

LICENCIATURA EN TECNOLOGÍA MÉDICA. UTN –FRRO.

# TESINA

---

Estudio del cartílago de la articulación  
fémoropatelar mediante diversas técnicas  
de Resonancia Magnética Nuclear

PARA LA OBTENCIÓN DEL GRADO DE

“LICENCIADO EN TECNOLOGÍAS MÉDICAS”

**TUTOR: GOLZMAN, DANIEL**

**AUTORES: FERRERO, DARÍO Y OCAMPO, GISELA**

**FECHA DE FINALIZACIÓN: ABRIL DE 2019**

## Título

ESTUDIO DEL CARTÍLAGO DE LA ARTICULACIÓN FEMOROPATELAR  
MEDIANTE DIVERSAS TÉCNICAS DE RESONANCIA MAGNÉTICA NUCLEAR

## Autores

FERRERO, DARÍO Y OCAMPO, GISELA

## Editor

UTN – ISTM. Licenciatura en Tecnología Médica - Tesina

## Fecha

ABRIL DE 2019

## Palabras Claves:

**Condropatías rotulianas. Cartílago articular. Lesiones condrales. Resonancia magnética nuclear. Mapa T2 o Cartigrama. Realce tardío del gadolinio (dGEMRIC).**

## **Resumen**

### 1. INTRODUCCIÓN.

Las lesiones del cartílago articular son frecuentes y su diagnóstico por imagen cada día más importante. La resonancia magnética nuclear (RMN) es el método elegido para la evaluación de lesiones condrales.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

En este trabajo hicimos una revisión bibliográfica descriptiva que proporciona al lector una puesta al día sobre conceptos útiles en áreas en constante evolución.

## 3. RESULTADOS

### 3.1. MAPA T2 O CARTIGRAMA

Es un método cuantitativo de evaluación de la estructura interna del cartílago. Con esta técnica es posible medir el tiempo de relajación T2 del cartílago. Los tiempos de relajación T2 en el cartílago normal son menores en las capas más profundas donde el entrelazado de fibras de cartílago es más compacto y hay menos cantidad de agua. Los tiempos de relajación T2 aumentan hacia las porciones más superficiales del cartílago.

### 3.2. REALCE TARDIO DEL GADOLINIO (dGEMRIC)

Conocida como dGEMRIC (delayed gadolinium-enhanced MRI of cartilage), se basa en el hecho de que el contraste con carga eléctrica negativa se distribuirá en aquellas regiones que presenten una menor concentración de glucosaminoglicanos y proteoglicanos, o en donde estén dañados.

## 4. CONCLUSIONES

La RMN es el método de imagen de elección para la evaluación del cartílago articular debido a su alta sensibilidad. Siendo útiles las secuencias convencionales, pero más específicas las dos técnicas analizadas y descritas en esta investigación: Mapa T2 y Realce tardío con gadolinio; las cuales permiten una evaluación más objetiva y cuantitativa, de las alteraciones condrales degenerativas incipientes.

# ÍNDICE

Resumen .....	2
1 Introducción: .....	7
2 Objetivos .....	9
2.1 Objetivo general:.....	9
2.2 Objetivos específicos: .....	9
3 Tema:.....	10
3.1 Problema: .....	10
3.2 Justificación: .....	10
3.3 Palabras claves:.....	11
4 Marco teórico: .....	12
4.1 Estado del arte:.....	12
4.2 Cartílago articular .....	15
4.3 Capas del cartílago articular.....	17
4.4 Cartílago articular de la articulación femoropatelar .....	18
4.5 Lesiones condrales .....	19
4.6 Resonancia magnética del cartílago articular normal .....	20
5 Referente Empírico: .....	23
5.1 Marco metodológico:.....	23
5.2 Técnica de recolección de datos: .....	24

6	Resultados: .....	25
6.1	Mapa T2 o Cartigrama .....	25
6.2	Tiempo de relajación T2 del cartílago articular normal.....	31
6.3	Protocolo de RM ejemplo de Mapa T2.....	35
6.4	Realce tardío del gadolinio (dGEMRIC) .....	42
6.5	Protocolo de RM ejemplo de dGEMRIC.....	45
7	Análisis de los resultados alcanzados: .....	56
8	Conclusiones: .....	58
9	Anexo: .....	61
9.1	Condropatía rotuliana y su incidencia .....	61
9.2	Cartílago articular .....	62
9.3	Fisiopatología de la degeneración del cartílago articular .....	64
9.4	Anatomía de la rodilla.....	66
9.5	La articulación femoropatelar .....	68
9.6	Tipos de rótulas.....	69
9.7	Medios de contención .....	70
9.8	Inserciones musculo-ligamentosas rotulianas.....	71
9.9	Aparato extensor .....	72
9.10	Función de la rótula .....	73
9.11	Clasificación de la patología femoropatelar .....	75

9.12	Síntomas y etiología de la patología femoropatelar.....	76
9.13	Evaluación composicional por resonancia magnética .....	78
9.14	Bobinas utilizadas en rodilla.....	79
9.15	Protocolo para la exploración de la rodilla .....	79
9.16	Ejemplo de un estudio completo de rodilla: .....	80
9.17	Tabla con documentos utilizados para la investigación.....	84
10	Bibliografía.....	116

# **1 Introducción:**

Las lesiones del cartílago articular son frecuentes y su diagnóstico por imagen cada día más importante. La resonancia magnética nuclear (RMN) es el método de diagnóstico por imagen de elección para la evaluación de lesiones condrales. Esta investigación revisa la utilidad de este método, en relación a estudios avanzados, cuantitativos, que permiten evaluar alteraciones condrales iniciales antes de ser evidentes en secuencias habituales de resonancia magnética.

La resonancia magnética nuclear (RMN) es el método de elección para evaluar lesiones del cartílago articular por su carácter no invasivo, alto contraste y capacidad multiplanar. La sensibilidad de la RMN es directamente proporcional a la magnitud en cuanto a superficie condral comprometida y profundidad de la lesión.

El tema de esta investigación ha sido elegido para profundizar acerca de las técnicas avanzadas que existen en Resonancia Magnética Nuclear en cuanto a la detección de cambios en el cartílago articular.

La evaluación del cartílago articular utilizando imágenes de resonancia magnética ha visto avances considerables en los últimos años. Las características morfológicas del cartílago ahora se pueden evaluar con un alto grado de precisión y reproducibilidad utilizando secuencias de pulsos dedicadas, que se están convirtiendo en estándar en muchas instituciones. Estas técnicas detectan lesiones de cartílago traumático clínicamente insospechadas, lo que permite al médico estudiar su historia natural con una evaluación longitudinal y también evaluar el estado del mismo.

Creemos que estas técnicas son el futuro y mostraremos mediante esta investigación la esencia de cada una de estas técnicas y su aplicación.

En la actualidad se está utilizando el estudio funcional del cartílago (CARTIGRAMA), siendo esta la única técnica que puede valorar el grado de hidratación del cartílago (edema del cartílago) cuando la imagen estática, morfológica, es normal.

Otra técnica avanzada que se está utilizando es el realce tardío con gadolinio (dGEMRIC) y la T1 se generan mapas del cartílago articular tras la administración intravenosa de un medio de contraste basado en gadolinio aniónico. Dado que el cartílago está compuesto mayoritariamente por moléculas de Glucosaminoglucanos (GAG) cargadas negativamente, estas repelen los iones cargados negativamente. Por ello, las concentraciones de gadolinio son mayores en las regiones condrales con menor concentración de GAG, reduciéndose el tiempo de relajación T1.

Toda esta información puede ayudar al diagnóstico precoz de la enfermedad, establecer el grado de afectación, valorar el pronóstico, incidir en la decisión terapéutica y evaluar la eficacia del tratamiento. El estudio de las alteraciones estructurales y funcionales del cartílago mediante RMN es un excelente biomarcador de la degeneración del cartílago.

El tema de investigación será el estudio del cartílago de la articulación femoropatelar mediante diversas técnicas de Resonancia Magnética Nuclear. Y El problema de investigación: ¿Cuáles son las nuevas técnicas de Resonancia Magnética para el estudio del cartílago de la articulación femoropatelar y qué aporta cada una de ellas al diagnóstico médico?

## **2 Objetivos**

### **2.1 Objetivo general:**

- Describir las nuevas técnicas disponibles para el estudio del cartílago articular de la rodilla en Resonancia Magnética Nuclear y el aporte que hace cada una de ellas al diagnóstico médico.

### **2.2 Objetivos específicos:**

- Describir la utilidad del Cartigrama en la evaluación del cartílago articular de rodilla mediante Resonancia Magnética Nuclear.
- Describir la utilidad del Realce Tardío en la evaluación del cartílago articular de rodilla mediante Resonancia Magnética Nuclear.
- Describir el aporte que el Cartigrama ofrece acerca del grado de hidratación del cartílago articular de rodilla.
- Describir el aporte que el Realce Tardío ofrece acerca del daño producido en el cartílago articular de rodilla.

### **3 Tema:**

Estudio del cartílago de la articulación fémoropatelar mediante diversas técnicas de Resonancia Magnética Nuclear

#### **3.1 Problema:**

¿Cuáles son las nuevas técnicas de Resonancia Magnética para el estudio del cartílago de la articulación femoropatelar y qué aporta cada una de ellas al diagnóstico médico?

#### **3.2 Justificación:**

El tema de esta investigación ha sido elegido para profundizar acerca de las técnicas avanzadas que existen en Resonancia Magnética Nuclear en cuanto a la detección de cambios en el cartílago articular.

La evaluación del cartílago articular utilizando imágenes de resonancia magnética ha visto avances considerables en los últimos años. Las características morfológicas del cartílago ahora se pueden evaluar con un alto grado de precisión y reproducibilidad utilizando secuencias de pulsos dedicadas, que se están convirtiendo en estándar en muchas instituciones. Estas técnicas detectan lesiones de cartílago traumático clínicamente insospechadas, lo que permite al médico estudiar su historia natural con una evaluación longitudinal y también evaluar el estado del mismo.

Creemos que estas técnicas son el futuro y mostraremos mediante esta investigación la esencia de cada una de estas técnicas y su aplicación.

### **3.3 Palabras claves:**

**Condromatías rotulianas. Cartílago articular. Lesiones condrales. Resonancia magnética nuclear. Mapa T2 o Cartograma. Realce tardío del gadolinio (dGEMRIC).**

## 4 Marco teórico:

### 4.1 Estado del arte:

Entendemos como **condropatías rotulianas** al trastorno que causa dolor en las rodillas y sensación de moler los huesos en el interior de la misma. También se lo conoce como condromalacia patelar o rotuliana. Es más común en adolescentes y adultos jóvenes, y en atletas que realizan deportes que ejercen un gran estrés en las rodillas. (1)

Está facilitada por los traumatismos repetidos de la rodilla y por movimientos repetidos que producen compresión del cartílago; por factores estructurales como la alineación de la rodilla o la posición de la rótula; por insuficiencia de la vascularización del hueso bajo el cartílago; o por factores del paciente que facilitan la degeneración del cartílago.

Durante muchos años ha habido una confusión al usar el término Condromalacia Rotuliana, y aplicarlo a todos los cuadros de dolor anterior de la rodilla. En la actualidad se prefiere usar el término “**Condropatía**”, en referencia a los casos en los que el dolor es producido por una lesión del cartílago, ver anexo para ampliar concepto.

La **resonancia magnética nuclear** es un estudio no invasivo que permite observar estructuras anatómicas del organismo sin utilizar radiaciones ionizantes.

La resonancia magnética de rodilla es una técnica, cuyos fundamentos y aplicaciones abarcan muchos ámbitos de todas las ciencias experimentales, tecnológicas y sobre todo de las ciencias de la medicina, en especial el factor salud. La rodilla es el segmento más beneficiado de esta última década gracias a la tecnología avanzada, en especial en lo que atañe al diagnóstico minucioso en sus lesiones en RM. Mucho se ha publicado respecto a

las secuencias más útiles para evaluación de cartílagos articulares. Las secuencias con buen contraste entre el cartílago y líquido y buen contraste entre cartílago y hueso subcondral son las adecuadas para la evaluación de patología condral.

Las secuencias 3D SPGR T1 con supresión grasa y FSE potenciadas en T2 con supresión de la grasa son las más sensibles y específicas. Estas secuencias muestran una gran eficacia en la detección de estadios avanzados de condromalacia (cambios morfológicos), sin embargo, son insensibles en los estadios iniciales. Para la detección de las alteraciones precoces del cartílago articular se precisan técnicas avanzadas de RM que permitan demostrar los cambios bioquímicos que ocurren dentro del cartílago previamente a la aparición de alteraciones morfológicas.

Se han diseñado muchos protocolos de RMN para evaluar la rodilla. Debido a que muchos procesos patológicos de la rodilla tienen una presentación clínica similar, las exploraciones de RMN deben ser lo más completas posible. La técnica ideal debería conseguir imágenes con buen contraste y resolución espacial de las estructuras óseas y de los tejidos blandos de la rodilla en un tiempo razonable. El empleo de una antena de superficie dedicada de rodilla es obligatorio para un estudio de calidad porque mejora la relación señal-ruido. El uso de campos de visión pequeños en el rango de 10-14 cm mejora la resolución espacial y facilita la valoración óptima de las estructuras anatómicas de la rodilla. La adquisición de imágenes en los tres planos ortogonales es muy útil en la definición y caracterización de la patología. Una adquisición axial a través de la articulación fémoro-patelar se usa como localizador inicial para las imágenes en los planos sagital y coronal.

El **cartílago articular** de los compartimentos interno y externo se evalúa en las imágenes coronales y sagitales. La articulación fémoro-patelar se visualiza adecuadamente en los planos axial y sagital. Las imágenes convencionales espín - eco de tiempo de eco (TE) corto generalmente proporcionan el mejor contraste para la evaluación anatómica. La patología del cartílago articular puede evaluarse con técnicas de transferencia de magnetización, sin embargo la secuencia faste spín - eco T2 con supresión grasa es la más adecuada para el estudio de esta patología. (2)

También se está utilizando el estudio funcional del cartílago (**CARTIGRAMA**), siendo esta la única técnica que puede valorar el grado de hidratación del cartílago (edema del cartílago) cuando la imagen estática, morfológica, es normal.

Mediante RMN de las propiedades del cartílago articular, en concreto, los **tiempos de relajación T2 y T1**, la distribución del primer paso de un medio de contraste (**dGEMRIC**) y el porcentaje de realce tardío. Mediante el empleo de secuencias específicas y técnicas de cuantificación adecuadas, la RMN permite evaluar parámetros tan importantes como la superficie, el espesor y el volumen del cartílago; la intensidad de la señal y las propiedades físicas relacionadas con la integridad del colágeno y el edema; la perfusión del cartílago y la permeabilidad de membrana relacionada con la neovascularización y la presencia de áreas con realce tardío, relacionadas con la concentración de proteoglicanos.

Toda esta información puede ayudar al diagnóstico precoz de la enfermedad, establecer el grado de afectación, valorar el pronóstico, incidir en la decisión terapéutica y evaluar

la eficacia del tratamiento. El estudio de las alteraciones estructurales y funcionales del cartílago mediante RMN es un excelente biomarcador de la degeneración del cartílago.

## **4.2 Cartílago articular**

El cartílago articular es un tejido altamente especializado que se interpone entre dos superficies óseas, su integridad es muy importante ya que por sus propiedades de resistencia a las fuerzas de compresión y de elasticidad permite el deslizamiento de dichas superficies gracias a un coeficiente de fricción extremadamente bajo, siendo así, el cartílago articular fundamental para el correcto funcionamiento de una articulación sinovial. El cartílago articular es un tejido avascular, aneural y alinfático.

Tiene como función disipar y transmitir la fuerza sobre las superficies articulares, amortiguar las cargas y dar una superficie de deslizamiento adecuado lo cual es vital en las articulaciones de tipo diartrosis.

El cartílago articular se compone de: (Figuras 1 y 2)

A. Agua (65-80%): Está presente en mayor cantidad en las porciones superficiales del cartílago y su contenido aumenta con el proceso de envejecimiento y en las alteraciones degenerativas.

B. Colágeno (10-20%): El colágeno que predomina es el tipo II (95%), corresponde a la matriz de sostén del cartílago y provee resistencia a las fuerzas de tensión. El colágeno es el principal componente en el cartílago deshidratado.

C. Proteoglicanos (10-15%): Son producidos por los condrocitos, siendo sus subunidades, los glicosaminoglicanos (GAG). Proveen resistencia a las fuerzas de compresión y tienen resistencia elástica.

D. Condrocitos (5%): Corresponden a la parte celular del cartílago y son los encargados de producir los proteoglicanos, el colágeno, las proteínas y algunas enzimas. y aumenta su contenido de agua. Estas alteraciones en conjunto determinan una pérdida de las características y funciones del cartílago haciéndolo menos resistente y proclive a lesionarse con ulceraciones y fisuras.

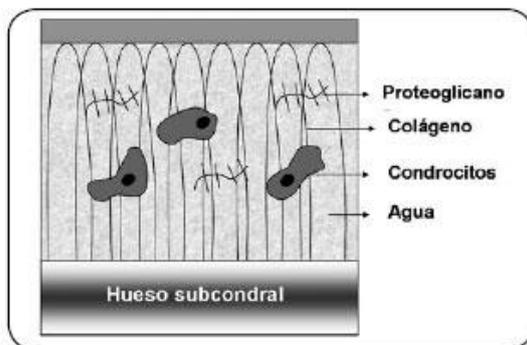


Figura 1. Esquema que muestra los distintos componentes del cartílago articular.

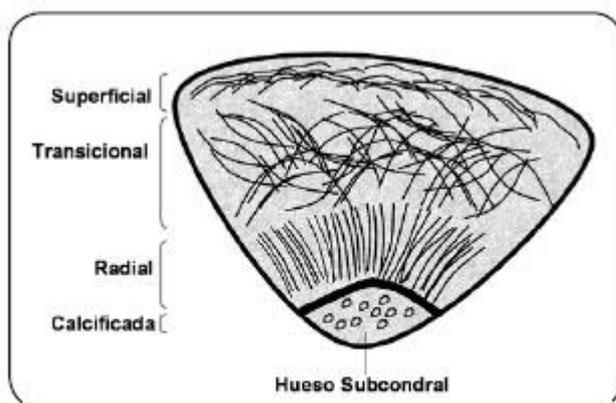


Figura 2. Esquema de las distintas porciones del cartílago articular, dependiendo de la orientación de las fibras de colágeno.

### **4.3 Capas del cartílago articular**

En el cartílago articular se pueden distinguir 4 zonas útiles en la compresión de la anatomía del cartílago y de la enfermedad las siguientes capas: (Figura 1)

Capa Superficial o de Deslizamiento (40 Mm): Corresponde del 1 al 3 % de espesor del cartílago. Esta presenta escasa actividad metabólica. Tiene pocos proteoglicanos y una elevada concentración de fibras de colágeno distribuidas perpendicularmente entre sí y paralelas a la superficie. Soporta las fuerzas de cizallamiento. Los condrocitos presentes están aplanados y paralelos a la superficie.

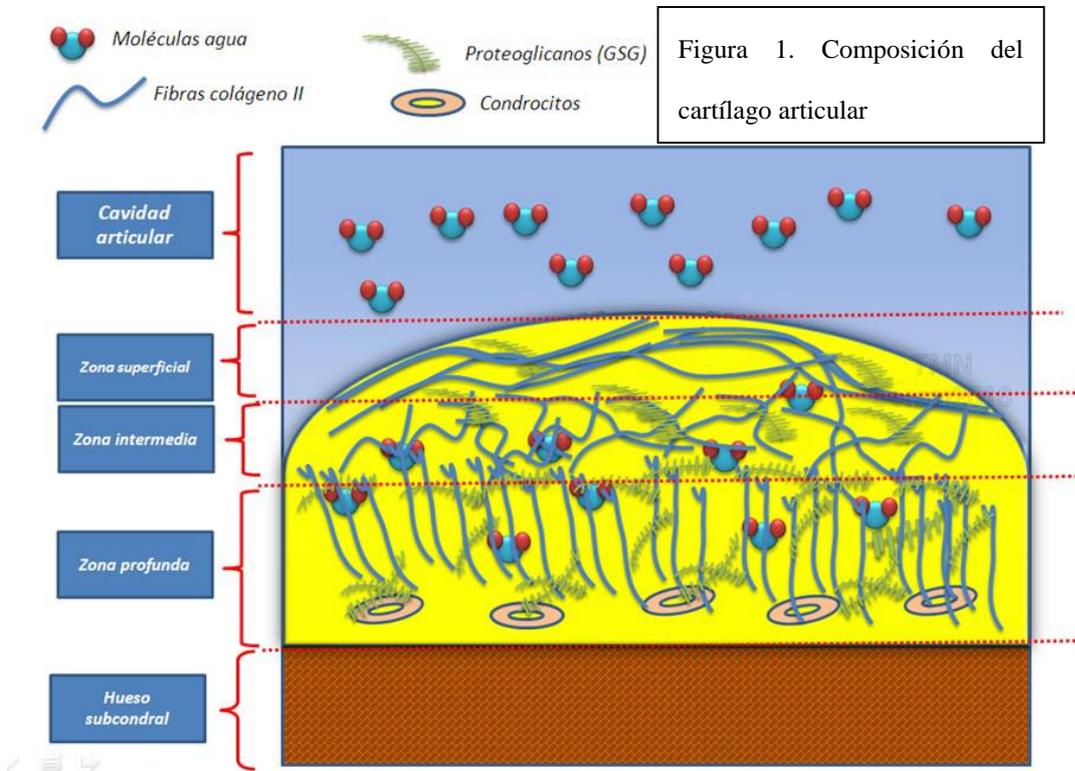
Capa Intermedia o de Transición (500 mm): Presenta elevada actividad metabólica. Mayor presencia de proteoglicanos y menos colágeno, dispuesto oblicuamente y al azar. Soporta fuerzas de compresión y los condrocitos presentes son más redondeados.

