cartílago hialino.**



**b. CA potenciado en DP. Contraste e/ cartílago y liquido sinovial**



a. CS T2. en 3T. Lesión del cartílago tibial.

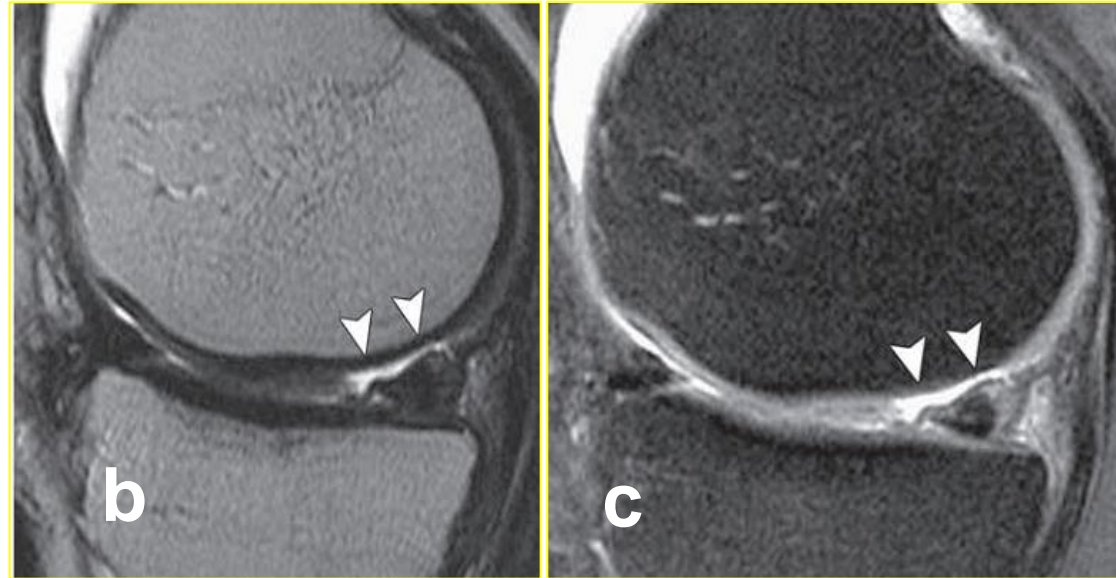


**b. CA potenciado en DP. Contraste e/ cartílago y el liquido sinovial. CA, secuencia. Gradiente de eco. Cartílago con alta señal; líquido sinovial con baja señal.**

## Valor del uso de diferentes secuencias



a) **T1**: - muestra pobre contraste entre la superficie cartilaginosa y el líquido sinovial; es una desventaja; no permite una valoración de un defecto focal del cartílago (señ).

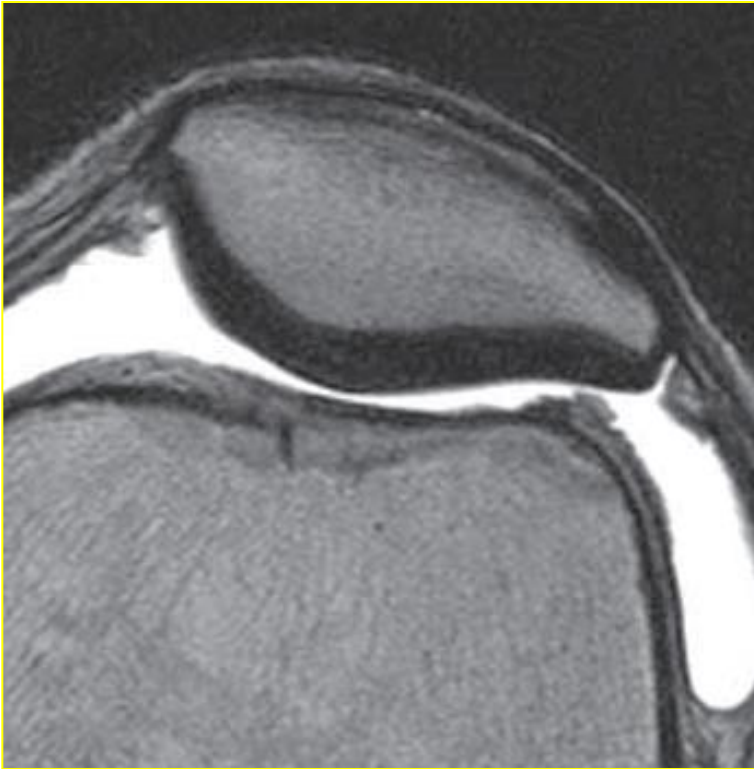


b) **T2**, c) **DP**,

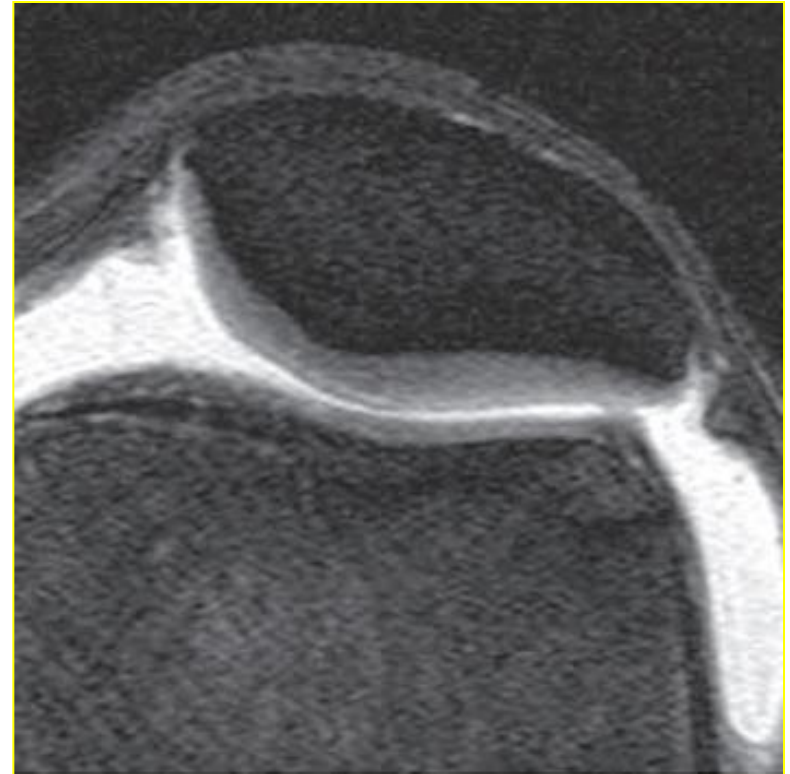
ofrecen una mayor información de contraste entre la superficie cartilaginosa y el líquido sinovial; permite identificar el defecto cartilaginoso (cf) en el cóndilo femoral medial.