Capa Profunda o Radial (1000  $\mu$ m): Representa el 50% del espesor del cartílago. Rica en proteoglicanos y fibras de colágeno. Se distribuye radialmente formando arcos. Los condrocitos presentes son redondeados y se disponen formando columnas. Soporta fuerzas de compresión.

Capa Calcificada (300 mm): No presenta proteoglicanos. El colágeno se dispone radialmente. Presenta cristales de hidroxapatita y está adyacente al hueso subcondral. Es la capa de anclaje del cartílago al hueso. La celularidad es escasa. Está separada de la anterior por la “línea de flujo” (tidemark), de 5  $\mu$ m de grosor, que es una barrera ondulada

con disposición tangencial de sus fibras y que permite soportar fuerzas de cizallamiento.

(3)



#### **4.4 Cartílago articular de la articulación femoropatelar**

Todas las superficies de deslizamiento articular están cubiertas por cartílagos protectores del hueso en las zonas de contacto. Existe una cubierta cartilaginosa para ambos cóndilos femorales, patillos tibiales y facetas rotulianas. La capa de cartílago es más gruesa en los puntos de mayor fricción. En el fémur lo es en la porción media de los cóndilos y en la garganta de la tróclea. En la tibia aumenta en el centro de las cavidades glenoideas o patillos, y se adelgaza en la periferia.

## 4.5 Lesiones condrales

Se pueden encontrar varias clasificaciones de lesiones condrales tanto del punto de vista imagenológico como artroscópico. En este aspecto es importante la comunicación con los clínicos, especialmente traumatólogos, debiendo los radiólogos usar clasificaciones conocidas y usadas por los clínicos que interactúan con nosotros y si es necesario adecuar las clasificaciones fundamentalmente artroscópicas a nuestros informes imagenológicos. Una de las clasificaciones más utilizada por los clínicos dedicados al tema de las lesiones condrales es la clasificación de la ICRS (international Cartilage Repair Society). Esta clasificación artroscópica es fácil de extrapolar a nuestros estudios de imagen pues se basa fundamentalmente en la profundidad de la lesión.

Clasificación ICRS (International Cartilage Repair Society) de las lesiones condrales

- 0 Normal
- 1 A Fibrilación superficial o reblandecimiento B Fisuras superficiales y laceraciones
- 2 Defecto < 50%
- 3 A Defecto > 50% sin alcanzar lámina calcificada B Defecto >50% alcanza lámina calcificada
- 4 A Defecto total con compromiso de placa subcondral B Defecto total compromiso profundo a placa subcondral.

En el cartílago articular se reconocen distintas porciones dependiendo de su profundidad, y la orientación que adquieren las fibras de colágeno. Así, se reconoce una porción superficial que abarca aproximadamente el 10 a 20% del grosor del cartílago, donde las fibras de colágeno se disponen en forma paralela a la superficie del cartílago. La porción transicional que corresponde al 40 – 60%, donde las fibras de colágeno tienen una disposición aleatoria. En la porción radial correspondiente al 30% aproximadamente, las fibras de colágeno tienen una disposición perpendicular a la superficie y es la porción donde el entrelazado de colágeno es más compacto. Por último, la lámina calcificada corresponde a la zona donde el cartílago se fusiona a la cortical articular ósea. Los procesos de envejecimiento y degeneración del cartílago articular se asocian a pérdida de la capacidad reproductiva de los condrocitos, disminución de los proteoglicanos, el cartílago se hace más rígido. (4)

#### **4.6 Resonancia magnética del cartílago articular normal**

Las capas o láminas de intensidad de señal variable son el rasgo característico de las imágenes de RM de cartílago articular normal. Cuando las imágenes se adquieren con la superficie articular perpendicular al campo magnético principal ( $B_0$ ), una capa de transición de mayor intensidad de señal separa la superficie de baja intensidad de señal de una capa profunda de baja intensidad de señal adyacente al hueso subcondral. Estas capas reflejan la variación continua en los valores de T2 en todo el grosor del tejido. T1, la difusión y la densidad de protones solo tienen una influencia mínima en el contraste del tejido. El tiempo mínimo de relajación T2 en el cartílago articular es corto: aproximadamente 10 ms. Como resultado, T2 es el determinante del contraste del tejido incluso en imágenes ponderadas en T1 y en densidad de protones. En las imágenes cortas

de TE adquiridas con secuencias de gradiente-eco o técnicas de reconstrucción de proyección, la influencia de la relajación de T2 se puede minimizar, produciendo imágenes de cartílago con una intensidad de señal uniforme. Sin embargo, los efectos de truncamiento pueden causar una apariencia similar a las capas que se ven en las imágenes de TE más largas. Los efectos de transferencia de magnetización también pueden alterar el aspecto laminar en imágenes de eco-espín rápido de multiecho nacido al disminuir la intensidad de la señal.

Aunque el cartílago parece relativamente uniforme en la inspección general, la orientación del colágeno y la concentración de agua, condrocitos y proteoglicanos varían a lo largo del espesor del tejido. La presencia de capas en el cartílago observada en las imágenes de RM sugiere una correlación con la organización zonal histológica.

Las investigaciones iniciales sobre la histología del cartílago sugirieron que la estructura del cartílago es específica de la articulación. Las líneas divididas, creadas en superficies articulares mediante la perforación del cartílago con un pasador redondo, están dispuestas en patrones que son característicos de las articulaciones individuales. Investigaciones posteriores establecieron que la forma de la matriz subyacente determina la orientación de línea dividida. Las líneas divididas son, en efecto, el aspecto más superficial de un plano de fractura. Por lo tanto, los patrones de línea de división de la superficie reflejan la organización de toda la matriz extracelular del cartílago de una articulación en particular. La previsibilidad de los patrones de línea dividida sugiere que las variaciones en la estructura de la matriz también son predecibles. Variaciones específicas de la articulación y reproducibles en la forma de la matriz de meseta tibial, lo que sugiere una estructura o arquitectura característica, ya se han informado.

Debido a la fuerte influencia de la estructura de la matriz en el contraste T2, la aparición de cartílago articular en las imágenes de RM también debe ser característica o específica de la articulación. También deben esperarse variaciones regionales en el aspecto de cartílago de la RM en otras articulaciones. Desafortunadamente, esta variabilidad en la estructura del cartílago complica los esfuerzos para desarrollar métodos estandarizados para monitorear la lesión, degeneración y reparación del cartílago. La fuerte influencia de la estructura en el contraste de la imagen de RM indica que la RM es ideal para la evaluación de la integridad del tejido. Aunque las secuencias de imágenes clínicas actuales no pueden mostrar de manera confiable los cambios tempranos de la anatomía y la composición del cartílago, las nuevas técnicas (que se analizan más adelante en esta investigación) son prometedoras para poder detectar dichos cambios. (5) (6)

## **5 Referente Empírico:**

Se toman como muestra los 54 documentos que contienen investigaciones acerca de la utilización de la resonancia magnética nuclear para la evaluación del cartílago articular, los cuales se encuentran en una tabla citados en el anexo de esta investigación.

### **5.1 Marco metodológico:**

Esta investigación es CUANTITATIVA, EXPLORATORIA y DESCRIPTIVA.

La **investigación Cuantitativa** trata de determinar la fuerza de asociación o correlación entre variables, la generalización y objetivación de los resultados a través de una muestra para hacer inferencia a una población de la cual procede la muestra.

Es **exploratoria** porque no intenta dar explicación respecto del problema, sino sólo recoger e identificar antecedentes generales, números y cuantificaciones, temas y tópicos respecto del problema investigado, sugerencias de aspectos relacionados que deberían examinarse en profundidad en futuras investigaciones. Su objetivo es documentar ciertas experiencias, examinar temas o problemas poco estudiados o que no han sido abordadas antes.

Por lo que la necesidad de una investigación exploratoria surge cuando se necesita:

- Obtener información sobre la posibilidad de llevar a cabo una investigación más completa sobre un contexto particular de la vida real. Por lo que este tipo de estudio pretende generar datos e hipótesis que constituyen la materia prima para investigaciones más precisas.
- Investigar comportamientos que se consideran cruciales.
- Identificar conceptos o variables promisorias.

- Establecer prioridades para investigaciones futuras.
- Sugerir afirmaciones (postulados) verificables.

Es **descriptiva** porque describe situaciones o eventos, especifica propiedades o cualquier otro fenómeno que sea sometido a análisis. Mide o evalúa diversos aspectos, dimensiones o componentes del fenómeno a investigar, (desde el punto de vista científico describir es medir). (7)

## **5.2 Técnica de recolección de datos:**

En este trabajo hicimos una revisión bibliográfica descriptiva que proporciona al lector una puesta al día sobre conceptos útiles en áreas en constante evolución. Este tipo de revisiones tienen una gran utilidad en la enseñanza y también interesará a muchas personas de campos conexos, porque leer buenas revisiones es la mejor forma de estar al día en nuestras esferas generales de interés. (8) (9)

Se ha realizado para valorar la resonancia magnética nuclear en el diagnóstico de condropatías rotulianas contrastando las técnicas utilizadas para la evaluación del cartílago articular.

Al final de la búsqueda bibliográfica y aplicando distintos filtros se encontraron unos 54 documentos que se corresponden a trabajos de investigación referentes al tema y a revistas científicas a través del buscador google académico, cuyo análisis ha permitido dar respuesta a los objetivos planteados en este trabajo.

Dichos documentos pueden encontrarse listados en una tabla en el anexo de este trabajo.

## **6 Resultados:**

### **6.1 Mapa T2 o Cartograma**

El estudio mapa T2 del cartílago articular es un método cuantitativo de evaluación de la estructura interna del cartílago. Con esta técnica es posible medir el tiempo de relajación T2 del cartílago. Los tiempos de relajación T2 en el cartílago normal son menores en las capas más profundas donde el entrelazado de fibras de cartílago es más compacto y hay menos cantidad de agua. Los tiempos de relajación T2 aumentan hacia las porciones más superficiales del cartílago.

Este método se basa fundamentalmente en que las alteraciones degenerativas producen desorganización de la matriz de colágeno, la que se hace más laxa permitiendo mayor contenido de protones de H<sub>2</sub>O o los que además están más libres, lo que produce aumento de los valores de relajación T2 por sobre niveles normales. Con el programa adecuado, en la estación de trabajo es posible medir el tiempo de relajación T2 en milisegundos, situando el área de interés donde se estime necesario, lo que permite cuantificar objetivamente las alteraciones. Además, esto se puede representar morfológicamente en imagen de colores usando escala predefinida para hacerlo visualmente detectable (Figura 1).

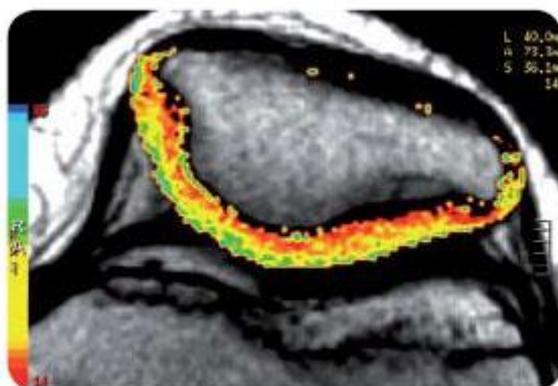


Figura 1. Mapa T2 con escala de colores de cartílago rotuliano normal donde la parte más profunda muestra coloración roja indicando niveles bajos de tiempos de relajación T2, la parte central coloración amarilla y la zona más superficial coloración verde indicando niveles más altos de T2.

El mapeo T2 del cartílago articular hialino refleja las interacciones entre las moléculas de agua y entre las macromoléculas de los alrededores y es altamente sensible a las alteraciones de la matriz del cartílago. El aumento de las interacciones entre el agua y macromoléculas tales como las de colágeno resultaron en una disminución de T2. Por lo tanto, T2 es altamente sensible a los cambios en la hidratación y en la orientación normalmente anisotrópica de las fibrillas de colágeno dentro de la matriz extracelular del cartílago que resultan de procesos fisiológicos o fisiopatológicos en el cartílago. En el cartílago normal, las diferencias regionales y zonales en la densidad y la organización de la matriz de colágeno aparecen como variaciones en T2.

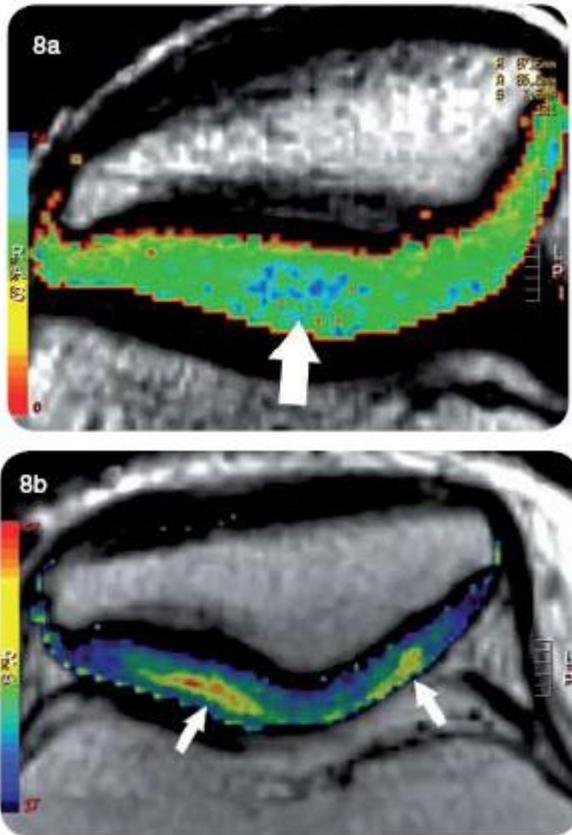
Mientras que la RM de rutina permite una evaluación subjetiva de los cambios T2 del cartílago, el mapeo T2 cuantitativo proporciona datos objetivos mediante la generación de un mapa, ya sea de color o en escala de grises que representan variaciones en el tiempo de relajación en el cartílago. De esta manera se torna útil para identificar los sitios de la etapa inicial (degeneración temprana de la matriz de colágeno en el cartílago), que aparecen como áreas con T2 mayor que la del cartílago normal. En comparación con los

valores de T2 mapeadas en el cartílago hialino normal, las que se encuentran en el cartílago artrósico son más heterogéneas.

Los mapas T2 se pueden utilizar para diferenciar las áreas normales del cartílago de áreas de degeneración.

Como este no es un estudio morfológico sino más bien cuantitativo su mayor utilidad es detectar alteraciones intra-sustancia iniciales del cartílago previo a las ulceraciones o fisuras de su superficie (Figura 2). Esta capacidad hace que este método pueda evaluar la evolución de alteraciones condrales incipientes después de tratamientos farmacológicos o de otra naturaleza. De las técnicas más avanzadas para evaluación de cartílago esta es la que se está usando más en la práctica clínica.

Figura 2. Mapa T2 color en dos distintos pacientes mostrando zonas alteradas (flechas) con aumento de niveles T2 en el espesor del cartílago articular.



El T2 se relaciona con la capacidad de los protones para moverse e intercambiar energía en la matriz cartilaginosa. Los T2 varían según la integridad de este tejido. El T2 del cartílago varía también desde la capa profunda, donde es más corto, a la superficial, que brilla más en estas secuencias.

En el cartílago articular está principalmente influido por el contenido relativo de agua en el píxel y, en menor medida, también por la integridad de la matriz colágena. Hay que

tener en cuenta que este parámetro aumenta con la edad de los sujetos, por lo que son más relevantes los cambios locales que los valores globales. Los mapas paramétricos de los valores de T2 del cartílago permiten evaluar su composición regional de colágeno y su proporción de agua. Ambos factores están alterados en las lesiones cartilaginosas.

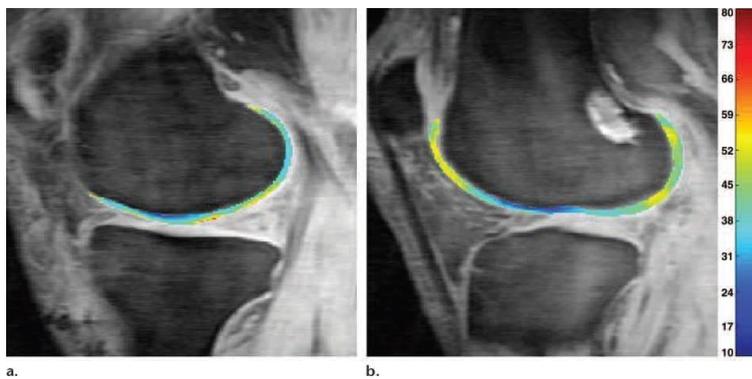
El cartílago articular consiste en una matriz porosa hinchada por el agua, y la mayor parte de la matriz consiste en colágeno tipo II y proteoglicanos. El colágeno tiene una disposición específica en el tejido, que comienza en la superficie como una zona de láminas de fibrillas alineadas tangencialmente. Debajo de esto hay una zona de transición de fibrillas alineadas al azar, seguida de una zona radial profunda con fibrillas alineadas perpendiculares a la superficie articular. Los proteoglicanos tienen muchas cadenas laterales de glicosaminoglicanos (GAG), con una alta carga negativa que proporciona el gradiente de conducción para hinchar el cartílago con agua. Informes anteriores han documentado la disminución del tamaño de proteoglicanos y el contenido de glicosaminoglicanos con el envejecimiento y la enfermedad, que a su vez aumenta el contenido de agua y la movilidad en el cartílago.

La compleja estructura del cartílago proporciona sus propiedades mecánicas y de imagen únicas. La presencia de una alta concentración de proteoglicanos que se inmovilizan en la red de colágeno del cartílago crea una gran presión osmótica que atrae el agua hacia el tejido, lo que proporciona resistencia a las cargas compresivas. Las descripciones previas de imágenes de RM de cartílago dañado han aludido al aumento aparente en los valores de T2 debido a un aumento en el contenido relativo de agua y una disminución de los efectos de acortamiento de T2 de la matriz en el agua. Además, estos efectos podrían

observarse en las primeras etapas de degradación, antes de que se produjera un adelgazamiento de la matriz.

Es posible que los cambios subyacentes en el cartílago que conducen a un mayor valor de T2 se produzcan de manera similar al inicio del desarrollo de la enfermedad y no progresen tanto como la degradación mecánica del cartílago. (Figura 3.)

Figura 3. mapas T2 en un hombre de 51 años de edad, muestra los valores de T2 más altos (amarillo) en los compartimentos tibiofemoral medial (a) y lateral (b), hallazgos indicativos de deterioro de la integridad y la orientación de la red de colágeno.



Los cambios en los valores de T2 del cartílago afectado están respaldados por una correlación negativa significativa con el volumen y el grosor del compartimento del cartílago en la región medial. Por lo tanto, la degradación del cartílago se refleja en valores más altos de T2. (10)

## 6.2 Tiempo de relajación T2 del cartílago articular normal

El cartílago articular normal tiene un aspecto estriado, con un tiempo de relajación T2 más bajo en la capa profunda, un tiempo de relajación T2 más alto en la capa superficial y una transición suave entre las dos capas. El tiempo de relajación T2 y el espesor de las capas profundas y superficiales variaron de una superficie articular a otra y en diferentes regiones en la misma superficie articular. (Figuras 1, 2,3 y 4)

Imágenes en un hombre de 21 años con cartílago articular normal dentro de la articulación de la rodilla.

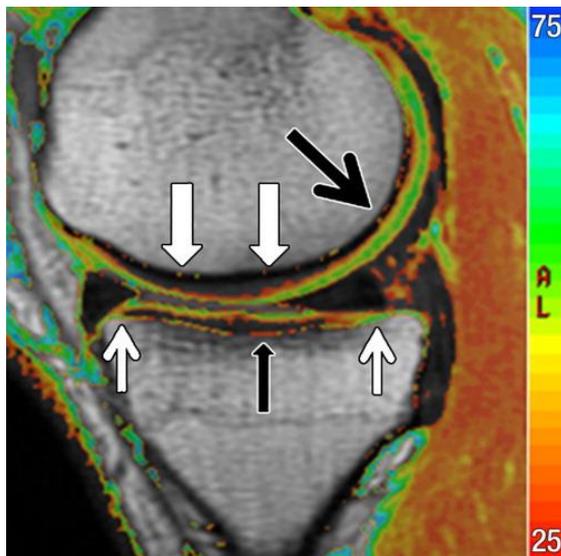


Figura 1

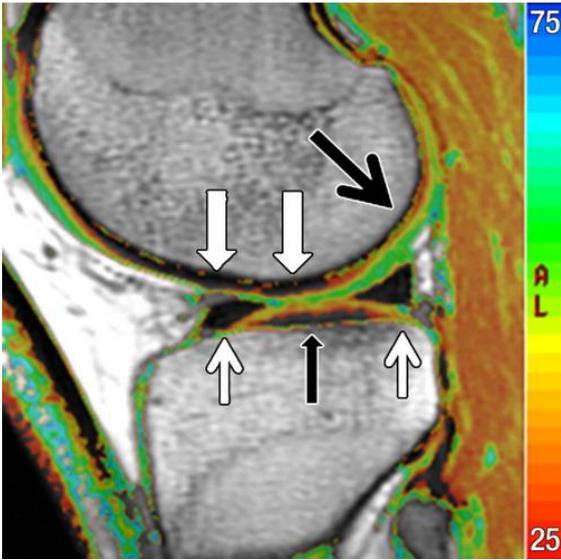


Figura 2

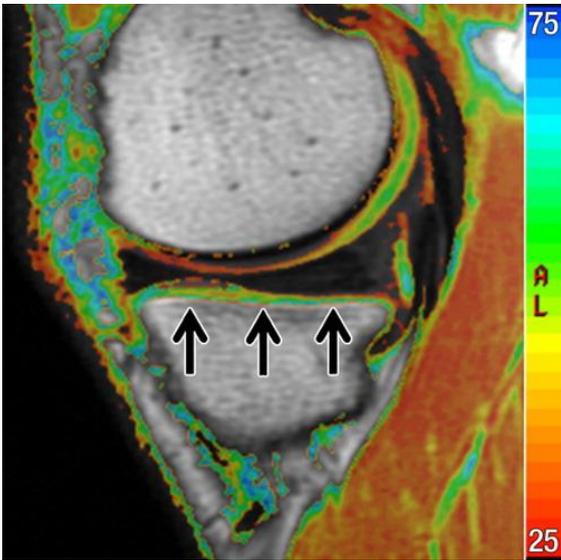


Figura 3

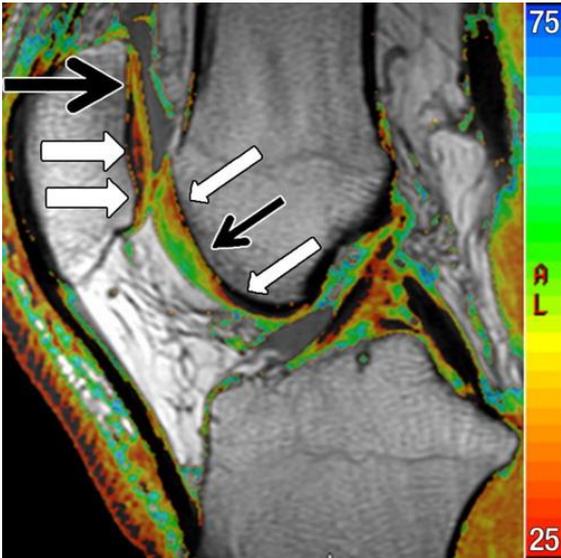


Figura 4

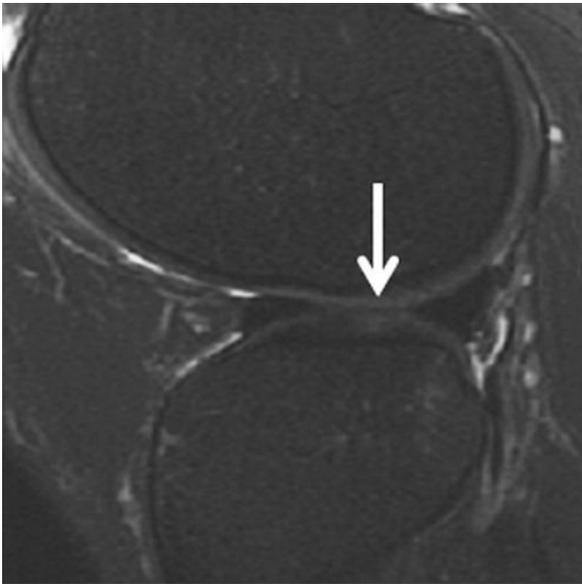


Figura 5 a.

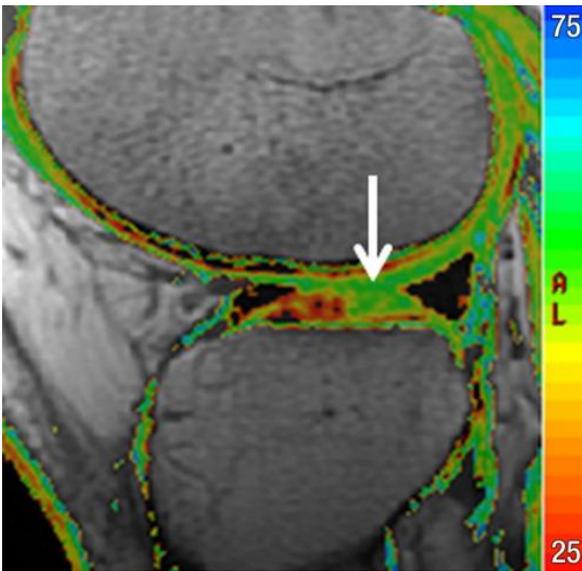


Figura 5 b.

Los mapas T2 sagitales a través de:

**(Figura 1)** la porción central del cóndilo femoral medial y la meseta tibial y

**(Figura 2)** la porción central del cóndilo femoral lateral y la meseta tibial muestran una capa profunda (negra y / o roja) y una capa superficial (amarilla y / o verde) de cartílago. La capa de cartílago profundo es mucho más gruesa en las superficies de apoyo anterior y central (flechas blancas gruesas) que en la superficie de apoyo posterior (flecha negra grande) de los cóndilos femorales y mucho más gruesa en la superficie de apoyo del peso (flecha negra pequeña) de meseta tibial que en la superficie periférica (flechas blancas delgadas) debajo de los cuernos de los meniscos.

**(Figura 3)** El mapa sagital T2 a través de la porción medial lejana del cóndilo femoral medial y la meseta tibial muestra una capa delgada y profunda de cartílago en la superficie periférica (flechas) de la meseta tibial debajo del cuerpo del menisco.

**(Figura 4)** El mapa sagital T2 a través de la rótula y la tróclea muestra una capa profunda (negro y / o rojo en la rótula y negro y / o rojo y / o amarillo en la tróclea) y una capa superficial (amarilla y / o verde en la rótula y verde en la tróclea) del cartílago. La capa de cartílago profundo es más gruesa en las porciones media e inferior (flechas blancas gruesas) que en la porción superior (flecha negra grande) de la rótula y es más gruesa en las porciones superiores e inferiores (flechas blancas delgadas) que en la porción media (flecha negra pequeña) de tróclea.

**Figura 5.** Imágenes en un hombre de 40 años con cartílago articular artroscópicamente normal en el cóndilo femoral lateral (clasificado como lesión de cartílago grado RM 1A).

(a) La imagen sagital del eco de espín rápido ponderada en T2 con supresión de grasa muestra un cartílago articular de aspecto normal en el cóndilo femoral lateral (flecha).

(b) El mapa sagital T2 correspondiente muestra el área de mayor tiempo de relajación T2 en el cóndilo femoral lateral (flecha).

### **6.3 Protocolo de RM ejemplo de Mapa T2**

La RM se realizó en un escáner de RM de cuerpo entero 3.0 T (Magnetom TimTrio, Siemens Medical Solutions, Erlangen, Alemania), con un gradiente de 40 mT / m, utilizando una bobina de matriz de rodilla de ocho canales (IN vivo, Gainesville, FL, ESTADOS UNIDOS). Se tomó especial cuidado para asegurar que todos los pacientes se colocaran cuidadosamente con la articulación de la rodilla en el centro de la bobina y se extendieran. La rodilla estaba firmemente sujeta con cojines adecuados para evitar el movimiento.

El protocolo de imágenes de RM consistió en una adquisición de T2 sagital, de eco múltiple, de eco de espín. (ver tabla I)

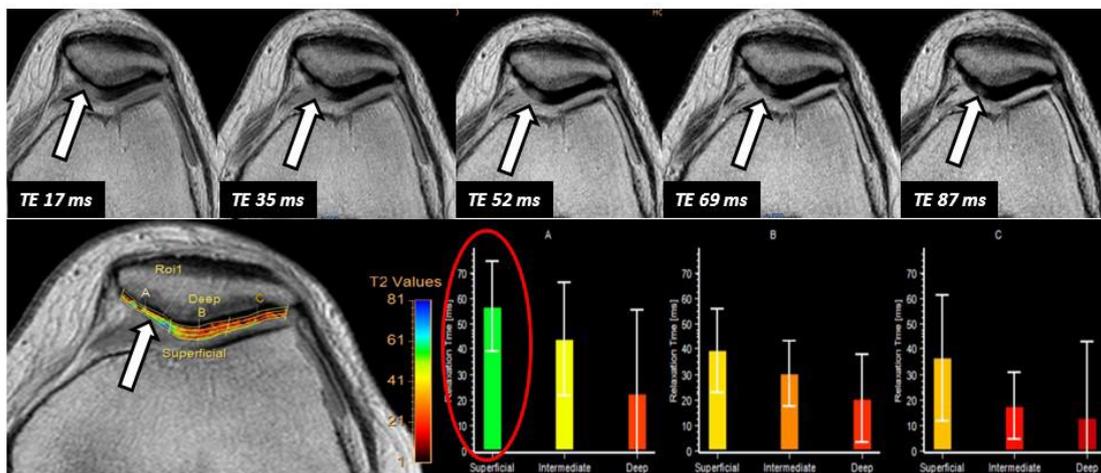
<b>Tabla I</b> Especificaciones del protocolo de MRI			
<b>Secuencia</b>	<b>FISP verdadero 3D</b>	<b>PD TSE</b>	<b>Mapa T2</b>
Tiempo de repetición (ms)	8.86	2400	1200
Tiempo de eco (ms)	3.82	38	13.8, 27.6, 41.4, 55.2, 69, 82.8
Campo de visión (mm)	160 × 160	120 × 120	160 × 160
Matriz	384 × 384	512 × 512	384 × 384
Tamaño del pixel (mm)	0.4 × 0.4 × 0.4	0.2 × 0.2 × 2	0.4 × 0.4 × 3
Grosor de sección (mm)	0.4	2	3
Rebanadas	320 por losa	24	12
Ángulo de giro (°)	28	160	180

Ancho de banda (Hz / píxel)	200	244	228
Número de excitaciones	1 / slab sel.	/	/
Longitud del tren de eco	/	76 por rebanada	/
Adquisición paralela	GRAPPA / dos veces	/	GRAPPA / dos veces
Tiempo de examen	6:47	6:11	4:09

Esta técnica basada en la relajación T2 de las moléculas de agua fue de las primeras en ser introducidas para la valoración del cartílago articular (Figura 1).

Figura 1. Esquema bases físicas T2 mapping. La existencia de matriz colágena condiciona un tiempo T2 de relajación corto de las moléculas de agua. La pérdida de colágeno supone una "liberación" de esas moléculas de agua, las cuales muestran un tiempo T2 más largo.

Adquisición de secuencia T2 mapping. Se obtienen múltiples TE con post-proceso que permite valorar en función de la capa el tiempo de relajación para cada segmento rotuliano. Se objetiva un importante incremento del tiempo de relajación en la capa superficial de todo el compartimento medial rotuliano (círculo rojo) en relación con pérdida de colágeno compatible con condromalacia). Para TE más bajos, la alteración de la intensidad de señal patelar es mayor. (flechas)



Los protones de dichas moléculas de agua, justo después de ser excitados por un pulso de radiofrecuencia, se encuentran en fase coherente con un vector de magnetización neto. Cuando cede el pulso de RF comienza a perderse dicha coherencia de fase y a disminuir el vector de magnetización neto decayendo de manera exponencial con el tiempo. Técnicamente, la secuencia de RM se basa en adquirir una secuencia SE T2 con múltiples tiempos de eco ajustándose en el postproceso la caída de intensidad de señal para cada uno de ellos y generándose un mapa paramétrico en el que cada pixel nos indica el tiempo de relajación T2 para cada zona del cartílago tanto desde el punto de vista cualitativo (escala de grises o codificación en color) como cuantitativo (valores específicos de T2 para cada vóxel). En el cartílago articular normal, el agua, es uno de sus principales componentes y presenta un determinado grado de limitación en su movimiento debido a la existencia de la matriz extracelular, principalmente de las fibras de colágeno (Figura

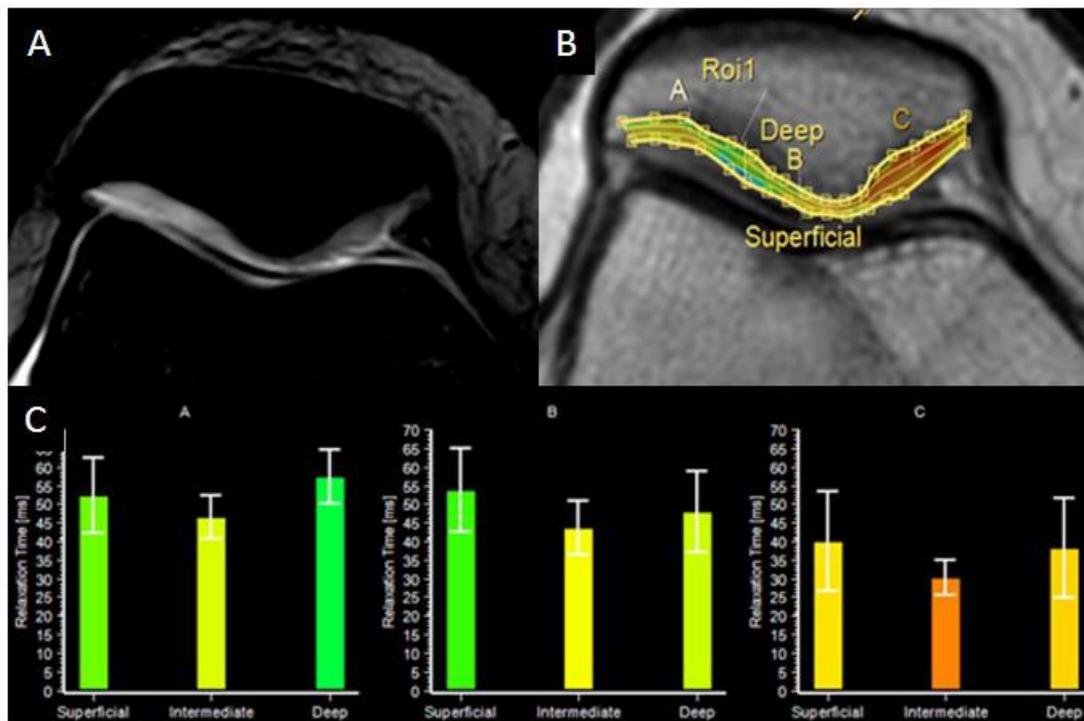
2).

Figura 2. T2 mapping.

A. Alteración difusa de la intensidad de señal en cóndilo femoral externo en secuencias T2 FFE.

B. T2 mapping confirma un incremento difuso en los valores de tiempo de relajación T2 en todas las capas (color verde) en comparación con la faceta intacta (color naranja-rojo).

C. Esta secuencia permite cuantificar el grado de daño del cartílago hialino con vistas a seguimiento de la enfermedad degenerativa o control terapéutico más preciso.



Dicha limitación de movimiento favorece que el tiempo de relajación (T2) sea menor, más corto. Por lo tanto, las características del tiempo de relajación T2 del cartílago dependerán de la cantidad de moléculas de agua y de la integridad de la matriz extracelular. Existen variaciones fisiológicas en los valores de relajación T2 según la zona del cartílago y el área de la articulación a valorar (influenciados por la disposición del cartílago y por el efecto de ángulo mágico), datos que hay que tener en cuenta a la hora de considerar como normal o patológico un incremento focal en el tiempo de relajación. La principal utilidad de esta secuencia es la valoración de la pérdida de colágeno (y el incremento en la cantidad de agua secundario que se produce) (11) (12)

Las secuencias de mapeo T2 no se basan en la resolución espacial para identificar cambios superficiales en la morfología del cartílago, sino que representan áreas de mayor contenido de agua y alteración de la estructura de la matriz de colágeno en cartílago degenerativo. También pueden representar áreas de reblandecimiento del cartílago con sensibilidad moderada y, por lo tanto, pueden ayudar a detectar cambios en la composición y la ultraestructura tridimensional del cartílago degenerativo incluso antes de que ocurran cambios en la morfología del cartílago. (13)

La capa profunda de cartílago en los cóndilos femorales medial y lateral y las mesetas tibiales medial y lateral tuvieron un tiempo de relajación T2 entre 20 y 30 mseg, mientras que la capa superficial tuvo un tiempo de relajación T2 entre 40 y 50 mseg. La capa profunda comprendía el 75% del grosor de las superficies de soporte de peso anterior y central y menos del 20% del grosor de la superficie de soporte de peso posterior de los cóndilos femorales. La capa profunda comprendía entre el 50% y el 75% del grosor de la

superficie central que soporta el peso de la meseta tibial y menos del 10% del grosor en las regiones periféricas debajo del cuerpo y los cuernos de los meniscos.

La capa profunda de cartílago en la rótula tenía un tiempo de relajación T2 entre 20 y 30 ms, mientras que la capa superficial tenía un tiempo de relajación T2 entre 40 y 50 ms. La capa profunda comprendía el 50% del grosor de las porciones media e inferior de la rótula y menos del 10% del grosor de la porción superior de la rótula. La capa profunda de cartílago en la tróclea tuvo un tiempo de relajación T2 entre 20 y 40 ms, mientras que la capa superficial tuvo un tiempo de relajación T2 entre 50 y 60 ms. La capa profunda comprendía el 50% del grosor de las porciones superior e inferior de la tróclea y menos del 10% del grosor de la porción media de la tróclea.

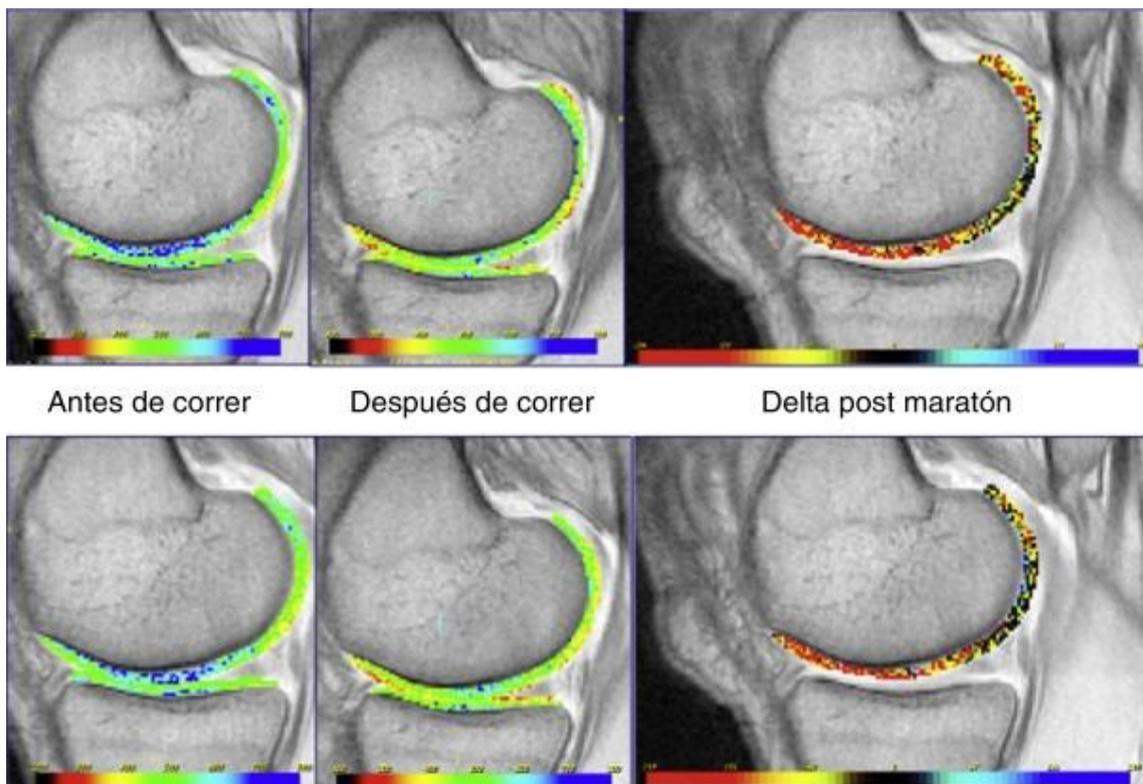
#### **6.4 Realce tardío del gadolinio (dGEMRIC)**

Este método consiste en inyectar por vía intravenosa gadolinio iónico que tiene cargas negativas, y efectuar movilidad activa y ejercicio de la articulación en estudio lo que permitiría paso de contraste hacia el líquido sinovial. Este método permite evaluar la concentración de proteoglicanos (PG) en el cartílago articular. Este estudio se basa en las cargas negativas que tienen los glicosaminoglicanos (GAG), que son las subunidades de los proteoglicanos. Se conoce que con los procesos degenerativos y de envejecimiento del cartílago articular disminuye la cantidad de proteoglicanos. Si existe cantidad normal de glicosaminoglicanos (carga (-)) el contraste (carga (-)) será repelido y no penetrará por difusión al cartílago. Cuando la cantidad de glicosaminoglicanos está disminuida permite

que el contraste penetre e impregne el cartílago en las zonas alteradas. Esta mayor captación se puede representar en imagen color.