# Valor del uso de diferentes secuencias



T2; CA, sin SG, que proporciona un excelente contraste entre la superficie cartilaginosa y el líquido sinovial, pero el cartílago aparece mal definido, con pobres y bajas señales y no existe contraste entre el cartílago y la cortical ósea vecina



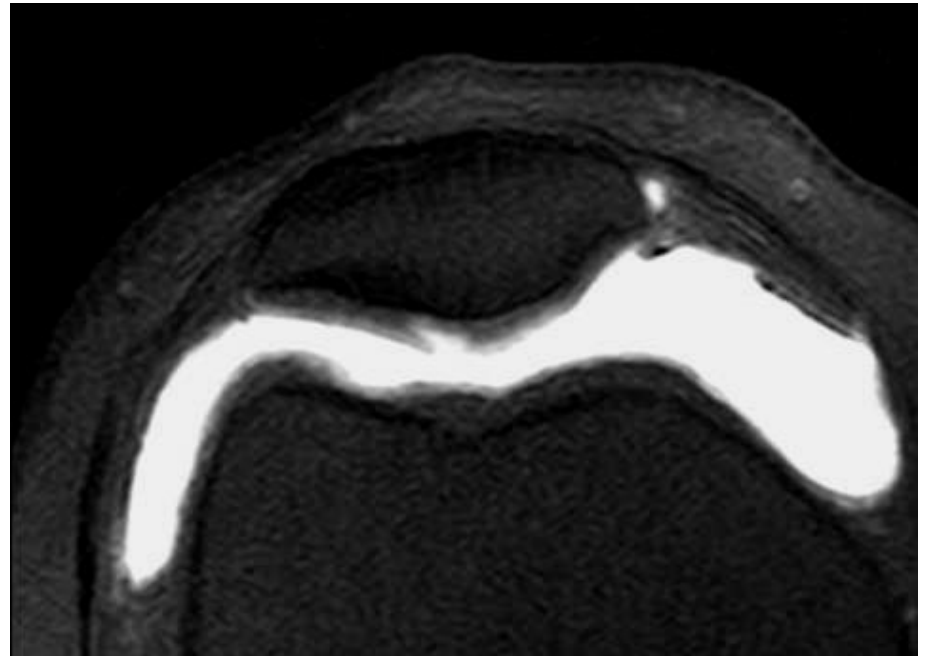
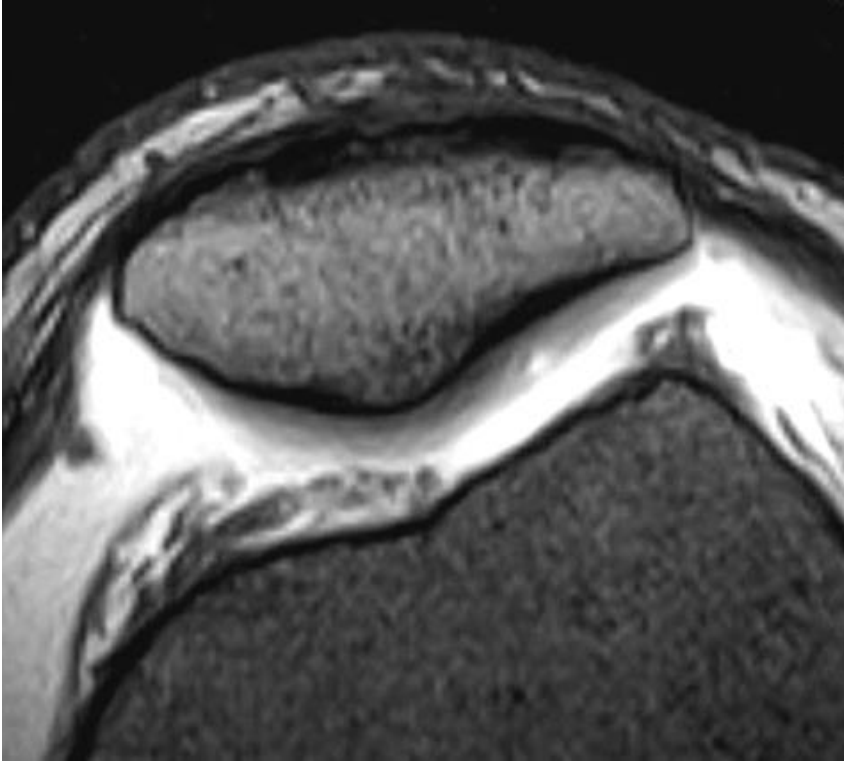
T2 intermedia con SG; CA, que muestra un contraste excelente entre la superficie cartilaginosa, el líquido sinovial y el hueso subcondral, así como una variación de la intensidad de señal dentro del cartílago

***RB: Crema MD, et al. Articular Cartilage in the Knee: Current MR Imaging Techniques and Applications in Clinical Practice and Research. RadioGraphics 2011;31:37–62.***

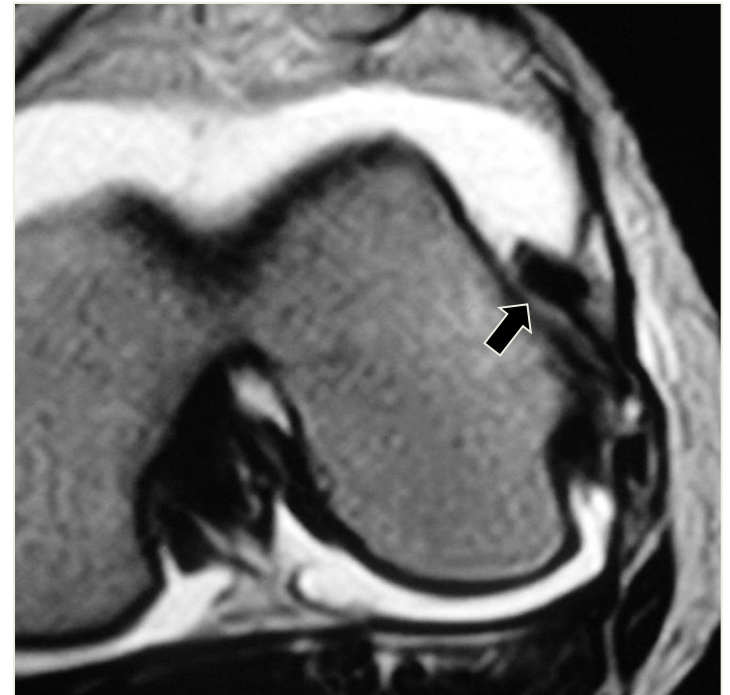
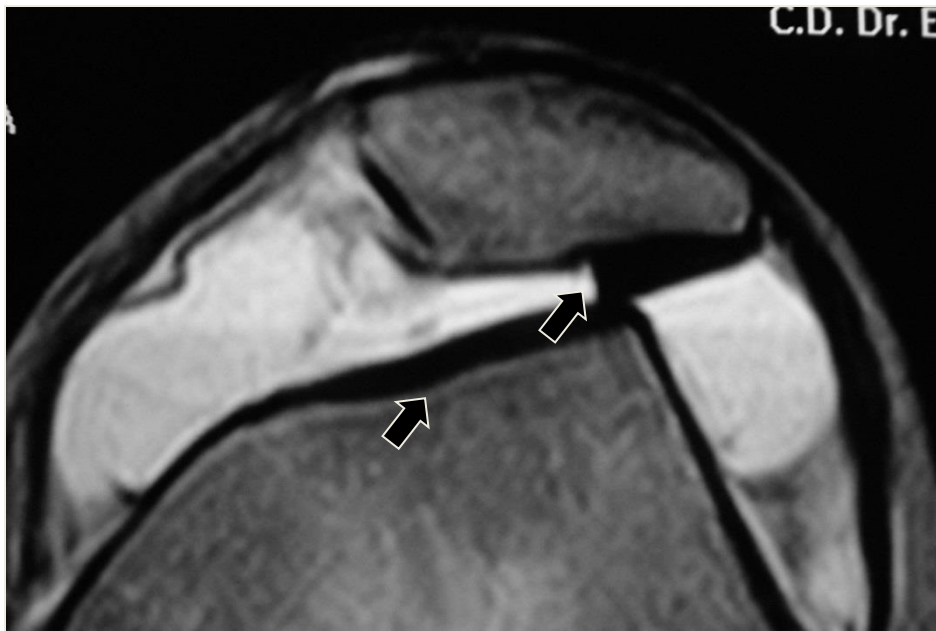
# Artro RM - TC

- ❑ Colocación de contraste intraarticular, distiende la articulación logrando que se vean mejor las superficies de cartílago (lesiones morfológicas).
- ❑ Útil en situaciones donde las superficies articulares están muy adheridas y no hay mucho líquido en la articulación.
- ❑ RM: más resolución de señal; permite ver edema óseo.
- ❑ TC: más resolución espacial; evalúa mejor estructuras más chicas; bordes y lesiones de superficie.
- ❑ Pacientes post-quirúrgicos.

# Defecto condral



# Defecto condral - cuerpo libre



Artro-RM

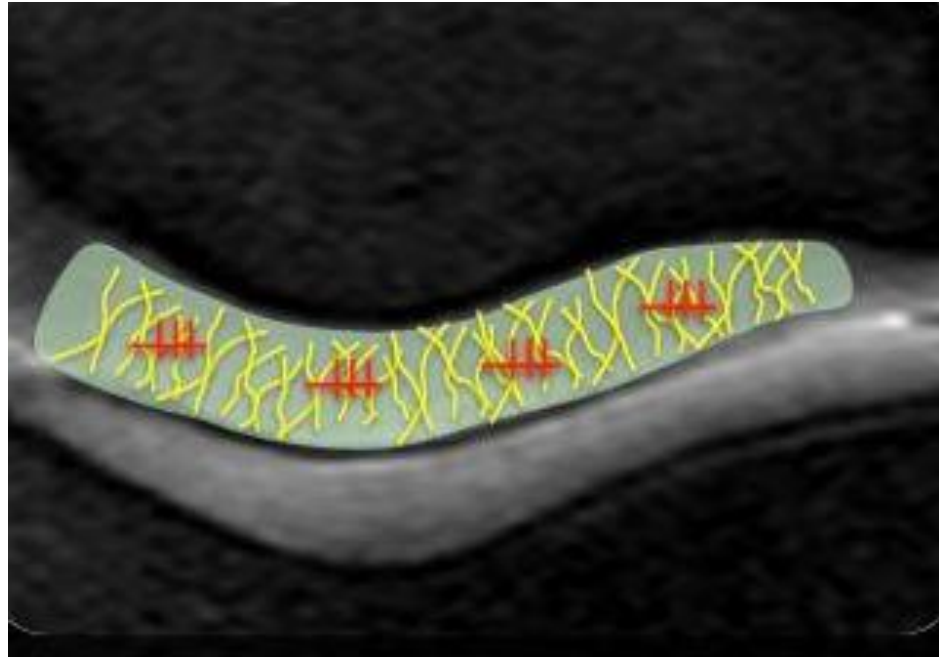
# Ejemplos de técnicas cuantitativas

## RB:

- **Delgado GP. Cartílago articular: Evaluación por resonancia magnética. Revista Chilena de Radiología. Vol. 19 N° 3, año 2013; 134-139.**
- ***Crema MD, et all. Articular Cartilage in the Knee: Current MR Imaging Techniques and Applications in Clinical Practice and Research. RadioGraphics 2011;31:37–62.***

# Estudios avanzados - IRM

- Mapas T2.
- Refuerzo retardado con Gd.
- Mapa T1.
- Difusión.
- Espectroscopia de Na.
- Permeabilidad capilar.
- Sec. tiempo de eco ultracorto.
- Transferencia de Mg.



**Cambios bioquímicos**

Table 2

# Characteristics, Strengths, and Drawbacks of MR Imaging Techniques for Assessment of Knee Cartilage Composition

MR Imaging Technique	Cartilage Component Assessed	Strengths	Drawbacks	Tested in Clinical Trials
T2 mapping	Collagen network, water content	Clinically useful, well validated, robust; does not require use of contrast material	2D technique, long acquisition time	Yes
dGEMRIC	Glycosaminoglycans	Measurements correlate indirectly with glycosaminoglycan content; clinically useful, well validated	Requires use of intravenous contrast material with time delay before acquisition	Yes
T1ρ imaging	Collagen network, glycosaminoglycans	Robustness, high sensitivity for detection of early degeneration; does not require use of contrast material	Unclear specificity for assessing cartilage components; special pulse sequences must be applied; acquisition of multiple datasets is time consuming	No
Sodium imaging	Glycosaminoglycans	Measurements correlate directly with glycosaminoglycan content; does not require use of contrast material	Low SNR, low spatial resolution; requires use of special hardware	No
Diffusion-weighted imaging	Collagen network, glycosaminoglycans	Provides additional information about glycosaminoglycan and collagen content; does not require use of contrast material	Absolute quantification in thin cartilage layers is demanding	No

**RB: Crema MD, et al. Articular Cartilage in the Kne: Current MR Imaging Techniques and Applications in Clinical Practice and Research RadioGraphics2011; 31 : 37-62**



**Técnicas de IRM cuantitativas para evaluar la red del colágeno y el contenido del proteoglicano de la matriz cartilaginosa (técnicas de mapeo y difusión.)**