En los estudios de RM adquiridos tras la administración de un medio de contraste, éste se distribuye lentamente en el interior del cartílago. Aproximadamente a las 2 h de su administración, y habiendo andado el paciente durante al menos 10 min, su distribución en el cartílago es inversamente proporcional a la concentración de proteoglicanos y glucosaminoglicanos. (Figura 1)

Figura 1. *Delayed Gadolinium Enhanced MRI Cartilage*(dGEMRIC) para la medición de la concentración de glucosaminoglucanos y sus cambios. Ejemplo en un corredor de maratón antes y después de correr.

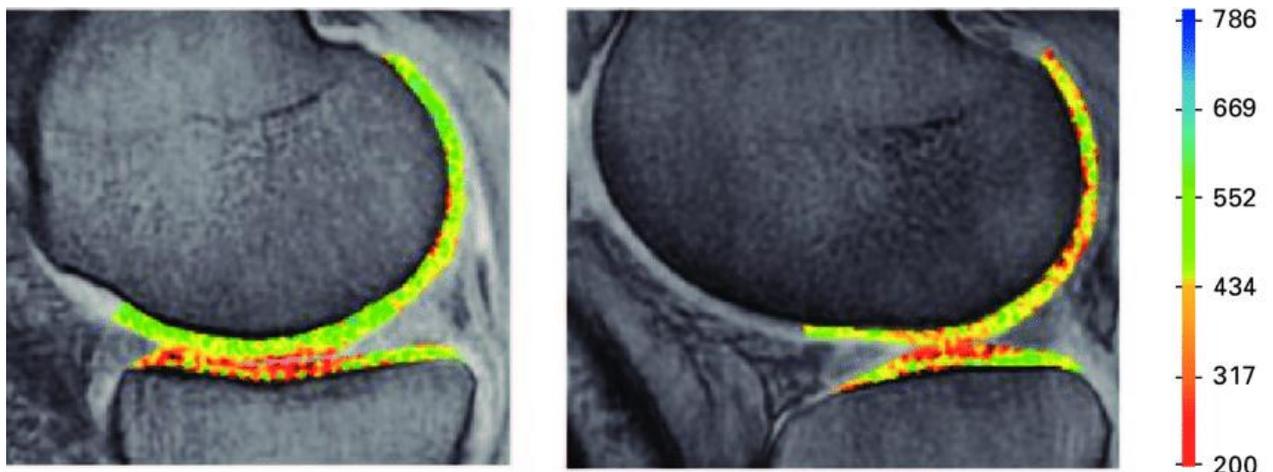


Conocida como dGEMRIC (delayed gadolinium-enhanced MRI of cartilage), se basa en el hecho de que el contraste con carga eléctrica negativa se distribuirá en aquellas regiones que presenten una menor concentración de glucosaminoglicanos y proteoglicanos, o en donde estén dañados. Es por esto que las imágenes paramétricas de los T1, directamente proporcionales a la cantidad local de contraste, pueden considerarse como indicadores de la concentración de estas macromoléculas. Dado que los proteoglicanos son críticos para mantener las propiedades mecánicas de la matriz cartilaginosa y se alteran precozmente con la degeneración, esta técnica es un biomarcador temprano y eficaz para diagnosticar la enfermedad y seguir la eficacia del proceso terapéutico.

Dado que el contraste tiene una carga negativa, será rechazado por los proteoglicanos que también tienen carga eléctrica negativa. Aquellas zonas con una menor proporción de proteoglicanos retienen más este contraste, y su distribución se visualiza con precisión mediante la cuantificación de los T1 longitudinal del cartílago. Se ha demostrado que en la degeneración del cartílago se produce precozmente un daño a la matriz colágena de proteoglicanos. (Figura 2)

Figura 2. Una RM demorada con gadolinio del cartílago (dGEMRIC) de la rodilla que muestra cortes de los compartimentos medial (izquierdo) y lateral (derecho). La escala (ms) representa el índice dGEMRIC (T 1Gd), la escala de color aplicada a la imagen facilita la interpretación visual. Los valores más altos de T 1Gd representan un aumento del contenido de glicosaminoglicano (GAG). La exploración demuestra la reducción fisiológica de la concentración de GAG a medida que uno se desplaza desde las zonas profundas a las del cartílago superficial, especialmente para el cartílago tibial del compartimento lateral. El cartílago tibial del compartimento medial demuestra un agotamiento relativo de los GAG anteriores en comparación con los posteriores, en ausencia de erosión condral, lo que sugiere una osteoartritis anteromedial temprana.

[https://www.researchgate.net/figure/A-delayed-gadolinium-enhanced-MRI-of-cartilage-dGEMRIC-scan-of-the-knee-showing-slices\\_fig3\\_5473576](https://www.researchgate.net/figure/A-delayed-gadolinium-enhanced-MRI-of-cartilage-dGEMRIC-scan-of-the-knee-showing-slices_fig3_5473576)



## 6.5 Protocolo de RM ejemplo de dGEMRIC

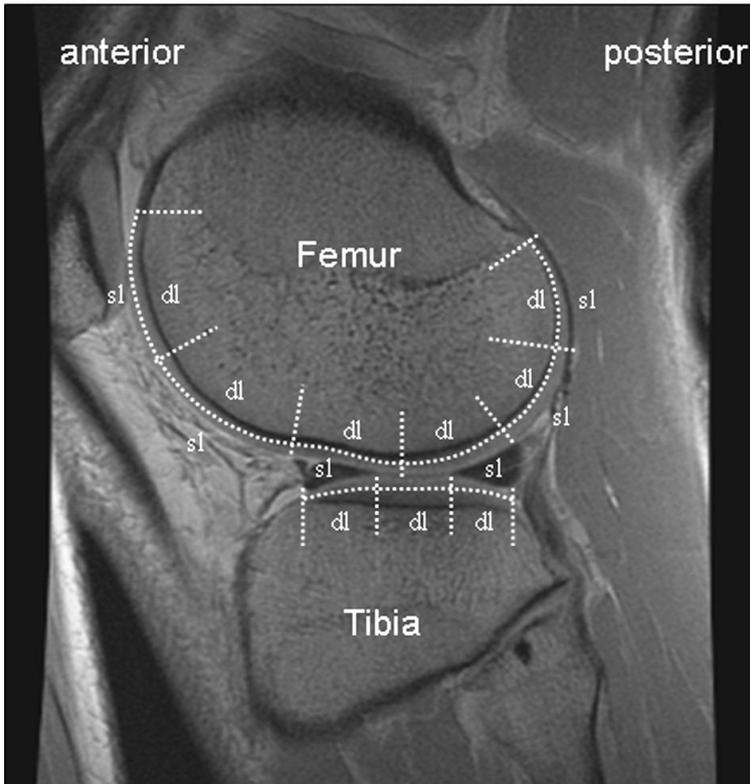
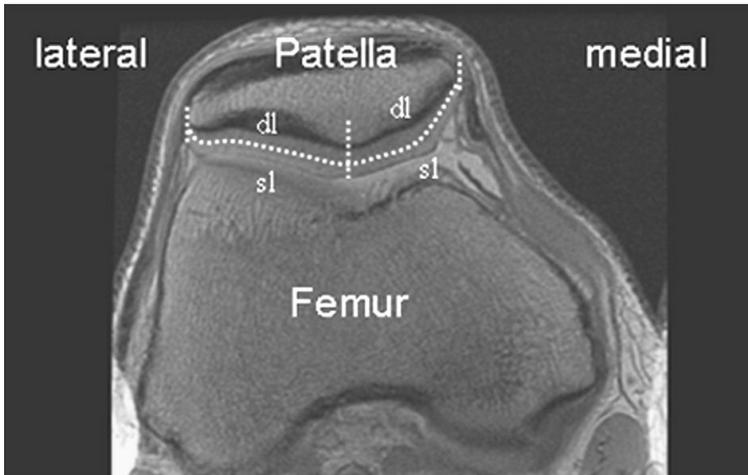
Los cartílagos derecho, femoral y tibial derechos se escanearon con un sistema de imágenes General Electric Signa CV / i 1.5 T MR (GE Medical Systems, Waukesha, Wisconsin) con una bobina de matriz de rodilla de transmisión / recepción HD de 8

canales (*In vivo*corporación, Gainesville, FL, EE. UU.) con la aplicación de un procedimiento de cuña estándar. Los participantes fueron fotografiados en posición supina. La rodilla se colocó en la bobina ajustando el margen inferior de la rótula de acuerdo con la línea central de la bobina. El ángulo de flexión y la rotación de la rodilla se controlaron estabilizando el tobillo en una posición fija con el lado medial del tobillo verticalmente con el uso de un soporte para las piernas y un cojín inflable hecho a medida para fijar la articulación dentro de la rodilla. El cojín se colocó sobre la rodilla con la rótula colocada en el orificio circular del cojín. La presión en el cojín se ajustó individualmente para estabilizar la rodilla dentro de la bobina de manera firme pero cómoda.

Se tomaron imágenes de las siguientes series clínicas de IRM: una secuencia sagital de eco de espín rápido ponderado por densidad de protones (tiempo de repetición (TR) 4000 ms; tiempo de eco (TE) 13 ms; longitud del tren de eco (ETL) 8; campo de visión (FOV) 160 mm; matriz de adquisición  $384 \times 256$ ; grosor de corte de 3 mm), una secuencia de eco de giro rápido ponderada en T2 sagital (TR / TE 4200/89 ms; ETL 15; FOV 160 mm; matriz de  $384 \times 224$ ; 4 mm grosor de corte), una secuencia de eco de giro rápido ponderada en T2 coronal con supresión de grasa (TR / TE 3400/67 ms; ETL 8; FOV 160 mm; matriz de  $384 \times 256$ ; grosor de corte de 4 mm), una secuencia axial de protones ponderada por densidad de protones con supresión de grasa (TR / TE 4000/14 ms; ETL 8; FOV 160 mm;  $384 \times$ Matriz de 256; Grosor de corte de 4 mm) y una secuencia de eco de espín ponderado en T1 coronal (TR / TE 540/10 ms; FOV 160 mm; matriz de  $384 \times 224$ ; grosor de corte de 4 mm).

Para el experimento dGEMRIC, se administró una dosis doble, es decir, 0,2 mM / kg (0,4 ml / kg) de inyección de Gd-DTPA <sup>2-</sup> (Magnevist, Schering Ag, Berlín, Alemania) a través de las venas del antebrazo o la mano. Posteriormente, el sujeto realizó ejercicios activos de flexión y extensión de la rodilla durante 5 minutos mientras estaba sentado en el borde de una mesa y 5 minutos caminando para aumentar la administración de agente de contraste al cartílago. El mapeo T1 se realizó utilizando una secuencia de eco de giro rápido de recuperación de inversión de un solo segmento (TR / TE 1800 ms; TE 13 ms; TI = 1600, 800, 400, 200, 100 y 50 ms; ETL 5; grosor de corte de 3 mm; Matriz 384 × 288; FOV 140 × 105 mm, 0.36 × Resolución de 0,36 mm en plano, ancho de banda del receptor de 41,67 kHz) con un tiempo de imagen de aproximadamente 10,5 minutos por serie.

El procedimiento para un solo posicionamiento dGEMRIC rodamiento fue el siguiente. La vista del explorador de tres planos incluía nueve cortes en cada dirección.

**A****B**

El corte dGÉTRICO sagital se colocó perpendicular a una línea tangencial a los cóndilos femorales posteriores en la vista del explorador axial. Para obtener esta orientación, primero se localizó una secuencia de múltiples cortes, y el número de cortes en la orientación correcta se redujo a uno. La porción restante se colocó en el centro del cóndilo lateral como se ve en la imagen del explorador axial. En el plano axial, el procedimiento

fue similar, es decir, se colocaron múltiples cortes paralelos a una línea tangencial a los cóndilos femorales posteriores en la vista del explorador axial y el corte único restante se colocó en el centro de la rótula en la vista del explorador sagital. (ver figuras 1, 2 y 3)

La presencia de superficies de cartílago intactas se verificó mediante un radiólogo musculoesquelético (RO) a partir de las imágenes clínicas de RM de la primera sesión de imágenes. Esto fue seguido por un análisis dGEMRIC utilizando una rutina de ajuste mono-exponencial en Matlab (versión 7.2, Mathworks, Natick, MA, EE. UU.).

Las superficies del cartílago femoral, tibial y patelar se dividieron para los análisis de las regiones de interés (ROI) de acuerdo con un esquema modificado de Eckstein *et al.* (14) En el plano sagital, el cóndilo femoral lateral central se dividió en seis segmentos y el cóndilo tibial lateral se dividió en tres segmentos. En el plano axial, el cartílago patelar central se dividió en dos segmentos desde el ápice. Cada segmento se dividió adicionalmente en ROI separadas para las mitades superficiales y profundas del espesor del cartílago. También se determinaron valores dGEMRIC de espesor completo para cada segmento. Finalmente, se calcularon los valores en masa para todo el cartílago en cada superficie articular.

Figura 1. Esquema bases físicas dGEMRIC. La existencia de PG y GSG con carga negativa impide (repele) la entrada de las moléculas de gadolinio, ambas con carga negativa. La pérdida de PG y GSG supone un descenso en la carga negativa del cartílago permitiendo la entrada de gadolinio el cual se muestra como focos captantes en el espesor del cartílago dañado. dGEMRIC.

A. Axial DP-T2 F/S muestra alteración focal de la intensidad de señal que afecta a todo el espesor del cartílago rotuliano (flecha).

B. dGEMRIC tras administración IV de gadolinio detecta hiperintensidad focal en la misma zona (flecha) compatible con captación (difusión en el espesor del cartílago del gadolinio) por pérdida de GSG

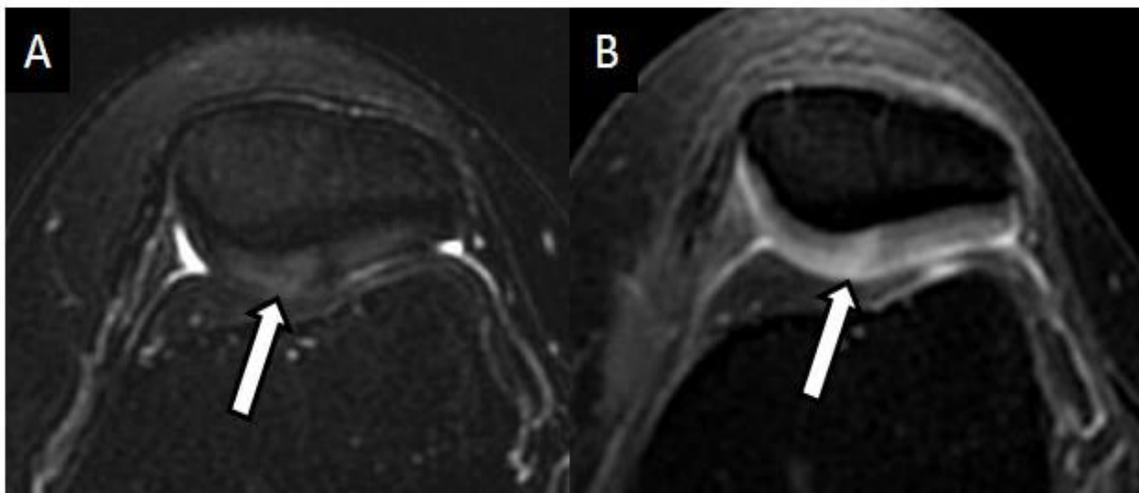


Figura 2. dGEMRIC.

A. Axial T2 FFE muestra una mínima alteración lineal de la intensidad de señal a nivel de cartílago rotuliano sin otros hallazgos asociados (flecha).

B. dGEMRIC tras administración intraarticular de gadolinio detecta hiperintensidad focal en la misma zona (flecha) compatible con captación (difusión en el espesor del cartílago del gadolinio) por pérdida de GSG

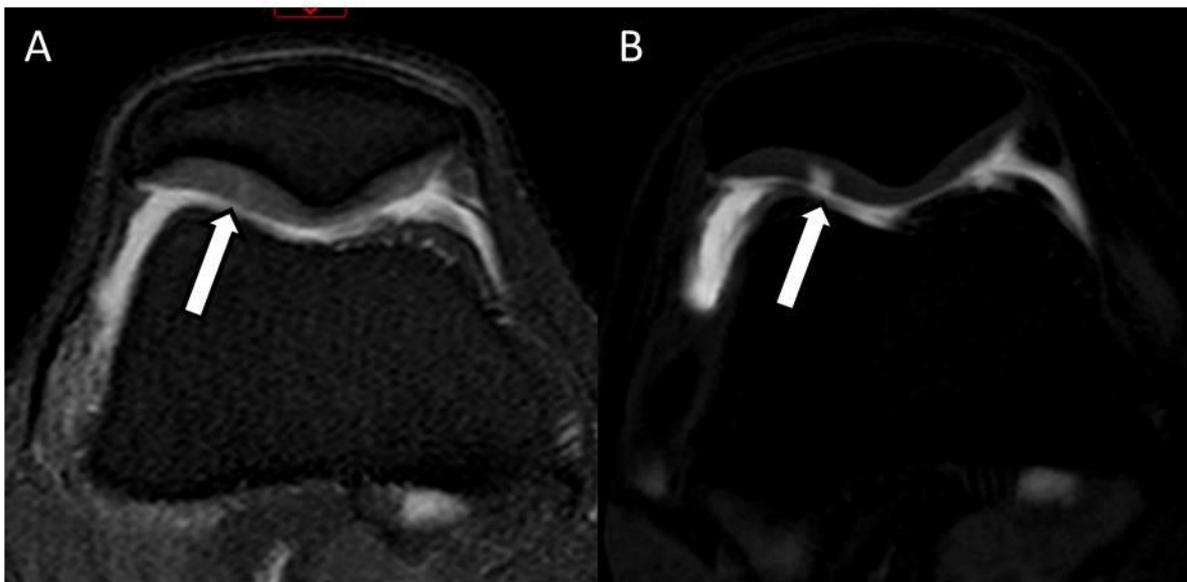
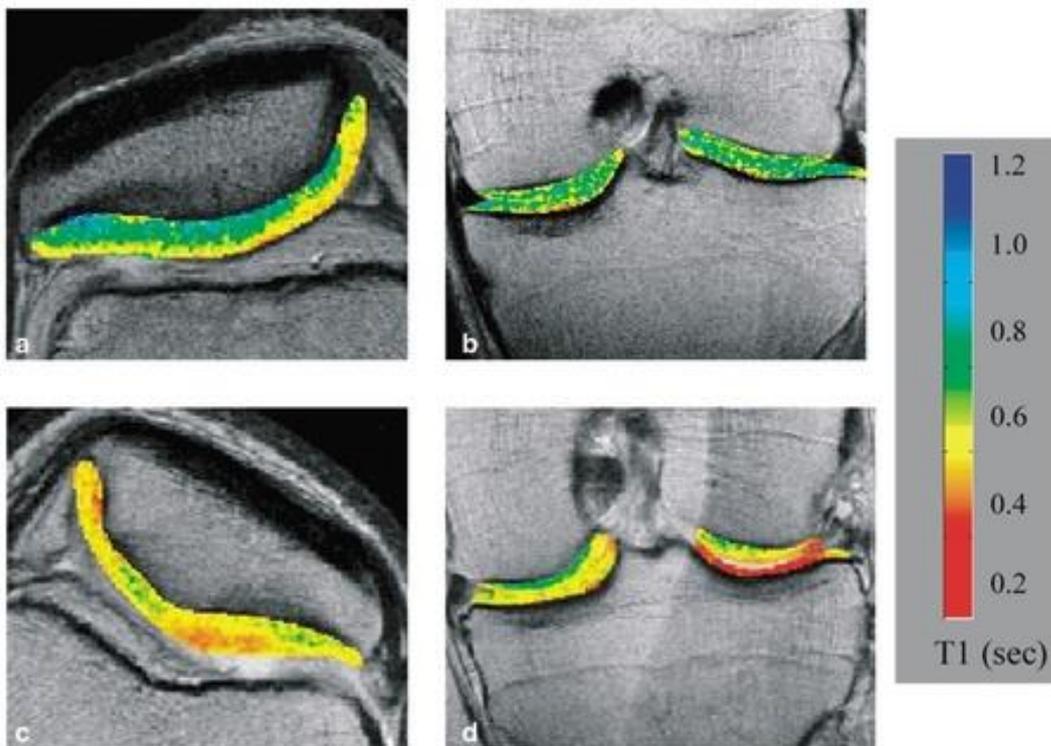


Figura 3.