**Mapa T2.**

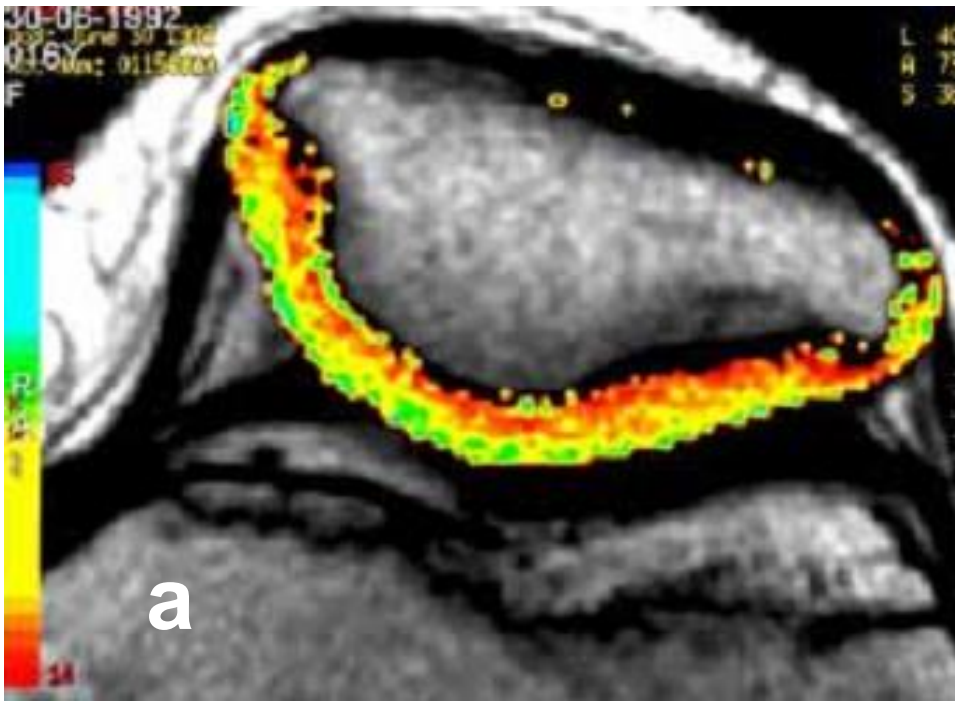


**Mapeo cuantitativo en escala de grises o color de los TR, muy útil en la evaluación temprana del daño cartilaginoso.**

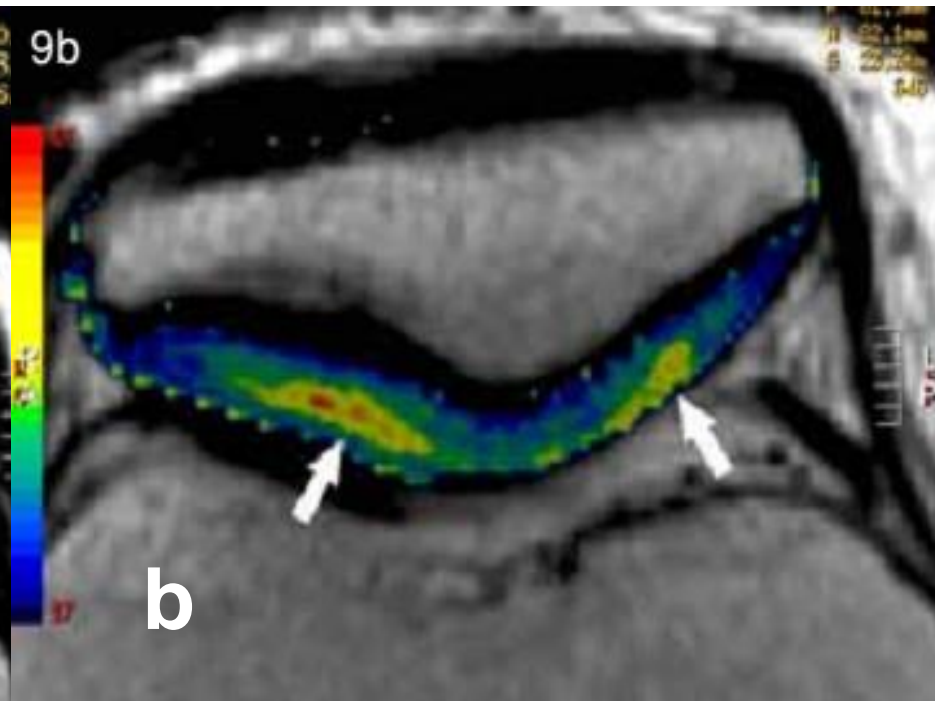
**IRM con gadolinio  
(dGEMRIC)**



**El Gd se dirige a zonas del CH donde la concentración de proteoglicano es baja, entonces el Mapa T1 del CH puede valorar cuantitativamente el contenido de glicosaminoglicano**



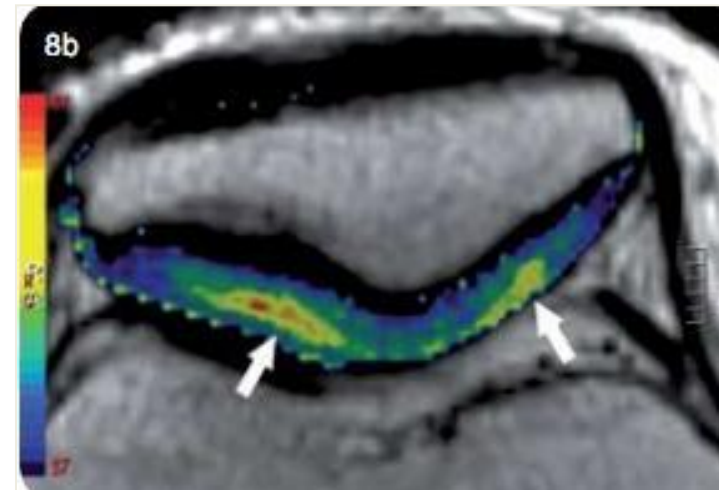
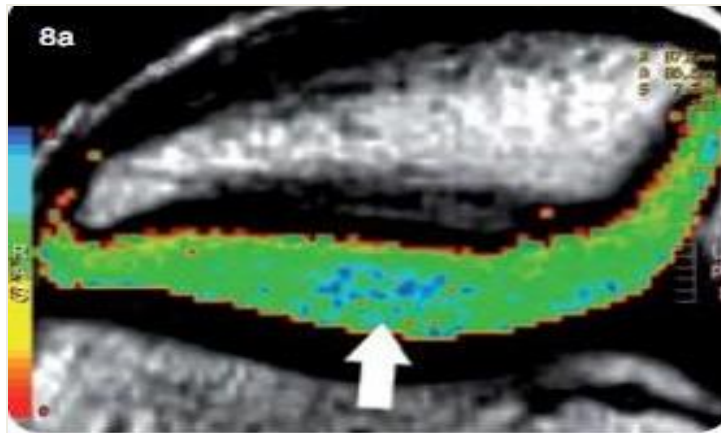
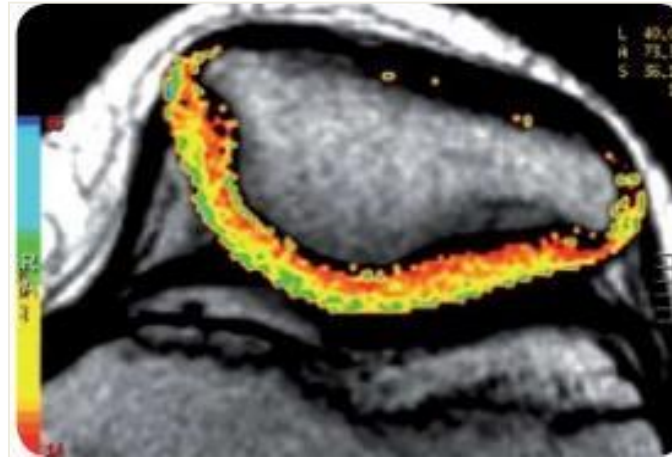
**a. Mapa T2 cartílago normal**  
**rojo : niveles bajos de TR- T2**  
**Amarillo y verde niveles más altos**  
**de TR- T2**



**b. Mapa T2 zonas alteradas con aumento de nivel de T2**

**RB: Crema MD, et al. Articular Cartilage in the Knee: Current MR Imaging Techniques and Applications in Clinical Practice and Research. RadioGraphics 2011;31:37–62.**