**a , b:**  $T_1$ : imágenes de cartílago calculadas con valores de  $T_1$  relativamente homogéneos .

**c , d:**  $T_1$ : imágenes de cartílago calculadas con áreas focales (vistas en rojo) de  $T_1$  bajo y, por lo tanto, GAG bajo en la rótula y la meseta tibial lateral.



La imagen con RM retrasada con gadolinio del cartílago (dGEMRIC), mide el contenido de glicosaminoglicanos dentro del cartílago. Se aprovecha la interacción electrostática repulsiva entre las cargas negativas en los glicosaminoglicanos y las cargas negativas en el  $Gd-DTPA^{2-}$  (ácido pentacético de gadolinio dietilentriamina) para medir la

distribución del glicosaminoglicano en el cartílago. En el equilibrio, la cantidad local de Gd-DTPA<sup>2-</sup> dentro de la matriz de cartílago es inversamente proporcional a la concentración local de glicosaminoglicano. Las regiones normales del cartílago tienen un bajo Gd-DTPA<sup>2-</sup> concentración, mientras que las regiones anormales de cartílago tienen concentraciones relativamente altas. La técnica se realizó mediante inyección intravenosa de una dosis doble de gadopentetato de dimeglumina (0,2 mmol / L por kilogramo) seguida de un retraso de aproximadamente 2 horas para el equilibrio del agente de contraste dentro del cartílago. Luego se realizaron las mediciones de T1 y las imágenes se utilizaron para calcular los mapas de T1 que reflejan la distribución local de Gd-DTPA<sup>2-</sup>. En estos mapas T1, las áreas de T1 bajo representan regiones de glicosaminoglicano bajo (alta concentración de Gd-DTPA<sup>2-</sup>). dGEMRIC tiene una gran promesa de medir los cambios bioquímicos en cartílagos intactos morfológicamente que pueden reflejar una degeneración o maduración temprana del tejido de reparación del cartílago.

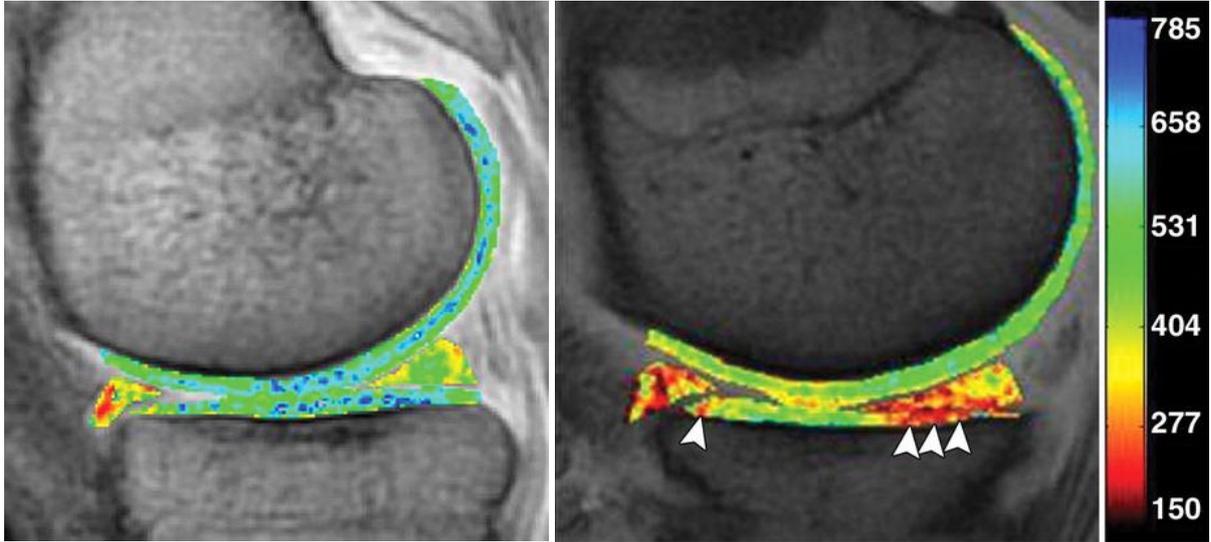
Los iones dentro del líquido intersticial en el cartílago hialino se distribuyen en relación con la concentración de moléculas de glicosaminoglicano cargadas negativamente, que a su vez se relaciona con la cantidad de contenido de proteoglicano.

Cuando las moléculas aniónicas como las de Gd-DTPA<sup>2-</sup> entran en el cartílago, se concentran en áreas donde el contenido de glicosaminoglicanos es relativamente bajo. Como la concentración de moléculas de Gd-DTPA<sup>2-</sup> puede aproximarse midiendo T1, el mapeo T1 del cartílago después de la administración intravenosa de Gd-DTPA<sup>2-</sup> permite una evaluación cuantitativa del contenido de glicosaminoglicanos.

El término *retrasado* en dGEMRIC refleja el tiempo necesario para permitir la penetración de Gd-DTPA <sup>2-</sup> a través del espesor completo del cartílago. Dicho contraste se distribuye en concentraciones más altas en áreas de cartílago en las que el contenido de glicosaminoglicanos es relativamente bajo (una condición que conduce a una disminución de T1) y en concentraciones más bajas en áreas de cartílago que son ricas en glicosaminoglicanos. Sin embargo, debido a que la concentración de Gd-DTPA <sup>2-</sup> en la sangre in vivo varía con el tiempo, nunca se alcanza un estado de equilibrio entre Gd-DTPA <sup>2-</sup> y el contenido de glicosaminoglicano. La medida T1 después de la penetración de Gd-DTPA <sup>2-</sup> se conoce como el índice dGEMRIC. Las áreas de cartílago con un índice dGEMTRICO más bajo (a menudo llamadas "lesiones") se observan comúnmente en las articulaciones en las que los hallazgos radiográficos son indicativos de osteoartritis, así como en las articulaciones que han sido sometidas a sobrecarga. (Figura 4)

Las variaciones en el índice dGEMTRICO se pueden ver incluso dentro de un compartimiento articular en una etapa temprana (y potencialmente reversible) de osteoartritis, que se caracteriza por una reducción en la concentración de glicosaminoglicano en el cartílago hialino. Se ha demostrado que el índice dGEMRIC se ve afectado por una serie de factores fisiológicos, que incluyen el ejercicio y el índice de masa corporal. También puede estar influenciado por el estrés físico agudo. El índice dGEMRIC se validó en estudios clínicos en los que se comparó con los estándares de referencia de mediciones histológicas y bioquímicas del contenido de glicosaminoglicanos. (15)

Figura 4. La comparación del índice dGÉTRICO obtenido en un paciente con artrosis de rodilla (**b**) con el obtenido en un sujeto sano (**a**) muestra valores de índice más bajos en **b**, hallazgos que representan el agotamiento del contenido de glicosaminoglicano en el cartílago articular en la meseta tibial medial (puntas de flecha) y degeneración del menisco medial. La escala está en milisegundos.



a

b

## **7 Análisis de los resultados alcanzados:**

En el marco teórico de nuestra investigación se describía el cartílago articular como una matriz tridimensional extracelular, compuesta por material amorfo (proteoglicanos (PG), glucosaminoglicanos (GAG) y ácido hialurónico) y por material fibroso (colágeno), en la que se disponen los condrocitos que se nutren a partir de esta matriz que, a su vez, es sintetizada por ellos. La imagen cuantitativa/bioquímica mediante RM permite medir de manera específica y no invasiva la composición del cartílago, obteniendo una aproximación a su fisiología y ultra estructura, tanto en el cartílago que presenta una lesión degenerativa o traumática como en el ya sometido a reparación quirúrgica. Una de las principales moléculas que componen el cartílago hialino es el agregano. Las macromoléculas de agregano están formadas por cadenas negativamente cargadas de glucosa-amino-glicanos (GAG) capturadas en una red de colágeno de tipo II. La pérdida de GAG constituye un indicador precoz de lesión condral. La imagen mediante RM para evaluación del realce tardío con gadolinio (dGEMRIC) es una técnica de imagen molecular, que se utiliza para estudiar la disminución en el contenido de GAG. Mediante dGEMRIC se generan mapas del cartílago hialino creados tras la administración intravenosa de un medio de contraste basado en gadolinio aniónico [Gd(DTPA)<sub>2</sub>i]. Dado que el cartílago articular está compuesto en su mayor parte por moléculas de GAG cargadas negativamente, éstas repelen los iones cargados negativamente. Por tanto, las concentraciones de gadolinio son mayores en las regiones del cartílago con baja concentración de GAG, reduciéndose el tiempo de relajación T1. Los estadios iniciales de la lesión condral degenerativa provocan un daño a la matriz de colágeno, con pérdida de proteoglicanos e incremento en el contenido de agua libre. Los cambios degenerativos que afectan al colágeno son detectados mediante las secuencias de mapeado de los

tiempos de relajación T2. Los tiempos de relajación T2 del cartílago articular dependen del contenido en agua y de la ultraestructura del colágeno en el cartílago. Varían tanto en función de la profundidad del área condral estudiada, como en aquellos procesos que causan degeneración articular. Los cambios debidos a la edad parecen asociarse con un incremento en los tiempos de relajación T2 en la zona transicional. La degeneración precoz del cartílago debida a daño de la matriz de colágeno y cambios en el contenido y disposición del colágeno causan un incremento en la movilidad del agua en el tejido, incrementando por consiguiente los tiempos de relajación T2. Las áreas con mayor contenido en agua se codifican en color en los mapas de tiempos de relajación T2, permitiendo una localización espacial de estas lesiones precoces en el cartílago articular.

Mediante RM y el empleo de secuencias específicas y técnicas de cuantificación adecuadas se puede evaluar la superficie, el espesor, el volumen, la intensidad de la señal y las propiedades físicas (relacionadas con la integridad del colágeno y el edema), la perfusión y la permeabilidad de membrana (relacionada con la neovascularización) y la presencia de áreas con realce tardío (relacionadas con los proteoglicanos). El uso adecuado de esta información puede ayudar al diagnóstico precoz de la enfermedad, establecer el grado de afectación, valorar el pronóstico, incidir en la decisión terapéutica y evaluar la eficacia del tratamiento.

## **8 Conclusiones:**

La patología del cartílago articular desde el punto de vista de la imagen, estaba desplazada a un segundo plano al no poderse visualizar de forma directa y adecuada con ninguna técnica disponible hasta la aparición de la Resonancia Magnética a mediados de los años 80. La lesión del cartílago articular de rodilla es un problema de salud pública frecuente, por lo cual, el contar con estudios de imagen de resolución adecuada es un elemento clave para tomar decisiones terapéuticas. Por ello, la Resonancia Magnética Nuclear es el método de imagen de elección para su evaluación debido a su alta sensibilidad. Siendo útiles las secuencias convencionales, pero más específicas las dos técnicas analizadas y descritas en esta investigación: Mapa T2 y Realce tardío con gadolinio; las cuales permiten una evaluación más objetiva y cuantitativa, de las alteraciones condrales degenerativas incipientes.

Dichas técnicas están asociadas a lo que se conoce como Resonancia Magnética de Composición, que permiten la visualización del cartílago articular mediante la detección y el análisis de las propiedades bioquímicas del mismo. Por tanto, permite medir la composición del cartílago, obteniendo una aproximación a su fisiología y ultraestructura, y puede ser sensible a los cambios premorfológicos tempranos no detectables mediante RM convencional con los protocolos de secuencias de imágenes existentes.

A su vez permiten la medición de parámetros morfológicos como volumen, espesor y área, generalmente a partir de reconstrucciones tridimensionales del cartílago.

En el mapeo T2, los tiempos de relajación en T2 se ven afectados por una combinación compleja que incluye la orientación del colágeno y la hidratación del mismo. Los mapas

paramétricos de los valores de T2 del cartílago **permiten evaluar su composición regional de colágeno y su proporción de agua. Ambos factores están alterados en las lesiones cartilaginosas.** El T2 se relaciona con la capacidad de los protones para moverse e intercambiar energía en la matriz cartilaginosa. Los T2 varían según la integridad de este tejido. El T2 del cartílago varía también desde la capa profunda, donde es más corto, a la superficial, que brilla más en estas secuencias. En el cartílago articular está principalmente influido por el contenido relativo de agua en el píxel y, en menor medida, también por la integridad de la matriz colágena.

Por el contrario, mediante la técnica de realce tardío con gadolinio (dGEMRIC) se generan imágenes del cartílago articular tras la administración intravenosa de un medio de contraste basado en gadolinio aniónico (Gd-DTPA<sup>2</sup>). Dado que el cartílago está compuesto mayoritariamente por moléculas de Glucosaminoglicanos (GAG) cargadas negativamente, estas repelen los iones cargados negativamente. Por ello, las concentraciones de gadolinio son mayores en las regiones condrales con menor concentración de GAG, reduciéndose el tiempo de relajación T1, dado que, en el equilibrio, la cantidad local de Gd-DTPA<sup>2</sup> dentro de la matriz de cartílago es inversamente proporcional a la concentración local de glicosaminoglicano. Las regiones normales del cartílago tienen un bajo Gd-DTPA<sup>2</sup>-concentración, mientras que las regiones anormales de cartílago tienen concentraciones relativamente altas. Esta técnica **permite evaluar zonas focales en los estadios precoces.**

Estas técnicas avanzadas de evaluación para el cartílago articular mediante RM se han centrado en el contraste de la imagen y la resolución espacial que mejoraría los análisis cuantitativos del cartílago y el diagnóstico clínico de anomalías del cartílago articular.

Actualmente, no se utilizan de rutina en la práctica clínica habitual, pero son el futuro, y muy pronto estarán en los protocolos de nuestras instituciones, ya que no son invasivas y presentan un futuro prometedor al ser capaces de detectar lesiones pre-morfológicas relacionadas con los cambios bioquímicos iniciales en el proceso degenerativo articular. Su inclusión nos permitirá un mejor conocimiento de los mecanismos fisiopatológicos subyacentes, así como un diagnóstico más precoz de la patología articular.

El estudio de las alteraciones estructurales y funcionales del cartílago mediante RM es un excelente biomarcador de la degeneración del cartílago.

## **9 Anexo:**

### **9.1 Condropatía rotuliana y su incidencia**

Las lesiones o patologías que se pueden producir en el cartílago rotuliano van desde un ligero reblandecimiento hasta llegar a una seria artrosis de la articulación femoropatelar. La lesión puede ser nombrada de varias formas como condropatía rotuliana, condromalacia rotuliana, síndrome de hiper presión rotuliana, rodilla del saltador, síndrome rotuliano, síndrome femororotular, condromalacia patelar. Actualmente el término de condromalacia rotuliana está en desuso, ya que con este término sólo hace referencia a un debilitamiento (reblandecimiento) y fisuración del cartílago según Outerbridge (16). Como ya se ha comentado antes puede llegar a ser una lesión artrósica; por tanto, la comunidad médica ha desechado este concepto por condropatía rotuliana. La condropatía rotuliana tiene varias definiciones como alteración del mecanismo extensor de la rodilla que produce un reblandecimiento del cartílago que recubre la parte posterior de la rótula y/o la región inferior de los cóndilos femorales, degeneración del cartílago subyacente de la rótula debido a un desgaste y roce excesivo durante esfuerzos anormales y repetidos de la misma con la tróclea femoral y por último la degeneración de la superficie cartilaginosa existente en la cara posterior de la rótula, consecuencia del roce del cóndilo femoral sobre la misma o por un crecimiento anómalo del cartílago .

La incidencia de esta lesión se localiza en:

- Adolescentes o adultos jóvenes (con desalineamiento de la rótula respecto al fémur)

- Deportistas que se someten a la articulación a esfuerzos regulares y exigentes (ciclismo, rugby, frontón, saltadores, atletas, futbol)
- Mujeres (debido a las características de la pelvis femenina)
- Personas que trabajan en posiciones forzadas de rodilla
- Personas que han sufrido traumatismos previos, fracturas
- Personas mayores con artrosis
- Jóvenes con "genu valgo"
- Factores posturales como sociológicos como el uso de tacones y sentarse con las piernas en aducción (W) De las anteriores destacaremos dos picos de incidencia que se presenta en: chicas adolescentes con intensa actividad deportiva y mujeres de 30-40 años relacionadas con en desuso, traumatismos o síntomas degenerativos iniciales.

## **9.2 Cartílago articular**

Las superficies articulares de la rodilla están cubiertas por cartílago hialino cuya función principal es disminuir las fuerzas de fricción de las superficies articulares y facilitar el soporte de la carga corporal distribuyendo las fuerzas de forma uniforme al hueso subcondral. El cartílago está formado por una matriz hidrofílica con condrocitos, colágeno y proteoglicanos. Los cambios iniciales de la condromalacia se asocian con cambios bioquímicos en la estructura del cartílago articular que conducen a la pérdida de las propiedades biomecánicas del cartílago. La alteración de la función del cartílago inicia

un círculo vicioso, se produce un aumento de la carga articular que contribuye a la progresión del daño cartilaginoso. Cualquier proceso que produzca una alteración en la distribución de las cargas articulares puede iniciar o contribuir en este ciclo. Traumatismos directos, fracturas, inestabilidad fémororotuliana, meniscectomía y lesiones ligamentosas son las entidades que con mayor frecuencia se asocian con condromalacia. La patología del cartílago articular puede ser idiopática (condromalacia idiopática) afectando con más frecuencia a adolescentes y jóvenes.

El síntoma dominante en los pacientes con condromalacia es el dolor que aumenta con los movimientos de la rodilla. La lesión del cartílago articular, degenerativa o traumática, es esencialmente irreversible dado que el cartílago no se regenera y su capacidad de reparación es muy limitada. Generalmente, los desgarros parciales no curan. En los desgarros completos coágulos de fibrina y células inflamatorias pueden reparar el cartílago, aunque no recupera una estructura y función normal. El tejido reparativo similar al fibrocartílago comienza a deteriorarse aproximadamente al año. El cartílago articular es aneural y por lo tanto no es origen directo del dolor. La lesión del cartílago articular produce sobrecarga de otras estructuras articulares como el hueso subcondral, cápsula articular y meniscos que originan el dolor. Permite contrastar los hallazgos artroscópicos con los de RM. Esta clasificación diferencia cuatro grados progresivos de condromalacia. La condromalacia grado 1 de origen traumático muestra reblandecimiento del cartílago, mientras que en la condromalacia no traumática se observa fibrilación. En el grado 2 se evidencia una vesícula separando las capas superficial y profunda del cartílago articular y pueden observarse fisuras superficiales. En el grado 3, se observa ulceración, fragmentación y fibrilación del cartílago con afectación más extensa, alcanzando la capa cartilaginosa profunda. Finalmente, en el grado 4 se evidencia una franca ulceración del

cartílago, con cráteres de hueso expuesto, y progresión de la afectación al hueso subcondral.

### **9.3 Fisiopatología de la degeneración del cartílago articular**

Al iniciarse el proceso degenerativo, los condrocitos proliferan y se incrementa la síntesis de la matriz extracelular. Pero a la vez que ocurre esta respuesta proliferativa celular se observa una degradación de la matriz porque los nuevos proteoglicanos sintetizados tienen una composición anormal. La red de colágeno se rompe permitiendo a los proteoglicanos retener mayor cantidad de agua de lo que resulta el edema del cartílago que se describe en la fase I de la artrosis.