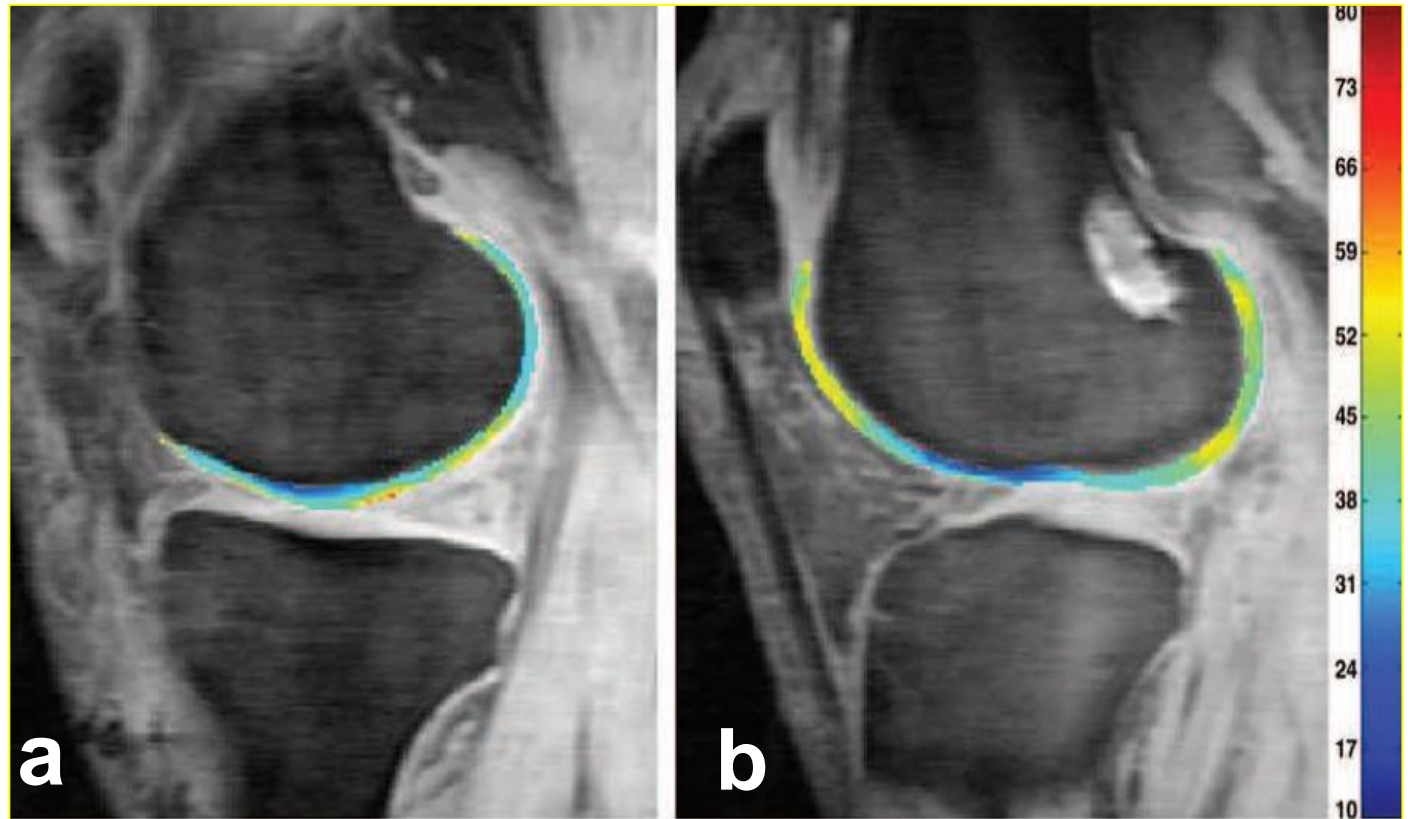
# Mapa T2



Dr. Gonzalo Delgado y cols. / Evaluación del cartílago articular con resonancia magnética.

Rev Chil Radiol 2009; 15 Supl (1): s39-s44

# Mapa T2



**Mapa T2-3T (T2 ME CS 3D) Cartílago h. de la rodilla, posterior a una reparación del LCA, que muestra un alto valor de T2 (amarillo) en a) y b), señal de un deterioro de la intensidad y orientación de la red colágena.**

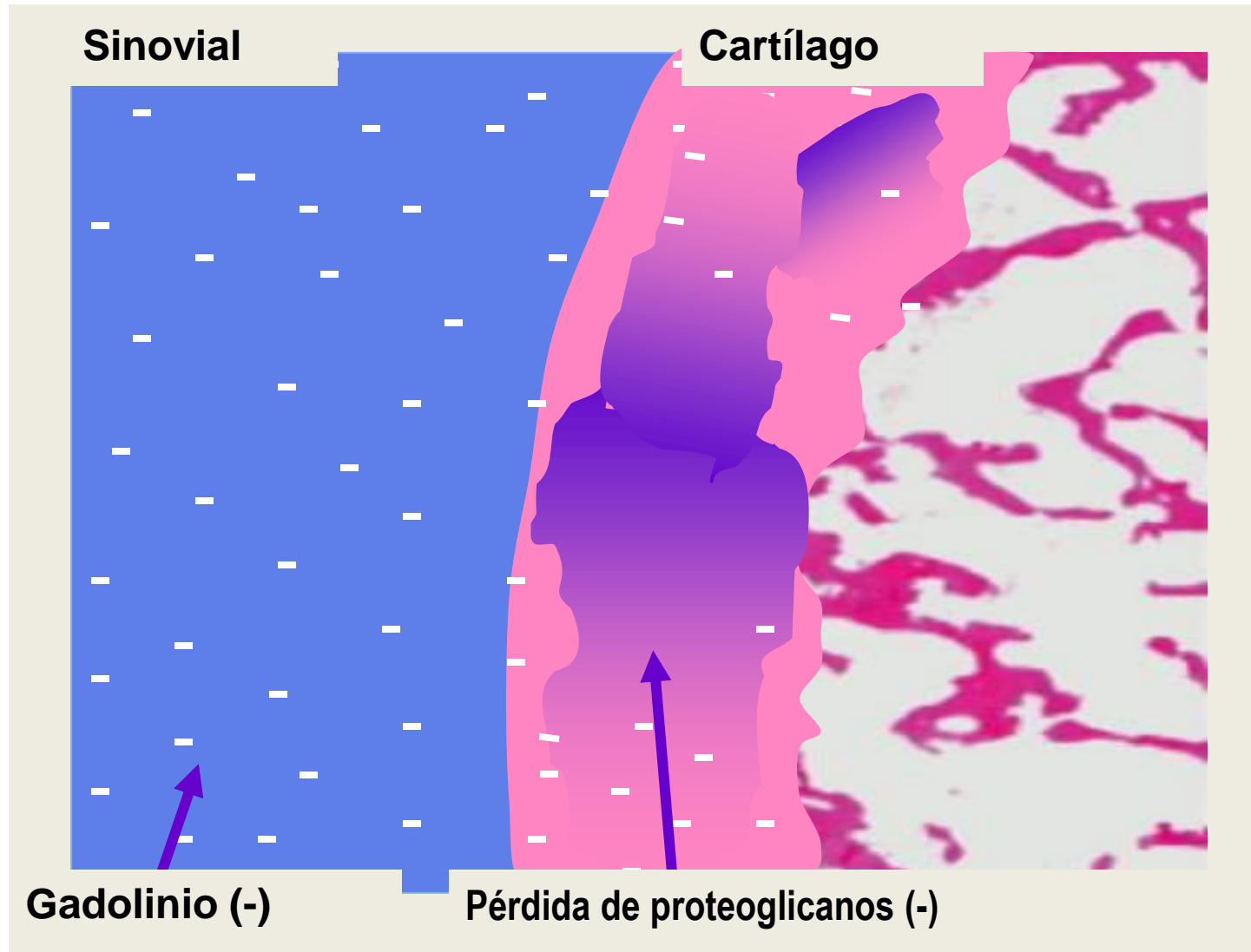
## Refuerzo retardado con Gd

Cuando las moléculas aniónicas tales como el **Gd-DTPA2** entran en el cartílago, se concentran en áreas donde el contenido de **glicosaminoglicano** es relativamente bajo.

La concentración de moléculas de Gd-DTPA2 pueden aproximarse y ser medibles en T1; se hace mapeo en T1 del cartílago después de la inyección I.V. del Gd-DTPA2 y puede ser medido. El término de dGEMRIC refleja el tiempo necesario que permita la penetración del Gd-DTPA2 a través del grosor del cartílago.