En la artrosis avanzada los proteoglicanos disminuyen y se produce un descenso del contenido de agua con pérdida de las propiedades biomecánicas fundamentales del cartílago que son su elasticidad y resistencia a la compresión. Se evidencia la necrosis de los condrocitos y se incrementa la actividad catabólica deteniéndose la síntesis de la matriz extracelular. El colágeno tiende a la desorganización y desintegración. Los condrocitos son sometidos a mayor estrés mecánico cerrándose el círculo vicioso y acelerándose el proceso de degradación.

La renovación continua de los componentes de la matriz extracelular depende de una serie de proteasas tanto intra como extracelulares. En condiciones normales el cartílago presenta unos niveles altos de inhibidores de estas proteasas. La alteración de este equilibrio entre inhibidores y enzimas puede ser una de las causas últimas del origen de la osteoartritis.

Cambios Macroscópicos

Estos incluyen cambios en la superficie del cartílago en cual se vuelve amarillento y rugoso, se pueden graduar las alteraciones en fibrilación, erosión y fragmentación de dicho cartílago. Otro hallazgo es la presencia de osteofitos. El hueso subcondral en el corte anatómico, muestra esclerosis y eburneación (aumento considerable de la densidad de un hueso), así como quistes o geodas subcondrales con bordes escleróticos. También es posible observar alteraciones macroscópicas en la cápsula articular, esta se suele encontrar engrosada y en ocasiones pegada al hueso subyacente. La membrana sinovial muestra cambios inflamatorios macroscópicos como aumento de la vascularización, zonas hemorrágicas, engrosamiento sinovial y vellosidades hipertróficas.

#### Cambios Microscópicos

La cápsula articular se encuentra engrosada, con áreas focales de infiltrado inflamatorio crónico con áreas de hialinización y de neovascularización e incluso depósitos amiloides.

La membrana sinovial muestra un infiltrado inflamatorio crónico, en ocasiones formando folículos linfoides con engrosamiento del revestimiento sinovial, alterando con zonas de fibrosis, sobretudo en fases más avanzadas.

En fases precoces existe un engrosamiento del hueso subcondral con aumento de los espacios vasculares y posteriormente esclerosis y formación de tejido cartilaginoso y óseo nuevo (osteofitosis), que normalmente nacen en el fibrocartílago periarticular fusionándose más tarde con el hueso. Se produce de igual modo la formación de áreas quísticas necróticas en el hueso “quistes óseos”.

En las primeras fases se produce un aumento del agua del cartílago articular y una multiplicación y migración de los condrocitos, así como una reducción y un cambio cualitativo de los proteoglicanos del cartílago. Se puede distinguir zonas de fibrilación del cartílago. En fases más avanzadas se reduce el número de condrocitos y aumenta el número de lagunas vacías, con gran adelgazamiento del cartílago.

No todo el cartílago fibrilado progresa hacia su destrucción. En las lesiones progresivas se puede apreciar en primer lugar un descenso en la tinción de los proteoglicanos articulares. Más tarde aparece la pérdida en grosor del cartílago e incluso puede perderse el cartílago, quedando expuesto el hueso subyacente.

#### **9.4 Anatomía de la rodilla**

Se llama rodilla a la articulación central de los miembros posteriores de los vertebrados, en el caso de la especie humana es la articulación central de los miembros inferiores y la articulación más grande del cuerpo. La rodilla está formada por la unión de 2 importantes huesos, el fémur en su porción superior, y la tibia en la inferior. Dispone asimismo del hueso más grande sesamoideo del cuerpo llamado rótula (patella), que se articula con la porción anterior e inferior del fémur. La articulación de la rodilla está formada por dos articulaciones: la femorotibial y femorrotuliana o femoropatelar.

La articulación femorotibial es una articulación de tipo troclear donde se ponen en contacto los cóndilos femorales con las carillas glenoideas de la tibia.

- Los cóndilos femorales convexos en dirección anteroposterior y transversal, están recubiertos por un cartílago articular que se interrumpe de forma brusca en los límites con

la fosa intercondílea que los separa y las aéreas epicondíleas orientadas hacia los lados. El cóndilo externo es más largo que el interno. Pero la convexidad del contorno anteroposterior es mayor en el cóndilo interno que en el externo.

- Las carillas glenoideas de la tibia, son cóncavas en dirección transversal. Mientras que las glenoides internas son cóncavas en dirección anteroposterior, la externa es plana o ligeramente convexa. Entre estas dos estructuras, no hay una buena congruencia articular, por lo que se terminan de articular por medio de los meniscos, que son fibrocartílagos situados entre los cóndilos femorales y las superficies glenoideas de la tibia, que dividen de forma incompleta los dos compartimentos femorotibiales. Los meniscos unen esta articulación de la siguiente forma:

- Por su borde periférico a la capsula articular, y a través de ésta el menisco interno se fija al ligamento lateral interno.

- Los cuernos de los meniscos, por medio de ligamentos a las superficies óseas pre espinales y retro espinales de la tibia.

- Por delante cada menisco está ligado a la rótula mediante el ligamento menisco rotuliano. La articulación femororrotuliana o femoropatelar es nuestra articulación de estudio. Ésta articulación es troclear. Se articula con la tróclea femoral y los cóndilos en su parte superior con la superficie articular de la rótula. La rodilla está dividida en dos compartimentos: el externo y el interno, constituidos de ligamentos, músculos, superficies articulares de la tibia y fémur y meniscos. El compartimento externo está formado por el cóndilo femoral externo (superficie articular convexa) y las superficies glenoideas tibiales externas (superficie articular inferior cóncava). El movimiento que se produce en este

compartimento, de la superficie convexa (cóndilos femorales) sobre la superficie cóncava (glenoides tibial), es de mayor recorrido que el que ocurre en el compartimento interno. Los ligamentos implicados en este compartimento son el cruzado anterior y el ligamento lateral externo. El compartimento interno: lo forman el cóndilo femoral interno convexo y superior (más estrecho que el externo), y la glenoides tibial interna, cóncava e inferior. Intervienen en este compartimento, el ligamento colateral interno y el ligamento cruzado posterior.

## **9.5 La articulación femoropatelar**

En la rótula podemos observar; una cara anterior separada de la piel por una bolsa serosa ligeramente convexa que está cubierta de formaciones fibrosas del cuádriceps y por la aponeurosis femoral y una cara posterior envuelta por cartílago hialino más grueso en la zona de la cresta medial y más blando debido a la transmisión de fuerzas que debe de soportar el músculo del cuádriceps. La cara posterior contiene una cresta rotuliana roma con dos facetas a ambos lados (la lateral y la interna) de forma cóncava. Las cuales se adaptan a las superficies articulares convexas de la tróclea femoral. La faceta interna se divide en dos por otra cresta que delimita en la carilla medial la "faceta de flexión o impar" u "odd" facet, se va articular en el movimiento de flexión máxima de rodilla con el cóndilo femoral medial. Debajo de la rótula nos encontramos con un paquete adiposo en forma de pirámide cuadrangular, llamada la grasa de Hoffa. Tiene la función de "tapagujeros" quiere decir que, al hacer el movimiento de flexión, la parte anterior de la articulación se va a comprimir por el ligamento rotuliano y va a sobresalir a cada lado de la punta de la rótula.

## 9.6 Tipos de rótulas

Según la anatomía humana podemos encontrar cuatro tipos de rótulas: Wiberg (1941) diferenció las tres primeras y Baumgartl una más que corresponden a las siguientes:

- El tipo I presenta unas carillas medial y lateral de tamaño similar y ligeramente cóncavas.
- El tipo II presenta una carilla medial menor que la lateral, también es más plana y más convexa.
- El tipo III tiene una carilla medial muy reducida si la comparamos a la lateral, es más convexa y casi vertical.
- El tipo IV es el descrito por Baumgartl, " en forma de coto de caza" es decir, no tiene cresta medial o central. Si aceptamos que la morfología rotuliana viene dada por las fuerzas a las que está sometida, los tipos III y IV son las consecuencias de producirse un deslizamiento lateral de la rótula sobre el surco.

Por otro lado, tenemos el tipo I se genera cuando las carillas lateral y medial obtienen las cargas de la forma simétrica. 9 Las dos facetas articulares forman un ángulo que está abierto hacia delante llamado ángulo rotuliano, su valor medio es de 120°, dejando un rango de 120- 140°. La faceta lateral es cóncava en plano vertical y transversal. La superficie articular de la rótula está delimitada por dos crestas transversas que atraviesan esta faceta y la medial, se han descrito tres segmentos que son el superior, medio e inferior que están en contacto con el fémur a medida que se va realizando el movimiento de flexión de la rodilla. La faceta medial conlleva una variación anatómicamente mayor.

Tiene una segunda cresta que delimitaba en su parte medial; " faceta de flexión o impar" u "odd facet" por Goodfellow y Cols (1976). Ésta va a articular con el cóndilo femoral interno cuando el movimiento de la rodilla sea la flexión máxima.

## **9.7 Medios de contención**

Los medios de contención de la articulación femoropatelar van a ser dos estructuras: la capsula articular y la membrana sinovial. La cápsula articular es laxa con trazas de ligamentos para reforzarla, aun así, es necesario para mantener la estabilidad de la rodilla otros refuerzos: para su estabilización de forma estática actúan los elementos estructurales ligamentosos, mientras que para la dinámica son tendones musculares que se intercalan en la capsula. Kapandji dice que la capsula es como un cilindro con una apertura en la cara anterior para encajar con la rótula. A su vez en el área femoral, se inserta de forma proximal a los cóndilos, a excepción de la zona intercondílea y superficie poplítea. Por la zona anterior la capsula articular se inserta rodeando el borde de la rótula, luego sube unos 2-3 cm para formar la bolsa suprapatelar. La siguiente inserción es la tibial que se va a producir a lo largo de los bordes de las mesetas tibiales más concretamente sobre sus superficies articulares a excepción de las espinas tibiales y una parte del área anterior intercondílea. La membrana sinovial es la capa interna de las diartrosis o articulaciones sinoviales. Cubre la capsula articular por su cara interna alcanzando junto a ella el fémur, la rótula y la tibia. Su misión es la fabricación del líquido sinovial, el cual va a ser necesario para la lubricación de la articulación, para así disminuir la fricción entre las superficies articulares y otra función que tiene es la nutrición del cartílago articular. La membrana sinovial por delante va a formar un amplio fondo de saco por encima de la rótula. Por debajo de la rótula se encuentra el paquete adiposo, por el cual esta membrana

lo sigue hasta llegar a la tibia por delante del ligamento cruzado anterior. Así forma el pliegue sinovial infrapatelar y los pliegues alares. Por los laterales queda cortada la membrana por la capsula articular y los meniscos. Finalmente, por la zona posterior va a recubrir los casquetes condíleos, profundiza por la escotadura intercondílea hasta cruzar por delante de los ligamentos cruzados.

## **9.8 Inserciones musculo-ligamentosas rotulianas**

Desarrollaremos este apartado definiendo dos contenciones rotulianas; la transversal y la longitudinal. La contención transversal: Tiene los retináculos y los ligamentos laterales los cuales darán estabilidad lateral al realizar la extensión de la rodilla y estabilidad mediolateral de manera pasiva.

- El retináculo lateral que fue descrita por Fulkerson y Gossling(1980); es una expansión tendinosa del musculo cuádriceps , en concreto del vasto lateral junto al recto anterior y el tracto iliotibial.
- El retináculo medial es una expansión tendinosa del vasto interno del musculo cuádriceps.
- El ligamento lateral interno tiene de apoyo los músculos de la pata de ganso; el sartorio, grácil o recto interno y el semitendinoso, semimembranoso.
- El ligamento lateral externo tiene las fibras más fuertes que las del ligamento lateral interno por qué tiene de ayuda la cintilla de Maissiat cuya tensión viene dada por el musculo del tensor de la fascia lata.

- Otro musculo que ofrece su ayuda es el cuádriceps a través de expansiones directas y cruzadas sobre la zona anterior de la articulación de la rodilla. Estas expansiones interfieren en la apertura de la interlinea articular. Por este motivo es de gran importancia tener un cuádriceps de manera íntegra para estabilizar la rodilla. Contención longitudinal: Se produce por medio de los elementos del aparato extensor de la rodilla. El cuádriceps es el triple de potente que los músculos flexores ya que al tener flexionada lo mínimo posible la rodilla ya tiene que superar la gravedad que ejerce hacia la tierra. Sin embargo, cuando la rodilla está en hiperextensión el cuádriceps no trabaja.

- El recto anterior del cuádriceps tiene dos tipos de fibras; las más superficiales que son las que se posicionan por encima de la rótula hasta el tendón rotuliano. Las fibras más profundas se insertan en la base de la rotula

- Los vastos del cuádriceps forman la zona media del recto anterior del cuádriceps. El músculo crural al igual que las fibras profundas del recto anterior se insertan en la base

- El eje longitudinal va a estar representado por la articulación femorotibial. De ahí va a salir los movimientos de rotación. La geometría articular y las limitaciones ligamentosas van a controlar el movimiento que se produce entre las diferentes superficies articulares. La limitación del movimiento en una articulación va a producir la limitación de otra, esto sucede así en los movimientos libres porque son articulaciones interdependientes.

## **9.9 Aparato extensor**

El aparato extensor de la rodilla está formado por un elemento motor, el cuádriceps junto a sus cuatro elementos musculares (vasto interno, vasto externo, recto anterior y crural) y

por un dispositivo de transmisión y deslizamiento que está centrado en la rótula y constituido por el tendón cuadricipital, el tendón rotuliano y la articulación femororotuliana. Es muy importante la integridad de todas estas estructuras anatómicas para tener una estabilidad articular adecuada. Pues cualquier desajuste de alguno de estos elementos va a provocar patologías en esta unidad funcional (el aparato extensor) como síndromes de hiperpresión rotuliana o desalineaciones. El vasto medial oblicuo, (dirección de sus fibras de forma oblicua), es el mayor estabilizador dinámico de la rótula impidiendo su desplazamiento hacia el lateral. Su misión consiste en mantenerla centrada en el surco femoral resistiendo la tensión lateral del vasto lateral en el movimiento de flexión. El desequilibrio en la función de este músculo dificulta que la rótula se deslice por el centro. De esta forma va existir una presión mayor en la rótula por la parte externa que en la interna. La estabilidad de la rótula independientemente de los tejidos blandos se va a observar con la geometría troclear y la compresión articular. No debemos de olvidar que el ligamento patelofemoral medial actúa también contra el desplazamiento lateral rotuliano, ayudando más del 50%, aunque sólo en los primeros 20° de flexión. En el plano sagital el cuádriceps tiene la función de presionar la rótula contra el surco troclear para impedir que la rodilla se flexione por acción del peso de nuestro cuerpo. A medida que se contrae el cuádriceps actúa como una fuerza sobre la zona de la tuberosidad de la tibia creando una fuerza que va a comprimir las superficies articulares de la tibia y fémur, provocando una mayor estabilidad articular.

### **9.10 Función de la rótula**

La rótula se sitúa firme a la cara anterior de los cóndilos femorales por un sistema en forma de cruz: distalmente por el tendón rotuliano; lateralmente por el alerón externo y

la fascia lata; medialmente por el alerón interno; y de forma proximal por el tendón cuadricipital. La rótula tiene una función muy importante en el movimiento de flexo-extensión de la rodilla ya que fortalece el cuádriceps en la extensión activa, disminuye la fricción del tendón cuadricipital, por lo tanto, beneficia el deslizamiento del aparato extensor y sirve para guiar la contracción del cuádriceps al almacenar toda la fuerza divergente de los cuatro grupos musculares. Aunque la rótula este colocada adecuadamente en el espesor del aparato extensor de la rodilla, debemos de conocer la dirección de las fibras del tendón cuadricipital, el cual nos dará una pista de la alineación de la misma. El tendón cuadricipital tiene las fibras oblicuas siguiendo la dirección de la diáfisis femoral. Como consecuencia nos vamos a encontrar una desviación o desalineamiento del aparato extensor de la rodilla; un valgo femorotibial anatómico.

El ángulo Q, ángulo formado por una línea que pasa por el centro de la rótula y el tubérculo de la tibia; y la otra recta que pasa por el centro de la rótula hasta la espina ilíaca anterosuperior. Podemos ver la desalineación del aparato extensor. Se considera normal un ángulo Q de  $10^{\circ}$ - $15^{\circ}$  en los hombres y algo mayor en las mujeres:  $15^{\circ}$ - $20^{\circ}$  Cabe destacar la función principal de la rótula, que va a ser la mejor de la eficiencia del musculo cuádriceps debido a que se va a generar un aumento del brazo de palanca del mecanismo extensor. En la rótula van a mandar dos fuerzas totalmente opuestas. Por un lado, nos vamos a encontrar la que ejerce el cuádriceps a través del tendón cuadricipital en dirección proximal y por el otro lado la que ejerce el tendón rotuliano en la tibia. Al juntar estas dos fuerzas nos da una fuerza resultante; va a ser la fuerza de reacción de la articulación femoropatelar. La cual va a ser hacia atrás, como resultado hace que la rótula se quede fijada en la tróclea femoral. Para finalizar este apartado comentar que la fuerza resultante va a cambiar según el ángulo que se forme en la articulación y las dos fuerzas

a las que está sometida la rótula. Va a ser menor en el movimiento de extensión, aunque al realizar el recorrido para la flexión (de 15° hasta llegar a 60°) tenemos que aumentar la potencia del cuádriceps, si esto no ocurriera cuando se produce el movimiento de flexión no aguantase el peso del cuerpo y no nos mantendríamos de pie. No debemos olvidar que la extensión completa de la rodilla es valorada como 0°, y la flexión de la rodilla a 60°. Al llegar a los 15° de flexión la función del cuádriceps queda anulada.

### **9.11 Clasificación de la patología femoropatelar**

El síndrome doloroso femoropatelar (SDFP), también denominado a dolor anterior de rodilla es provocado por muchas causas. Estas causas son recopiladas por gran cantidad de autores. Ordoñez y Delgado (1995) indican que es muy complicado establecer el comienzo del dolor y para ello nombra seis cuadros clínicos de los cuales todos ellos inducen el dolor anterior de la rodilla:

- Síndrome de hiperpresión externa
  
- Inestabilidad rotuliana
  
- Condromalacia rotuliana o condropatía rotuliana
  
- Artrosis femoropatelar
  
- Osteocondritis disecante de rótula
  
- Otras causas (plica, bursitis, tendinitis, distrofia simpático refleja) La condromalacia rotuliana en los casos más leves se puede revertir o evolucionar hasta una osteoartrosis

en casos más severos. Esta lesión sucede a lo largo de la rótula en su parte medial entre la "odd facet" y la faceta medial, aun así, puede aparecer este fenómeno a cualquier nivel de la superficie articular de la rótula. 15

A continuación, vamos a describir las clasificaciones para esta patología dependiendo de los autores: En 1961 se clasificó por Outerbridge cuatro grados a través de hallazgos en la artroscopia. Goodfellow, Hungerford y Woods (1976) cuentan que hay cambios primarios en las capas intermedias y profundas del cartílago articular. A este fenómeno lo nombran "degeneración basal" descrito en el grado 1 del autor anterior. Bentley diferencia 4 grados en 1988 desde el punto de vista de su profundidad y extensión de la lesión del cartílago. Estos grados a su vez se dividen en subgrados:

Subgrado a) Según se vean sus fibras y reblandecimiento del cartílago

Subgrado b) Cuando se afecta todo el espesor del cartílago y hay exposición del hueso:

- Grado 1: área de < 0,5 cm de diámetro
- Grado 2: área de 0,5-1 cm de diámetro
- Grado 3: área de 1-2 cm de diámetro
- Grado 4: > 2cm de diámetro

## **9.12 Síntomas y etiología de la patología femoropatelar**

Las causas de la condropatía rotuliana son múltiples y variadas:

- Desgaste por sobreuso (degeneración del cartílago, se vuelve rugoso, con formación de grietas y ampollas)
- Traumatismos (accidentes de tráfico)
- problemas de estática: o rótula ( alta, subdesarrollada y protruida) o complejo rótula alta genu-recurvatum o ángulo Q mayor de 20 grados o mala alineación por alteración del aparato extensor cuando no se alinean bien los huesos que componen la rodilla se produce un fenómeno denominado alineamiento deficiente de la articulación fémoro rotuliano o aumento de la pronación del pie y rotación interna de la tibia que altera la pronación del pie y rotación interna de tibia que altera la dirección de tracción del cuádriceps o rigidez o debilitamiento de los músculos en la parte anterior y posterior del muslo o aumento de la anteversión del cuello del fémur o debilidad muscular del cuádriceps o genu valgo o pie plano.

Todas estas causas van a favorecer desde el punto de visión de la biomecánica un aumento en la fricción de la cara posterior de la rótula contra los cóndilos femorales, provocando alteraciones del cartílago rotuliano de forma lenta y progresiva. Los signos clínicos más característico es el dolor difuso en el área de la rótula, rigidez a la flexo-extensión de rodilla (aumenta al subir y sobre todo al bajar las escaleras, al levantarse de la silla, ponerse de cuclillas).

Otros signos son: o crepitación (sensación de arenilla o incluso crujidos en fases más avanzadas) y ruidos articulares al flexionar la rodilla o sensación de fricción cuando se estira la rodilla o sensación de atrapamiento inespecífico o deslizamiento debido a la inflamación de tejidos subyacentes o edema invariable, si existe es mínimo o sensibilidad

en la rodilla o algunos casos puede haber derrame post ejercicio con mucha actividad o atrofia muscular del cuádriceps. (17)

### **9.13 Evaluación composicional por resonancia magnética**

La RM de composición permite la visualización del cartílago articular mediante la detección y el análisis de las propiedades bioquímicas del mismo. Por tanto, permite medir de manera específica y no invasiva la composición del cartílago, obteniendo una aproximación a su fisiología y ultraestructura, y puede ser sensible a los cambios pre-morfológicos tempranos no detectables mediante RM convencional. La imagen de composición del cartílago articular se puede realizar mediante el uso de técnicas avanzadas que incluyen imágenes de RM de realce tardío con gadolinio (dGEMRIC) y mapeo rho en T2 y T1. Dos de estas técnicas, dGEMRIC y t1RHO, se basan en la concentración de glucosaminoglucanos (GAG). Mediante el dGEMRIC y la T1 se generan mapas del cartílago articular tras la administración intravenosa de un medio de contraste basado en gadolinio aniónico. Dado que el cartílago está compuesto mayoritariamente por moléculas de GAG cargadas negativamente, estas repelen los iones cargados negativamente. Por ello, las concentraciones de gadolinio son mayores en las regiones condrales con menor concentración de GAG, reduciéndose el tiempo de relajación T1. Estas técnicas permiten evaluar zonas focales en los estadios precoces. Por el contrario, los tiempos de relajación en T2 se ven afectados por una combinación compleja que incluye la orientación del colágeno y la hidratación del mismo. La técnica de composición del cartílago articular por RM no se utiliza de rutina en la práctica clínica habitual y es todavía considerada una herramienta en fase de investigación disponible

únicamente en instituciones académicas. No obstante, se ha utilizado en ensayos clínicos y estudios observacionales con resultados alentadores. (18)

#### **9.14 Bobinas utilizadas en rodilla**

\*Bobina en silla de montar: Estas bobinas generan una mayor homogeneidad de RF en el área de interés. También son utilizadas como bobinas de gradiente x e y. Haciendo circular una corriente en direcciones opuestas en las dos mitades de la bobina, el campo magnético se eleva cerca de una de las mitades y disminuye cerca de la otra.

\*Bobina de jaula: La bobina de jaula provee la mejor homogeneidad de RF de todas las bobinas.

#### **9.15 Protocolo para la exploración de la rodilla**

La articulación de la rodilla es la más grande y compleja del cuerpo. En realidad, consta de tres articulaciones: fémoro rotuliana, fémoro tibial interna y fémoro tibial externa. Los compartimientos articulares interno y externo se encuentran parcialmente separados por los ligamentos cruzados y el repliegue sinovial infrarotuliano. Está conformada por la confluencia de los cóndilos femorales, platillos tibiales y la patela o rótula. Su función es la de una articulación "BISAGRA MODIFICADA", más complicada que la simple flexoextensión, con rotación y adducción de pierna a la flexión de rodilla a la que se le adiciona un movimiento de deslizamiento patelofemoral. La estabilidad de la rodilla está dada por un complejo sistema en el que intervienen ligamentos, cápsula articular, meniscos y estructuras músculo-tendinosas.

Se realizan cortes en los tres planos coronal, axial, sagital. No existe una técnica única para el estudio de rodilla, se mencionarán las secuencias más usadas. La secuencia de Fast Spin Eco (FSE) con supresión de la grasa es sensible a las lesiones de cartílago articular de la rodilla, además mejora la visualización del líquido del edema y las contusiones. Para evitar la borrosidad que ocurre en la secuencia (FSE) respecto a la detección de lesiones meniscales como lo son las degeneraciones y roturas; el tren de ecos no debe superar el número de cuatro durante el TR (tiempo de repetición). Las secuencias de Eco de Gradiente (EG) en T1 o T2 sagital en 2D o en 3D mejora la precisión de la detección de lesiones meniscales, compensando la borrosidad que ocurre en la mayoría de las secuencias (FSE). Es aconsejable el uso de alguna ponderación en T2 en alguno de los tres planos de adquisición. Las imágenes en T2 generalmente se complementan con adquisiciones sagitales de Recuperación de Inversión en Tiempo Corto (STIR) con tiempo corto de inversión TI. Con estas secuencias podrá mejorar la visualización de contusiones óseas y traumatismos musculares. Las imágenes radiales muestran mejor la anatomía de la unión menisco-capsular incluyendo las inserciones menisco-femorales y menisco-tibiales de la porción profunda de la cápsula articular. Las secuencias potenciadas en T2 complementan o pueden reemplazar a las secuencias sagitales en T1 en el exámen meniscal. (19)

### **9.16 Ejemplo de un estudio completo de rodilla:**

Secuencias

1º IR (Inversión de la recuperación) plano axial. Los cortes se realizan en dirección cefalopodálica. Se programa sobre un corte sagital un paquete de 16 cortes aproximadamente axiales de 5 mm cada uno. Debe centrarse el paquete de cortes, intentando ubicar

aproximadamente 3 cortes por encima de la rótula y tres o cuatro cortes por debajo de ella abarcando la epífisis superior del peroné. Esta secuencia se realiza para valorar la presencia de líquido en partes blandas como la visualización de edema óseo y traumatismos musculares. Corte axial Rodilla Lateral Externo Lateral Interno

2º Densidad Protónica y T2 (sagital) (fat sat: saturación de la grasa). Sobre el corte axial se programa el paquete de cortes sagitales. Se tomará como referencia el borde interno del cóndilo externo del fémur, que dará la referencia para angular dicho paquete de cortes. Los cortes se efectúan de derecha a izquierda. Esta es una secuencia que tiene dos tipos de imágenes juntas, con cortes de 5 mm en un total de 36 de a pares. Son imágenes que se logran por eco dual o doble eco para conseguir en una sola adquisición ambas ponderaciones. El Fat Sat es un agregado a la secuencia de base que utiliza la diferencia de frecuencia de precesión entre el hidrógeno del tejido graso y el hidrógeno del agua para obtener imágenes con supresión de la grasa. Imagen potenciada en densidad de protones La escala de intensidades en la imagen es proporcional a la densidad de núcleos de Hidrógenos. A mayor densidad mayor intensidad. Hay que recalcar que no es una densidad absoluta del tejido, sino de densidad de núcleos de hidrógeno. Los núcleos de hidrógeno que van a generar una señal suficiente para participar en la formación de la imagen provienen básicamente de los tejidos grasos y del agua, tanto libre como ligada a macromoléculas. El resto de núcleos de hidrógenos del organismo crean por lo general una señal que no puede diferenciarse del ruido. En los vóxels, donde no existen núcleos de hidrógeno o no han entrado en resonancia, no existirá señal y aparecerán siempre en negro en cualquier potenciación de la imagen: por ejemplo, los espacios aéreos y el hueso cortical (no el hueso esponjoso en que detectamos la señal de hidrógeno de la médula ósea). También aparecerán hipointensas en imágenes en densidad de protones los

ligamentos, los tendones y el fibrocartílago. Imagen potenciada en T2 Puede tenerse información de una estructura bioquímica proveniente del vóxel lo obtenemos estudiando el sincronismo de la relajación de los núcleos. Durante la relajación, cada núcleo libera su exceso energético a una frecuencia que depende del campo magnético que percibe. Si los núcleos de hidrógeno estuviesen totalmente aislados, emitirían su energía a la misma frecuencia: sería una relajación sincrónica o coherente. Si por el contrario existen alrededor de estos núcleos cargas eléctricas que, como los electrones, influyen localmente sobre el valor del campo magnético, haciendo que cada núcleo perciba un campo magnético distinto, tendríamos una relajación a frecuencias distintas, es decir una relajación asincrónica o incoherente. Es evidente que el mayor o menor sincronismo en la relajación nos informa sobre la estructuración histoquímica en el vóxel. Esta información se ve reflejada en el parámetro T2. Un T2 elevado implica una gran coherencia en la relajación y en las imágenes ponderadas en T2 le corresponde una alta señal. Cuanto mayor es la señal mayor es el valor de T2. En el agua libre, los núcleos de hidrógeno, perciben prácticamente el mismo campo magnético, lo que implica que el agua libre aparezca siempre hiperintensa en T2. Por lo general, toda patología presenta un aumento de agua libre por lo tanto se detecta en imágenes T2 por un aumento de intensidad. En una imagen potenciada en T2, el agua libre en reposo aparece en alta intensidad.

A modo orientativo podemos establecer la siguiente escala de grises en una imagen standard potenciada en T2.

Blanco: T2 agua LCR grasa hueso medular sustancia gris sustancia blanca músculo ligamentos, tendones hueso cortical aire

Negro: T2 Corte 10 Sagital DP Rodilla Izquierda Corte 9 Sagital T2 Rodilla IZQ.

3°Densidad Protónica en Coronal (Fat Sat). Los cortes coronales se efectúan en dirección postero anterior son de 5 mm En un paquete de 18 cortes aproximadamente. Los cortes coronales deben ser paralelos a la línea que une los dos cóndilos femorales posteriores. La patología de los meniscos es evaluada principalmente en el plano sagital, sin embargo, la morfología y la intensidad de la señal del cartílago meniscal deberían comprobarse en las imágenes coronales. Los ligamentos cruzados se observan mejor en los planos sagitales en la región medial de la rodilla reservando los planos coronales y axiales para la observación y confirmación patológica.

### 9.17 Tabla con documentos utilizados para la investigación

TEMA	SITIO WEB
RM 3.0 T DE RODILLA CON CARTILOGRAMA	<a href="https://slideplayer.es/slide/3204760/">https://slideplayer.es/slide/3204760/</a>
EVALUATION OF THE ARTICULAR CARTILAGE OF THE KNEE JOINT: VALUE OF ADDING A T2 MAPPING SEQUENCE TO	<a href="https://pubs.rsna.org/doi/10.1148/radiol.12121413">https://pubs.rsna.org/doi/10.1148/radiol.12121413</a>

<p>A ROUTINE MR IMAGING PROTOCOL</p>	
<p>EVALUACIÓN DEL CARTÍLAGO ROTULIANO MEDIANTE RM</p>	<p><a href="https://posterng.netkey.at/esr/viewing/index.php?module=viewing_poster&amp;task=viewsection&amp;pi=112026&amp;ti=350227&amp;searchkey=#poster2">https://posterng.netkey.at/esr/viewing/index.php?module=viewing_poster&amp;task=viewsection&amp;pi=112026&amp;ti=350227&amp;searchkey=#poster2</a></p>
<p>EVALUACIÓN DEL CARTÍLAGO ARTICULAR MEDIANTE TÉCNICAS DE DIAGNÓSTICO POR IMÁGENES</p>	<p><a href="https://www.repositoriosalud.es/bitstream/10668/1583/1/Cano_EvaluacionDelCartilago.pdf">https://www.repositoriosalud.es/bitstream/10668/1583/1/Cano_EvaluacionDelCartilago.pdf</a></p>

<p>RELIABILITY OF CLINICAL FINDINGS AND MAGNETIC RESONANCE IMAGING FOR THE DIAGNOSIS OF CHONDROMALACIA PATELLAE</p>	<p><a href="https://www.epistemonikos.org/es/documents/fa765fa3e5cfa883818ae8c0092649163685c2e7">https://www.epistemonikos.org/es/documents/fa765fa3e5cfa883818ae8c0092649163685c2e7</a></p>
<p>SÍNDROME FEMOROPATELAR: MÁS ALLÁ DE LA CONDROMALACIA</p>	<p><a href="http://congreso.faardit.org.ar/uploads/2015/poster/2015_752_PE_Musculoesqueletico.pdf">http://congreso.faardit.org.ar/uploads/2015/poster/2015_752_PE_Musculoesqueletico.pdf</a></p>

<p>TRATAMIENTO DE LA CONDROPATÍA ROTULIANA EN LOS DIFERENTES CAMPOS DE LA SALUD</p>	<p><a href="http://uvadoc.uva.es/bitstream/10324/8068/1/TFG-O%20293.pdf">http://uvadoc.uva.es/bitstream/10324/8068/1/TFG-O%20293.pdf</a></p>
<p>TÉCNICA DE RESONANCIA MAGNÉTICA EN EL ESTUDIO DE RODILLA EN EL DEPARTAMENTO DE RESONANCIA MAGNÉTICA DEL HOSPITAL UNIVERSIDAD</p>	<p><a href="http://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/6694/1/Calva%20Arrobo%20Jairo%20Marcelo.pdf">http://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/6694/1/Calva%20Arrobo%20Jairo%20Marcelo.pdf</a></p>

TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA.	
ESTUDIO ANATÓMICO, RADIOLÓGICO Y FUNCIONAL DE LA ARTICULACIÓN DE LA RODILLA	<a href="https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/8753/MartinGrandesR.pdf?sequence=4&amp;isAllowed=y">https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/8753/MartinGrandesR.pdf?sequence=4&amp;isAllowed=y</a>
CARTÍLAGO ARTICULAR: EVALUACIÓN POR RESONANCIA MAGNÉTICA	<a href="https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0717-93082013000300008&amp;script=sci_arttext">https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0717-93082013000300008&amp;script=sci_arttext</a>

<p>CARTÍLAGO ARTICULAR DE LA ARTICULACIÓN DE LA RODILLA HUMANA: ANÁLISIS IN VIVO DE MULTICOMPONENTE T2 A 3,0 T</p>	<p><a href="https://pubs.rsna.org/doi/abs/10.1148/radiol.2015142201">https://pubs.rsna.org/doi/abs/10.1148/radiol.2015142201</a></p>
<p>RESONANCIA MAGNÉTICA DEL CARTÍLAGO ARTICULAR: REVISIÓN DEL ESTADO</p>	<p><a href="https://www.ajronline.org/doi/full/10.2214/AJR.05.0099#">https://www.ajronline.org/doi/full/10.2214/AJR.05.0099#</a></p>

<p>ACTUAL Y DIRECCIONES FUTURAS</p>	
<p>EVALUACIÓN DEL CARTÍLAGO ARTICULAR CON RESONANCIA MAGNÉTICA</p>	<p><a href="https://scielo.conicyt.cl/pdf/rchradiol/v15s1/art06.pdf">https://scielo.conicyt.cl/pdf/rchradiol/v15s1/art06.pdf</a></p>
<p>CONDROMALACIA DE LA RODILLA: TOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA EN ESPIRAL VS RESONANCIA NUCLEAR MAGNÉTICA</p>	<p><a href="http://www.revreumatologia.sld.cu/index.php/reumatologia/article/view/189">http://www.revreumatologia.sld.cu/index.php/reumatologia/article/view/189</a></p>

<p>ESTUDIO DE LA PATELA  CON RESONANCIA  MAGNÉTICA. REVISIÓN  DIDÁCTICA DE SU  ANATOMÍA,  BIOMECÁNICA Y  PATOLOGÍA.</p>	<p><a href="http://webcir.org/revistavirtual/articulos/diciembre11/ecuador/ecu_espanol_a.pdf">http://webcir.org/revistavirtual/articulos/diciembre11/ecuador/ecu_espanol_a.pdf</a></p>
<p>EVALUACIÓN DEL  CARTÍLAGO ARTICULAR  CON RESONANCIA  MAGNÉTICA</p>	<p><a href="https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&amp;pid=S0717-93082009000400006">https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&amp;pid=S0717-93082009000400006</a></p>

<p>NUEVAS TÉCNICAS DE IMAGEN EN LA VALORACIÓN DEL CARTÍLAGO ARTICULAR</p>	<p><a href="http://www.reumatologiaclinica.org/es/nuevas-tecnicas-imagen-valoracion-del/articulo/S1699258X09000564/">http://www.reumatologiaclinica.org/es/nuevas-tecnicas-imagen-valoracion-del/articulo/S1699258X09000564/</a></p>
<p>LOS MAPAS PARAMÉTRICOS DEL TIEMPO DE RELAJACIÓN T2 EN RESONANCIA MAGNÉTICA</p>	<p><a href="http://www.medigraphic.com/pdfs/anaradmex/arm-2015/arm152a.pdf">http://www.medigraphic.com/pdfs/anaradmex/arm-2015/arm152a.pdf</a></p>
<p>EVALUACIÓN DEL CARTÍLAGO ARTICULAR</p>	<p><a href="https://www.researchgate.net/publication/237993021">https://www.researchgate.net/publication/237993021</a> Evaluacion del cartilago articular con resonancia magnetica</p>

CON RESONANCIA MAGNÉTICA	
IMÁGENES DE RESONANCIA DEL CARTÍLAGO ARTICULAR	<a href="https://journals.lww.com/jbjsreviews/Abstract/2016/08000/Magnetic_Resonance_Imaging_of_Articular_Cartilag_e.1.aspx">https://journals.lww.com/jbjsreviews/Abstract/2016/08000/Magnetic_Resonance_Imaging_of_Articular_Cartilag_e.1.aspx</a>
CARTIGRAMA	<a href="http://www3.gehealthcare.es/~media/downloads/uk/product/magnetic-resonance-imaging/msk-imaging/cartigram/gehc-mr-magazine_new-ground-detecting-cartilage-degeneration_20081001.pdf">http://www3.gehealthcare.es/~media/downloads/uk/product/magnetic-resonance-imaging/msk-imaging/cartigram/gehc-mr-magazine_new-ground-detecting-cartilage-degeneration_20081001.pdf</a>  <a href="http://www3.gehealthcare.es/~media/downloads/uk/product/magnetic-resonance-imaging/msk-imaging/cartigram/gehc-mr-magazine_musculoskeletal-mri-signa-hd-1-5t-cartigram_20061001.pdf">http://www3.gehealthcare.es/~media/downloads/uk/product/magnetic-resonance-imaging/msk-imaging/cartigram/gehc-mr-magazine_musculoskeletal-mri-signa-hd-1-5t-cartigram_20061001.pdf</a>

	<p><a href="http://www3.gehealthcare.es/~media/documents/us-global/products/magnetic-resonance-imaging/abstracts/msk-imaging/cartigram/gehc-mr-magazine_when-good-cartilage-goes-bad_20070401.pdf">http://www3.gehealthcare.es/~media/documents/us-global/products/magnetic-resonance-imaging/abstracts/msk-imaging/cartigram/gehc-mr-magazine_when-good-cartilage-goes-bad_20070401.pdf</a></p>
<p>T2 MAPPING SEQUENCE FOR DETECTING CARTILAGE LESION WITHIN THE KNEE JOINT AT 3.0T: DIAGNOSTIC PERFORMANCE IN 114 PATIENTS WITH</p>	<p><a href="https://cds.ismrm.org/protected/12MProceedings/files/0052.pdf">https://cds.ismrm.org/protected/12MProceedings/files/0052.pdf</a></p>

<p>SURGICAL CORRELATION</p>	
<p>IMÁGENES                   POR RESONANCIA MAGNÉTICA Y MAPEO DEL T2 DEL CARTÍLAGO FEMORAL</p>	<p><a href="https://www.intramed.net/contenidover.asp?contenidoID=16223">https://www.intramed.net/contenidover.asp?contenidoID=16223</a></p>
<p>IMÁGENES                   POR RESONANCIA MAGNÉTICA               DEL CARTÍLAGO ARTICULAR</p>	<p><a href="https://encolombia.com/medicina/revistas-medicas/reumatologia/vol-831/reuma8301imagenes/">https://encolombia.com/medicina/revistas-medicas/reumatologia/vol-831/reuma8301imagenes/</a></p>

<p>EVALUACIÓN DEL  CARTÍLAGO ARTICULAR  MEDIANTE TÉCNICAS DE  DIGNÓSTICO POR LA  IMAGEN</p>	<p><a href="https://www.repositoriosalud.es/bitstream/10668/1583/1/Cano_EvaluacionDelCartilago.pdf">https://www.repositoriosalud.es/bitstream/10668/1583/1/Cano_EvaluacionDelCartilago.pdf</a></p>
<p>VALORACIÓN DEL  PROCESO  DEGENERATIVO  ARTICULAR DE LA  RODILLA MEDIANTE</p>	<p><a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2444972517300037">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2444972517300037</a></p> <p><a href="https://ac.els-cdn.com/S2444972517300037/1-s2.0-S2444972517300037-main.pdf?_tid=7eac3e28-c1f4-4caf-bcbe-24cbd260287a&amp;acdnat=1544395928_7a818fdddb1847092a1819c0f8838d89">https://ac.els-cdn.com/S2444972517300037/1-s2.0-S2444972517300037-main.pdf?_tid=7eac3e28-c1f4-4caf-bcbe-24cbd260287a&amp;acdnat=1544395928_7a818fdddb1847092a1819c0f8838d89</a></p>