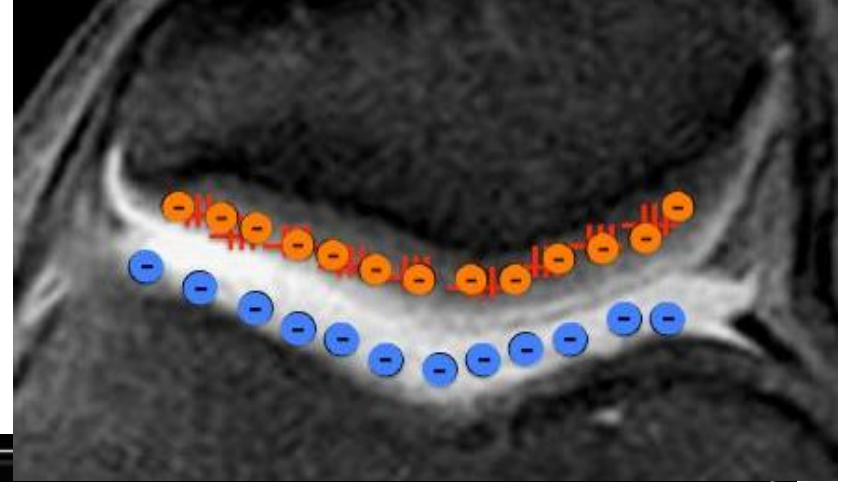
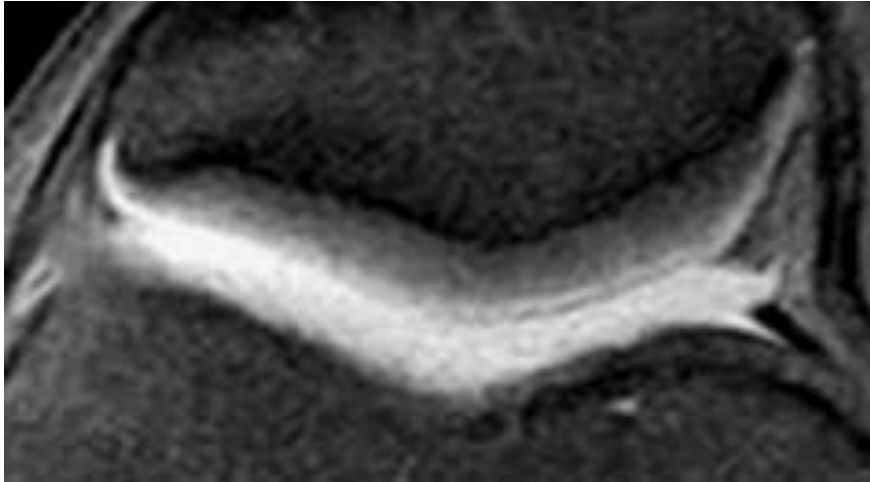
Se aconseja mover la articulación por unos 10 min. después de la inyección del contraste y solo hacer las mediciones en T1 al final del mismo.

# Refuerzo retardado con Gd

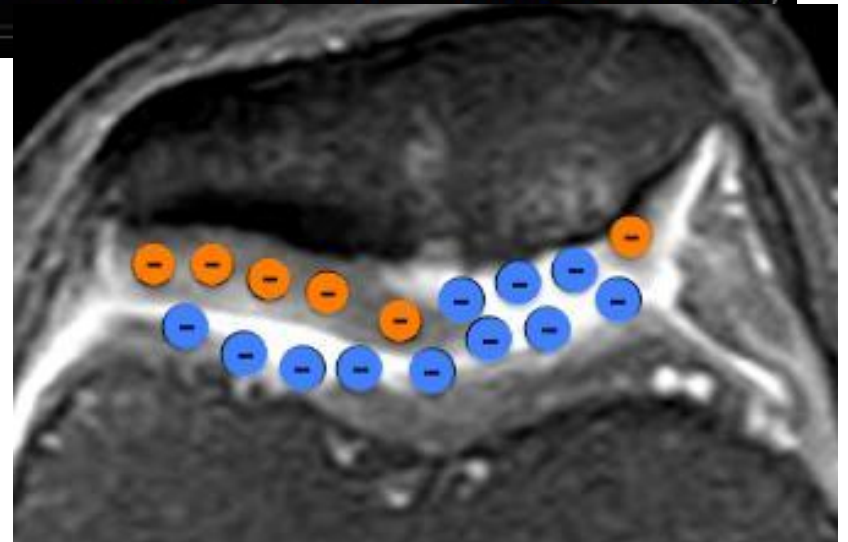
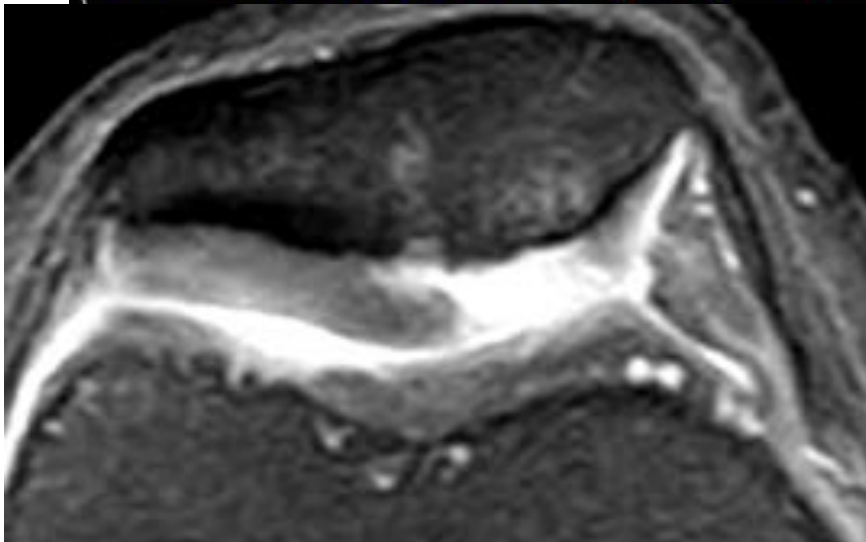




# Refuerzo retardado con Gd

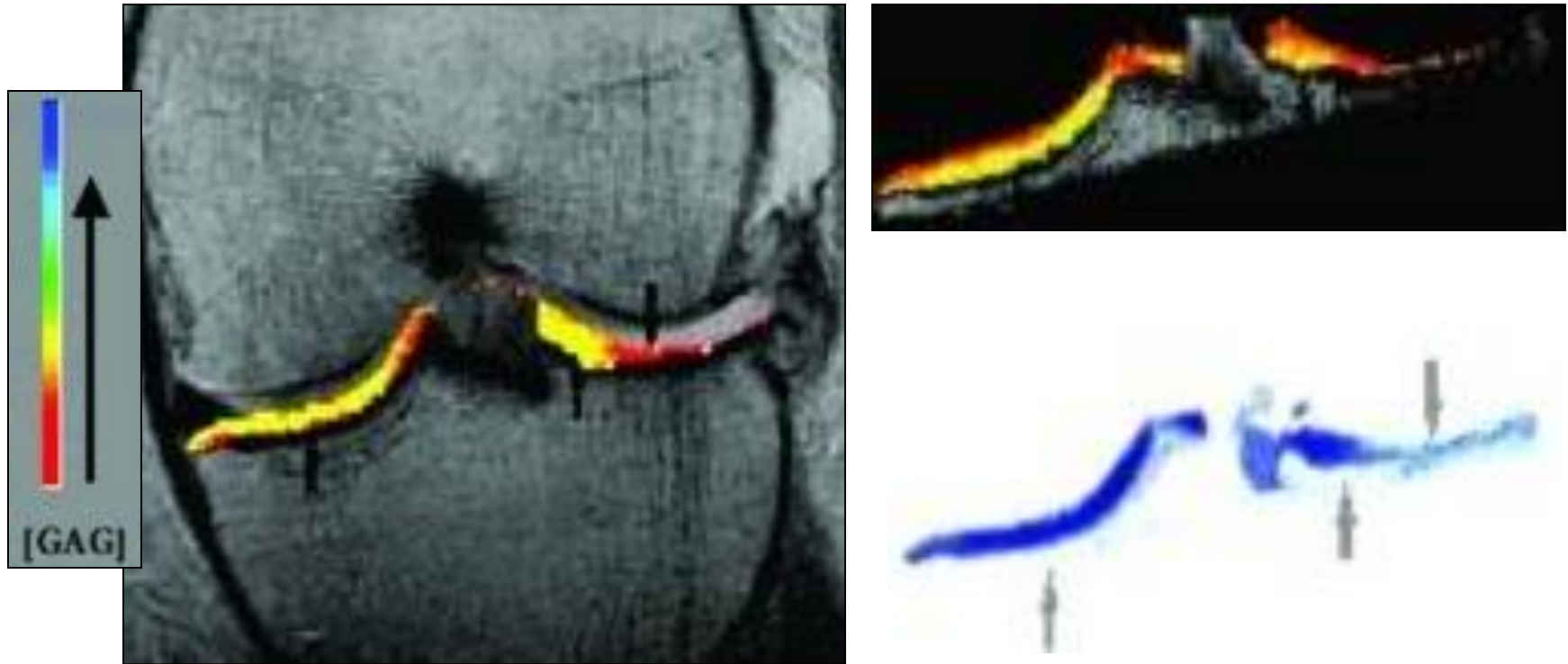


**d-GEMRIC** (delayed Gadolinium Enhancement MRI Cartilage)





# Refuerzo retardado con Gd



**Proteoglicanos- glicosaminoglicanos  
(macromoléculas/biomarcadores). Tinción con toluidina azul  
(histología): patrón de oro actual.**

# Otras técnicas cuantitativas

<sup>p</sup>  
**IRM T1**



<sup>p</sup>  
Monitoreo cuantitativo de la interacción mov.-estático de las moléculas de H<sub>2</sub>O. La IRM T1 es más sensible que las técnicas potenciadas en T2 para diferenciar entre el CH normal y estadio temprano de OA.