<p>RESONANCIA MAGNÉTICA</p>	
<p>EFICACIA DE LA RESONANCIA MAGNÉTICA EN EL DIAGNÓSTICO DE LESIONES DEL CARTÍLAGO ARTICULAR</p>	<p><a href="https://www.revistaartroscopia.com/ediciones-anteriores/2010/volumen-17-numero-2/20-volumen-05-numero-1/volumen-17-numero-2/480-eficacia-de-la-resonancia-magnetica-en-el-diagnostico-de-lesiones-del-cartilago-articular">https://www.revistaartroscopia.com/ediciones-anteriores/2010/volumen-17-numero-2/20-volumen-05-numero-1/volumen-17-numero-2/480-eficacia-de-la-resonancia-magnetica-en-el-diagnostico-de-lesiones-del-cartilago-articular</a></p>

NUEVAS TÉCNICAS DE IMAGEN EN LA VALORACIÓN DEL CARTÍLAGO ARTICULAR	<a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1699258X09000564">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1699258X09000564</a>
CUANTIFICACIÓN DEL VOLUMEN RELATIVO DAÑADO DEL CARTÍLAGO ARTICULAR DE LA RODILLA MEDIANTE MAPAS DE TIEMPOS DE RELAJACIÓN T2	<a href="https://core.ac.uk/download/pdf/55518921.pdf">https://core.ac.uk/download/pdf/55518921.pdf</a>

BIOMARCADORES DE IMAGEN, IMAGEN CUANTITATIVA Y BIOINGENIERÍA	<a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0033833811001123">https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0033833811001123</a>
LESIONES DEL CARTÍLAGO ARTICULAR DE LA RODILLA MEDIANTE RESONANCIA MAGNÉTICA: VENTAJAS DEL USO DE SECUENCIAS PONDERADAS EN	<a href="http://www.elsevier.es/es-revista-imagen-diagnostica-308-articulo-lesiones-del-cartilago-articular-rodilla-S2171366911700312">http://www.elsevier.es/es-revista-imagen-diagnostica-308-articulo-lesiones-del-cartilago-articular-rodilla-S2171366911700312</a>

DENSIDAD PROTÓNICA EN 3.0 TESLAS	
CARTÍLAGO ARTICULAR: EVALUACIÓN POR RESONANCIA MAGNÉTICA	<a href="https://scielo.conicyt.cl/pdf/rchradiol/v19n3/art08.pdf">https://scielo.conicyt.cl/pdf/rchradiol/v19n3/art08.pdf</a>
CARTÍLAGO ARTICULAR EN LA RODILLA: TÉCNICAS ACTUALES DE IMÁGENES POR RM Y APLICACIONES EN LA	<a href="https://pubs.rsna.org/doi/10.1148/rg.311105084?url_ver=Z39.88-2003&amp;rfr_id=ori%3Arid%3Acrossref.org&amp;rfr_dat=cr_pub%3Dpubmed&amp;">https://pubs.rsna.org/doi/10.1148/rg.311105084?url_ver=Z39.88-2003&amp;rfr_id=ori%3Arid%3Acrossref.org&amp;rfr_dat=cr_pub%3Dpubmed&amp;</a>

<p>PRÁCTICA CLÍNICA Y LA INVESTIGACIÓN</p>	
<p>IMAGEN DE RESONANCIA MAGNÉTICA DEL CARTÍLAGO ARTICULAR</p>	<p><a href="https://www.researchgate.net/publication/7406012">https://www.researchgate.net/publication/7406012</a> <u>Magnetic Resonance Imaging of Articular Cartilage</u></p>
<p>NUEVAS TÉCNICAS EN IMAGEN DE CARTÍLAGO ARTICULAR</p>	<p><a href="https://www.researchgate.net/publication/23639563">https://www.researchgate.net/publication/23639563</a> <u>New Techniques in Articular Cartilage Imaging</u></p>

<p>TÉCNICAS DE RM COMPOSITIVA PARA LA EVALUACIÓN DE LA DEGENERACIÓN DEL CARTÍLAGO EN LA OSTEOARTRITIS</p>	<p><a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1063458415011838">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1063458415011838</a></p>
<p>CORRELACIÓN DE GAGCEST MRI EN CARTÍLAGO CON DGEMRIC</p>	<p><a href="https://www.researchgate.net/publication/266094286">https://www.researchgate.net/publication/266094286</a> <u>Correlation of gagCEST MRI in Cartilage with dGEMRIC</u></p>
<p>UN ENSAYO CLÍNICO EN FASE I DE LA RODILLA</p>	<p><a href="https://www.researchgate.net/publication/314263478">https://www.researchgate.net/publication/314263478</a> <u>A Phase I Clinical Trial of the Knee to Assess the Correlation of gagCEST MRI Delayed Gadolinium-Enhanced MRI of Cartilage and T2 Mapping</u></p>

<p>PARA EVALUAR LA CORRELACIÓN DE GAGCEST MRI, MRI DE CARTÍLAGO Y CARTOGRAFÍA T2 MEJORADA CON GADOLINIO RETARDADO</p>	
<p>EVALUACIÓN DEL CONTENIDO DE AGUA POR LOS TIEMPOS DE RELAJACIÓN TRANSVERSAL</p>	<p><a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0730725X99001447?via%3Dihub">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0730725X99001447?via%3Dihub</a></p>

ESPACIALMENTE RESUELTOS DEL CARTÍLAGO ARTICULAR HUMANO	
CORRELACIÓN ENTRE COMPOSICIÓN BIOQUÍMICA Y MAGNÉTICA. APARIENCIA DE RESONANCIA DEL CARTÍLAGO ARTICULAR.	<a href="https://www.oarsijournal.com/article/S1063-4584(97)90089-3/pdf">https://www.oarsijournal.com/article/S1063-4584(97)90089-3/pdf</a>

LA RM DEL CARTÍLAGO MEJORADA CON GADOLINIO (DGEMRIC) DEMORADA NO MUESTRA CAMBIOS EN LA COMPOSICIÓN ESTRUCTURAL DEL CARTÍLAGO DESPUÉS DE LA ADMINISTRACIÓN DE SUPLEMENTOS DE VISCOSIDAD EN PACIENTES CON	<a href="https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3819245/">https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3819245/</a>

OSTEOARTRITIS DE RODILLA EN ESTADIO TEMPRANO	
UTILIDAD DE LA IRM MEJORADA CON GADOLINIO (DGEMRIC) PARA LA EVALUACIÓN CUALITATIVA DEL CARTÍLAGO ARTICULAR DE LA ARTICULACIÓN PATELOFEMORAL	<a href="https://link.springer.com/article/10.1007/s00167-005-0013-6#citeas">https://link.springer.com/article/10.1007/s00167-005-0013-6#citeas</a>

RESONANCIA MAGNÉTICA TESLA IN VIVO DE BIOQUÍMICA 7.0: RESULTADOS PRELIMINARES DE DGEMRIC, ZONAL T2 Y T2 * MAPEO DEL CARTÍLAGO ARTICU LAR	<a href="https://journals.lww.com/investigativeradiology/Abstract/2008/09000/In_Vivo_Biochemical_7_0_Tesla_Magnetic_Resonance_.4.aspx">https://journals.lww.com/investigativeradiology/Abstract/2008/09000/In_Vivo_Biochemical_7_0_Tesla_Magnetic_Resonance_.4.aspx</a>

<p>CUESTIONES DE PROTOCOLO PARA LA GD CON RETRASO (DTPA) (2 -) - MRI MEJORADA (DGEMRIC) PARA LA EVALUACIÓN CLÍNICA DEL CARTÍLAGO ARTICULAR.</p>	<p><a href="https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11146483">https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11146483</a></p> <p><a href="https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/1522-2594%28200101%2945%3A1%3C36%3A%3AAID-MRM1006%3E3.0.CO%3B2-W">https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/1522-2594%28200101%2945%3A1%3C36%3A%3AAID-MRM1006%3E3.0.CO%3B2-W</a></p>
<p>DGEMRIC (MRI DE CARTÍLAGO RETRASADA CON GADOLINIO) INDICA LA CAPACIDAD DE</p>	<p><a href="https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/14755653">https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/14755653</a></p>

<p>ADAPTACIÓN DEL  CARTÍLAGO DE LA  RODILLA HUMANA.</p>	
<p>REPRODUCIBILIDAD DE  IMÁGENES DEL  CARTÍLAGO DE LA  RODILLA HUMANA  MEDIANTE RM  DEMORADA CON  GADOLINIO DEL</p>	<p><a href="https://www.oarsijournal.com/article/S1063-4584(08)00371-3/fulltext">https://www.oarsijournal.com/article/S1063-4584(08)00371-3/fulltext</a></p>

<p>CARTÍLAGO (DGEMRIC) A 1,5 TESLA</p>	
<p>GLICOSAMINOGLICANO EN EL CARTÍLAGO ARTICULAR: EVALUACIÓN IN VIVO CON GD RETARDADO (DTPA) (2 -) - RM MEJORADA.</p>	<p><a href="https://pubs.rsna.org/doi/10.1148/radiology.205.2.9356644">https://pubs.rsna.org/doi/10.1148/radiology.205.2.9356644</a></p>
<p>T2: TIEMPO DE RELAJACIÓN DEL CARTÍLAGO EN LA RM: COMPARACIÓN CON LA</p>	<p><a href="https://pubs.rsna.org/doi/10.1148/radiol.2322030976">https://pubs.rsna.org/doi/10.1148/radiol.2322030976</a></p>

<p>GRAVEDAD DE LA OSTEOARTRITIS DE RODILLA</p>	
<p>REPRODUCIBILIDAD GLOBAL Y REGIONAL DE LAS MEDICIONES DEL TIEMPO DE RELAJACIÓN <math>T_2</math> EN CARTÍLAGO PATELAR HUMANO</p>	<p><a href="https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/mrm.21005">https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/mrm.21005</a></p>

<p>MAGNETIC RESONANCE IMAGING OF CARTILAGEGLYCOSAMI NOGLYCAN: BASIC PRINCIPLES, IMAGING TECHNIQUE,AND CLINICAL APPLICATIONS</p>	<p><a href="https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/jor.20482">https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/jor.20482</a></p>
<p>CARTÍLAGO ARTICULAR DE LA ARTICULACIÓN DE LA RODILLA HUMANA: ANÁLISIS IN VIVO DE</p>	<p><a href="https://pubs.rsna.org/doi/full/10.1148/radiol.2015142201">https://pubs.rsna.org/doi/full/10.1148/radiol.2015142201</a></p>

MULTICOMPONENTE T2 A 3,0 T	
EVALUACIÓN DEL CARTÍLAGO ARTICULAR DE LA ARTICULACIÓN DE LA RODILLA: EL VALOR DE AGREGAR UNA SECUENCIA DE MAPEO T2 A UN PROTOCOLO DE IMAGEN DE RM DE RUTINA	<a href="https://pubs.rsna.org/doi/full/10.1148/radiol.12121413">https://pubs.rsna.org/doi/full/10.1148/radiol.12121413</a>

¿ES EL MAPEO T1P UNA ALTERNATIVA A LA IMAGEN DE RM POTENCIADA CON GADOLINIO TARDÍO DEL CARTÍLAGO EN LA EVALUACIÓN DEL CONTENIDO DE GLICOSAMINOGLICANOS SULFATADOS EN LAS RODILLAS CON OSTEOARTRITIS	<a href="https://pubs.rsna.org/doi/10.1148/radiol.2015150693">https://pubs.rsna.org/doi/10.1148/radiol.2015150693</a>

HUMANA? UN ESTUDIO DE VALIDACIÓN IN VIVO	
INCREASED STROMELYSIN-1 (MMP-3), PROTEOGLYCAN DEGRADATION (3B3- AND 7D4) AND COLLAGEN DAMAGE IN CYCLICALLY LOAD-INJURED ARTICULAR CARTILAGE	<a href="https://www.oarsijournal.com/article/S1063-4584(04)00043-3/pdf">https://www.oarsijournal.com/article/S1063-4584(04)00043-3/pdf</a>

## 10 Bibliografía

1. [Online]. Available from: HYPERLINK  
"http://espanol.arthritis.org/espanol/disease-center/condropatia-rotuliana/"  
<http://espanol.arthritis.org/espanol/disease-center/condropatia-rotuliana/> .
  
2. [Online]. Available from: HYPERLINK  
"http://www.medigraphic.com/pdfs/anaradmex/arm-2005/arm054h.pdf"  
<http://www.medigraphic.com/pdfs/anaradmex/arm-2005/arm054h.pdf> .
  
3. Waldschmidt JG. Imágenes de RM in vitro e in vivo del cartílago hialino: anatomía zonal, trampas de la imagen y condiciones patológicas.. In Waldschmidt JG.; 1997. p. 1387-1402.
  
4. [Online]. Available from: HYPERLINK  
"https://rdu.unc.edu.ar/bitstream/handle/11086/6520/Andres%20Monsalvo%20-%20Informe%20de%20PI.pdf?sequence=2&isAllowed=y"  
<https://rdu.unc.edu.ar/bitstream/handle/11086/6520/Andres%20Monsalvo%20-%20Informe%20de%20PI.pdf?sequence=2&isAllowed=y> .
  
5. Xia Y FTBWNLG0dldceMJMRI1, 887-894 7. [Online]. Available from:  
HYPERLINK "https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/jmri.1880070518"  
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/jmri.1880070518> .

6. Magnetic Resonance Imaging of articular cartilage. [Online]. Available from:  
HYPERLINK

"https://journals.lww.com/jbjsreviews/Abstract/2016/08000/Magnetic\_Resonance\_I  
maging\_of\_Articular\_Cartilage.1.aspx"

[https://journals.lww.com/jbjsreviews/Abstract/2016/08000/Magnetic\\_Resonance\\_I  
maging\\_of\\_Articular\\_Cartilage.1.aspx](https://journals.lww.com/jbjsreviews/Abstract/2016/08000/Magnetic_Resonance_I<br/>maging_of_Articular_Cartilage.1.aspx) .

7. [Online]. Available from: HYPERLINK

"http://dspace.ucbscz.edu.bo/dspace/bitstream/123456789/21401/1/11699.pdf"

<http://dspace.ucbscz.edu.bo/dspace/bitstream/123456789/21401/1/11699.pdf> .

8. Day RA. Cómo escribir y publicar trabajos científicos (3ª ed.). Washington, DC:  
Organización Panamericana de la Salud; 2005.

9. Day RA. [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0036-46652007000300014](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0036-46652007000300014). [Online].; 2005 [cited 2018]. Available from: HYPERLINK

"http://www1.paho.org/hq/dmdocuments/como-escribir-escritos-cientificos-

2010.pdf" <http://www1.paho.org/hq/dmdocuments/como-escribir-escritos-cientificos-2010.pdf> .

1 [Online]. Available from: HYPERLINK

0. "https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4447089/"

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4447089/> .

1 [Online]. Available from: HYPERLINK

1. "https://www.oarsijournal.com/article/S1063-4584(10)00199-8/fulltext" \l "sec2.2"  
[https://www.oarsijournal.com/article/S1063-4584\(10\)00199-8/fulltext#sec2.2](https://www.oarsijournal.com/article/S1063-4584(10)00199-8/fulltext#sec2.2) .

1 Teodoro Martín Noguero MGCJCVB. Revista Electrónica Educativa. Título del

2. Artículo: Técnicas de imagen avanzada mediante RM del cartílago. [Online].

Available from: HYPERLINK "https://piper.espacio-  
seram.com/index.php/seram/article/download/313/236/" [https://piper.espacio-  
seram.com/index.php/seram/article/download/313/236/](https://piper.espacio-seram.com/index.php/seram/article/download/313/236/) .

1 [Online]. Available from: HYPERLINK

3. "https://pubs.rsna.org/doi/10.1148/radiol.12121413"  
<https://pubs.rsna.org/doi/10.1148/radiol.12121413> .

1 F. Eckstein GARBDBFCBDMG. Propuesta de una nomenclatura para las mediciones

4. de resonancia magnética basadas en el cartílago articular en la osteoartritis. [Online].

Available from: HYPERLINK "https://www.oarsijournal.com/article/S1063-  
4584(06)00052-5/fulltext" [https://www.oarsijournal.com/article/S1063-  
4584\(06\)00052-5/fulltext](https://www.oarsijournal.com/article/S1063-4584(06)00052-5/fulltext) .

1 [Online]. Available from: HYPERLINK

5. "https://pubs.rsna.org/doi/10.1148/rg.311105084?url\_ver=Z39.88-  
2003&rfr\_id=ori%3Arid%3Acrossref.org&rfr\_dat=cr\_pub%3Dpubmed&" \l

"fig20a" [https://pubs.rsna.org/doi/10.1148/rg.311105084?url\\_ver=Z39.88-2003&rfr\\_id=ori%3Arid%3Acrossref.org&rfr\\_dat=cr\\_pub%3Dpubmed&#fig20a](https://pubs.rsna.org/doi/10.1148/rg.311105084?url_ver=Z39.88-2003&rfr_id=ori%3Arid%3Acrossref.org&rfr_dat=cr_pub%3Dpubmed&#fig20a) .

1 [Online]. Available from: HYPERLINK

6. "https://www.revistaartroscopia.com/ediciones-antteriores/2009/volumen-16-numero-2/24-volumen-05-numero-1/volumen-16-numero-2/582-lesiones-del-cartilago-de-la-rodilla-hallazgos-artroscopicos-con-imagenes-previas-negativas" <https://www.revistaartroscopia.com/ediciones-antteriores/2009/volumen-16-numero-2/24-volumen-05-numero-1/volumen-16-numero-2/582-lesiones-del-cartilago-de-la-rodilla-hallazgos-artroscopicos-con-imagenes-previas-negativas> .

1 [Online]. Available from: HYPERLINK " [http://www.serme.es/wp-](http://www.serme.es/wp-content/uploads/2016/05/capitulo6p.pdf)

7. [content/uploads/2016/05/capitulo6p.pdf](http://www.serme.es/wp-content/uploads/2016/05/capitulo6p.pdf)" <http://www.serme.es/wp-content/uploads/2016/05/capitulo6p.pdf> .

1 Revista latinoamericana. [Online]. Available from: HYPERLINK "https://ac.els-

8. [cdn.com/S2444972517300037/1-s2.0-S2444972517300037-main.pdf?\\_tid=7eac3e28-c1f4-4caf-bcbe-24cbd260287a&acdnat=1544395928\\_7a818fdddb1847092a1819c0f8838d89](https://ac.els-cdn.com/S2444972517300037/1-s2.0-S2444972517300037-main.pdf?_tid=7eac3e28-c1f4-4caf-bcbe-24cbd260287a&acdnat=1544395928_7a818fdddb1847092a1819c0f8838d89)" [https://ac.els-cdn.com/S2444972517300037/1-s2.0-S2444972517300037-main.pdf?\\_tid=7eac3e28-c1f4-4caf-bcbe-24cbd260287a&acdnat=1544395928\\_7a818fdddb1847092a1819c0f8838d89](https://ac.els-cdn.com/S2444972517300037/1-s2.0-S2444972517300037-main.pdf?_tid=7eac3e28-c1f4-4caf-bcbe-24cbd260287a&acdnat=1544395928_7a818fdddb1847092a1819c0f8838d89) .

1 Prieto JEL. Manual de Resonancia Magnética Osteoarticular. In Prieto JEL.:  
9. ASEPEYO; 2002. p. 81-90.

2 [http://www.reumatologiaclinica.org/es/nuevas-tecnicas-imagen-valoracion-  
0. del/articulo/S1699258X09000564/](http://www.reumatologiaclinica.org/es/nuevas-tecnicas-imagen-valoracion-del/articulo/S1699258X09000564/). [Online]. Available from: HYPERLINK  
"http://www.reumatologiaclinica.org/es/nuevas-tecnicas-imagen-valoracion-  
del/articulo/S1699258X09000564/" [http://www.reumatologiaclinica.org/es/nuevas-  
tecnicas-imagen-valoracion-del/articulo/S1699258X09000564/](http://www.reumatologiaclinica.org/es/nuevas-tecnicas-imagen-valoracion-del/articulo/S1699258X09000564/) .

2 J. Multanen ERELROIKAHMNAH. Reproducibilidad de imágenes del cartílago de  
1. la rodilla humana mediante RM demorada con gadolinio del cartílago (dGEMRIC) a  
1,5 Tesla. [Online]. Available from: HYPERLINK  
"https://www.oarsijournal.com/article/S1063-4584(08)00371-3/fulltext"  
[https://www.oarsijournal.com/article/S1063-4584\(08\)00371-3/fulltext](https://www.oarsijournal.com/article/S1063-4584(08)00371-3/fulltext) .