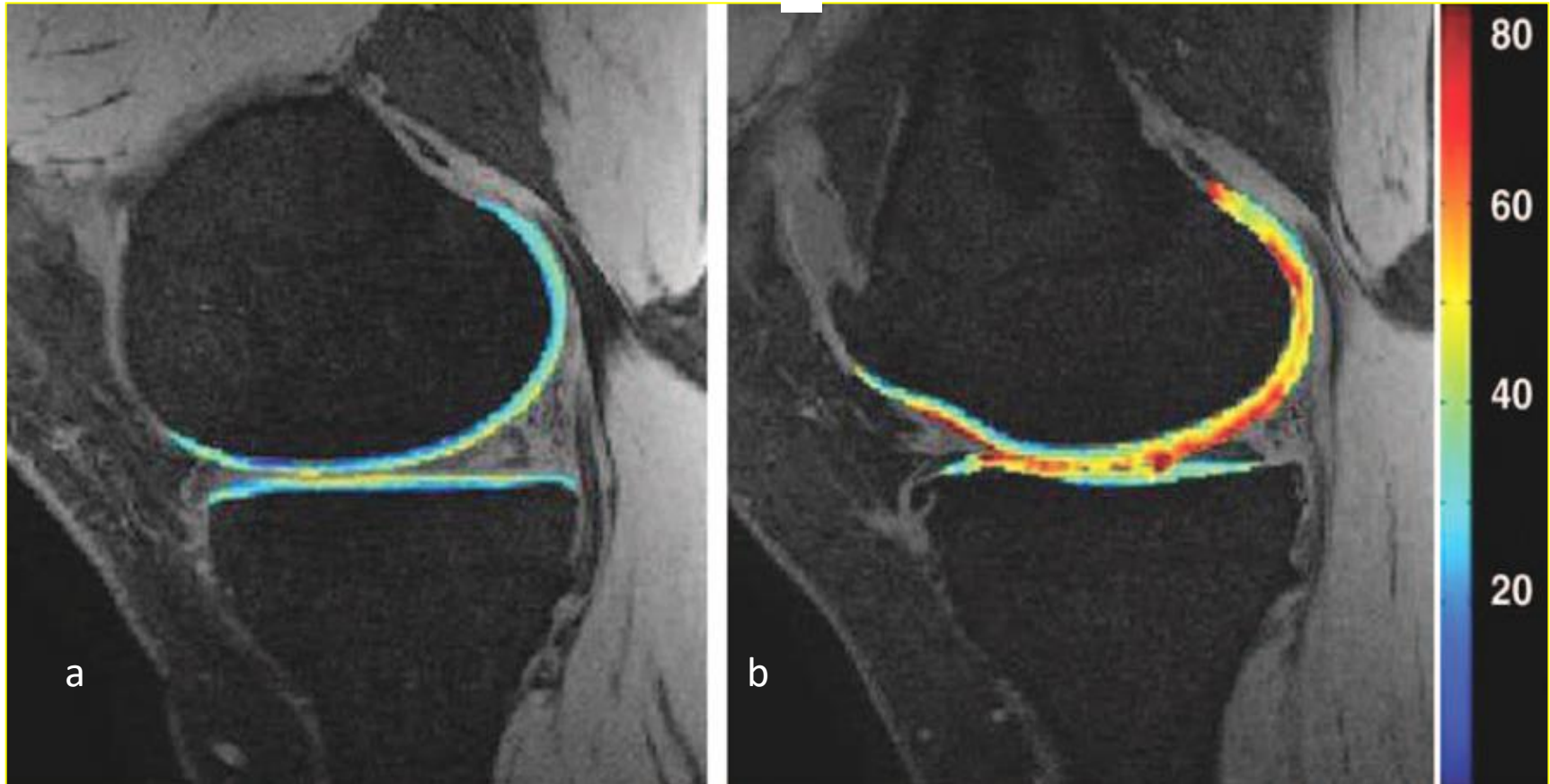
**Imagenología con Na<sup>+</sup>  
y la técnica de  
difusión**



La molécula de glucosamina posee cargas negativas, por tanto las moléculas de Na<sup>+</sup> se adhieren a estas. Esto significa que hay alto contenido de Na<sup>+</sup> en el C.H, lo que se puede cuantificar por IRM.

**Estas técnicas deben utilizarse combinadas y de preferencia, con altos campos magnéticos (1,5 – 3 T).**

# Mapas T1 $\rho$



**Comparación de los mapas T1 $\rho$  obtenido en el cartílago de la rodilla en un paciente sano (a) y en un paciente con osteoartritis severa (b), que muestra valores más altos del T1 $\rho$  en (b).**

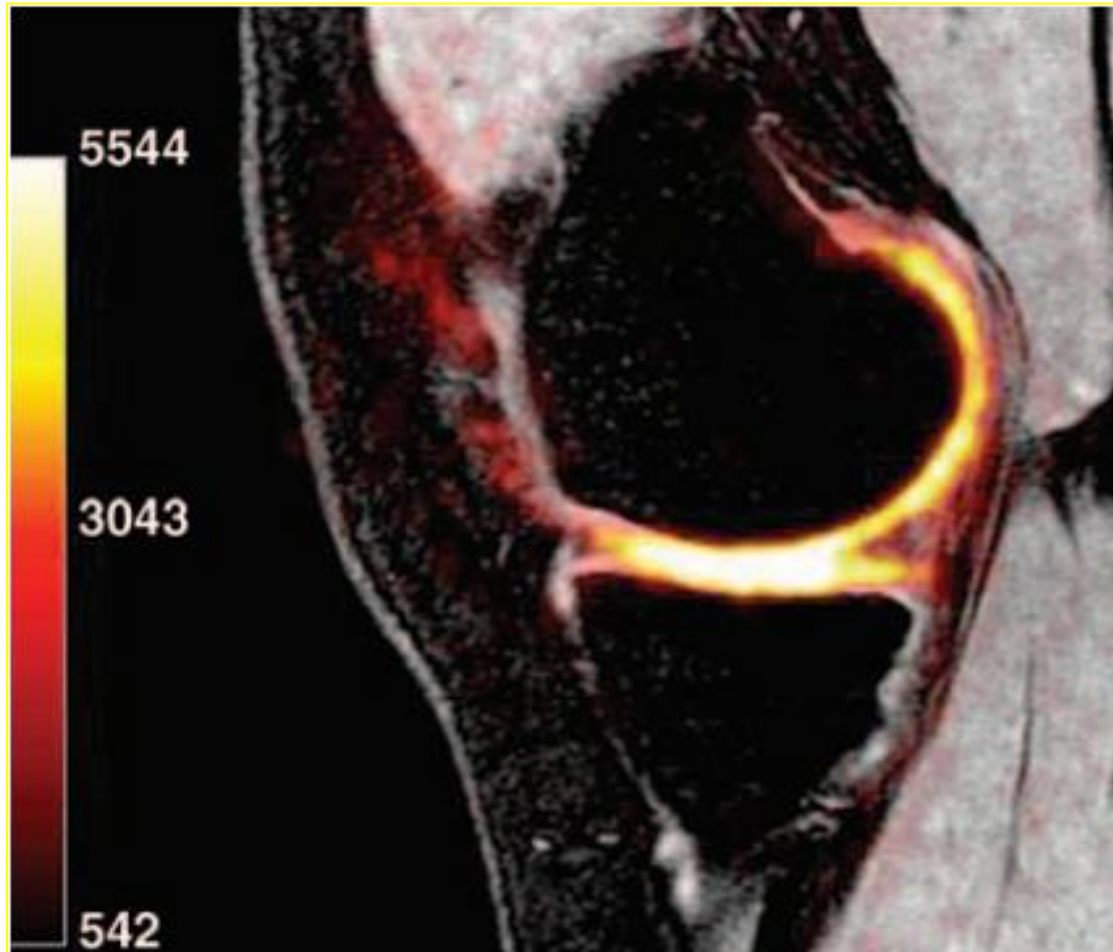
**El valor medio en el cóndilo femoral interno fueron de 32,9 Meg  $\pm$  9,0 en (a) y de 49,1 Meg  $\pm$  14,2 en (b) y en la porción medial de la tibia fueron 35,8 Meg  $\pm$  41,4 en (a) y 43,6 Meg  $\pm$  12,0 en (b).**

**La presencia de carga negativa de glicosaminoglicano es responsable de una alta concentración de iones con cargas positivas de sodio ( $\text{Na}^+$ ) en el líquido intersticial cartilaginoso, mucho mayor que en el líquido sinovial y hueso vecino.**

**En condiciones normales el cartílago hialino, rico en glicosaminoglicano tiene una alta concentración de  $\text{Na}^+$  y hay áreas del mismo que pueden aparecer con bajas concentraciones del mismo.**

**Debido a que el  $\text{Na}^+$  posee un momento de spin nuclear, tiene una frecuencia de resonancia específica que puede ser medible en la IRM. Por esto las IRM- $\text{Na}$  pueden ser usadas para diferenciar el CH normal del estadio temprano de la enfermedad de este.**

## **Secuencia SPGR (3D) en un joven sano de 20 años.**



**IRM Na de toda la rodilla obtenida con DP que muestra alta intensidad de señales en el cartílago en su compartimiento medial. Las imágenes se obtuvieron con un equipo de 3T y coil específico para el Na.**

## 3D DESS

Técnica de ***Steady-state 3D dual-eco***, en que adquieren 2 o más GE, con cada grupo de ecos, separados por un pulso de re-focalización y con los datos obtenidos por la combinación de ecos para obtener un  $T2^*$ , con mayor intensidad de señales del cartílago y del líquido sinovial, llevado a un mapa a color.



# 3D DESS

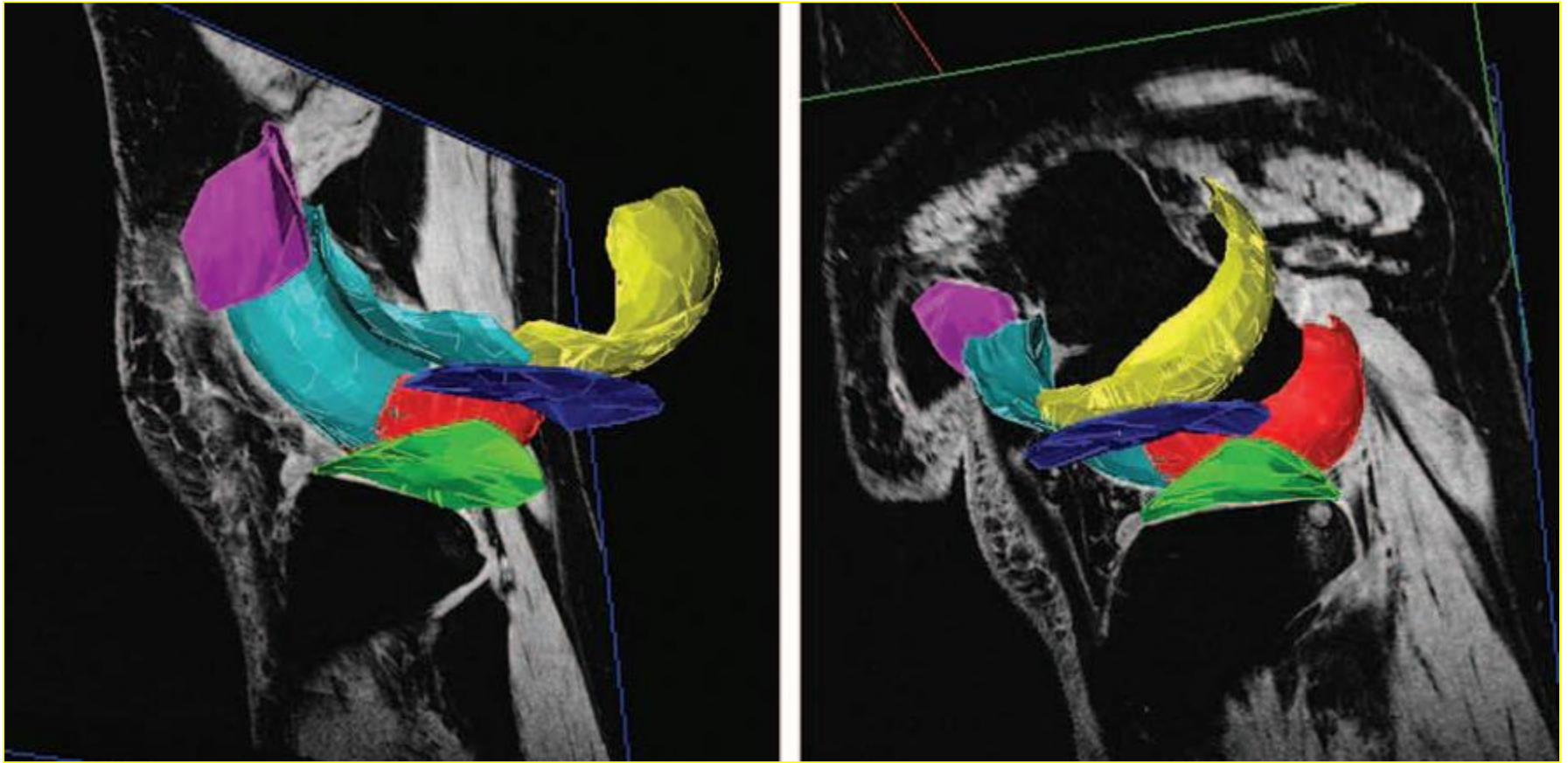


Imagen de segmentación de la rodilla en (a) y (b) en diferentes planos que permiten una cuantificación del cartílago en las regiones de carga de los cóndilos femorales (rojo y amarillo), de los platillos tibiales (azul obscuro y verde), la tróclea (azul claro) y la rótula (rosado).



# Conclusiones

- La combinación de las técnicas imagenológicas, es un valioso complemento para la evaluación adecuada del cartílago articular.
- Las técnicas de IRM cuantitativas ofrecen una valiosa información, sobre todo para el diagnóstico temprano de lesiones degenerativas condrales.
- La IRM, con técnicas cuantitativas, promete ser de gran ayuda para la evaluación del cartílago articular, basado en la composición molecular de este.

**FÍN**