



**Universidad de Valladolid**  
**Grado en Enfermería**  
**Facultad de Enfermería de Valladolid**

**UVa**

**Curso 2022 - 2023**  
**Trabajo de Fin de Grado**

**Elaboración de un atlas de imágenes  
histológicas para la  
docencia en el grado de Enfermería:  
TEJIDOS CARTILAGINOSO Y ÓSEO.**

Alba Elizabeth Fleitas Gutiérrez

Tutora: Patricia Gallego Muñoz

Cotutor: Francisco Javier Agudo Bernal

## RESUMEN:

Los tejidos cartilaginoso y óseo son tejidos especializados del tejido conjuntivo/conectivo. Se encargan de mantener y sostener el esqueleto humano ante cualquier tipo de fuerza, además de proteger órganos vitales. El tejido cartilaginoso se suele encontrar en las articulaciones de los huesos permitiendo el movimiento del esqueleto. Los huesos forman el esqueleto y en ellos también se almacenan iones o el tejido hematopoyético (médula ósea).

La finalidad de este trabajo ha sido la elaboración de un atlas de imágenes histológicas sobre los tejidos cartilaginoso y óseo. Para ello, se han desarrollado las características de ambos tejidos señalándolas en varias imágenes obtenidas a partir de microscopios virtuales, ópticos y electrónicos. Los alumnos del Grado en Enfermería de la Universidad de Valladolid, podrán apoyarse en este atlas para el estudio de la asignatura de Biología, concretamente en la parte de histología.

Palabras clave: histología, atlas, tejido cartilaginoso, condrocito, tejido óseo, osteocito.

## ABSTRACT:

The cartilaginous and bone tissues are specialized tissues of the connective tissue. They are responsible for maintaining and supporting the human skeleton against any type of force, as well as protecting vital organs. The cartilaginous tissue is usually found in the joints of the bones allowing the movement of the skeleton. The bones form the skeleton, and in them ions are also stored, or the hematopoietic tissue (bone marrow).

The purpose of this work has been the elaboration of an atlas of histological images on the cartilaginous and bone tissues. To do this, the characteristics of those kind of tissues have been developed, pointing them out in several images obtained from virtual, optical and electronic microscopes. The students of the Degree in Nursing at the University of Valladolid will be able to rely on this atlas for the study of Biology, specifically in the part of histology.

Key words: histology, atlas, cartilaginous tissue, chondrocyte, bone tissue, osteocyte.

ÍNDICE DE CONTENIDOS	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	1
JUSTIFICACIÓN .....	3
OBJETIVOS.....	3
METODOLOGÍA.....	4
MATERIAL Y MÉTODOS.....	4
DESARROLLO DEL TEMA.....	8
CONCLUSIONES.....	29
BIBLIOGRAFÍA.....	30

## ÍNDICE DE FIGURAS:

Pág.

Figura 1. Esquema de los diferentes procesos que tienen lugar durante el procesamiento histológico de una muestra biológica.....	5
Figura 2. Micrografías de microscopía óptica (MO) de distintos cortes histológicos teñidos con H&E. [A] Tráquea [B] Hueso largo [C] Hueso esponjoso de pierna fetal. ....	7
Figura 3. [A] Fotomicrografía de MO de tejido cartilaginoso, teñida con tricrómico de Masson [B] Micrografía de MO de tejido óseo teñida con la tinción de Schmorl .....	8
Figura 4. [A] Micrografía tomada bajo MO de una muestra de cartílago teñida con H&E, donde se observan los principales componentes del tejido cartilaginoso. [B] Sección histológica de cartílago teñida con H&E en la que se observan los dos tipos de pericondrio junto con los demás componentes del tejido: (1) pericondrio condrogénico (2) pericondrio fibroso.....	9
Figura 5. [A] Imagen de microscopía electrónica de transmisión (MET) donde se puede identificar el gran desarrollo del retículo endoplasmático de los condroblastos. [B] Imagen de MO de la tráquea (H&E), en la que se observa la maduración de los condroblastos; primero de color rosado en el periostio, y una vez que alcanzan la matriz cartilaginosa se diferencian en condrocitos formando grupos isogénicos.....	10
Figura 6. [A] Microfotografía de MET donde se identifican: (1) matriz interterritorial, (2) fibras de colágeno, (3) núcleo del condrocito y (4) citoplasma del condrocito. [B] Microfotografía de MO teñida con H&E en la cual se diferencian sus componentes.....	11
Figura 7. Esquema donde se refleja la distribución de las fibras colágenas y proteoglicanos de la matriz del tejido cartilaginoso. ....	12
Figura 8. Esquema de las diferencias entre el crecimiento aposicional e intersticial. Fotomicrografía de un corte histológico del cartílago hialino tomada con MO de la tráquea teñido con H&E, en el que se pueden observar los condrocitos formando grupos isogénicos (flecha) por lo que este cartílago tiene crecimiento intersticial. Se observa la matriz territorial, basófila, teñida de color morado (★) y la interterritorial, acidófila, de color rosa (►) .....	13
Figura 9. [A] Microfotografía de MO de cartílago hialino de tráquea rodeado de pericondrio (H&E). Se identifica de color púrpura la matriz con los condrocitos agrupados en grupos isogénicos, mientras de color rosa se encuentra la capa de pericondrio. [B] Ampliación de la imagen A.....	14
Figura 10. [A] Microfotografía de microscopía electrónica de barrido (MEB). De color púrpura se identifican los condrocitos dentro de la matriz (azul) y el pericondrio (verde) (color por software). [B] Micrografía de MO teñida con H&E de cartílago articular hialino, característico por la ausencia del pericondrio.....	15

Figura 11. [A]Microfotografía de MO teñida con tricrómico de Masson en la que se pueden identificar los siguientes componentes: Pericondrio fibroso (1), pericondrio condrogénico (2) y matriz extracelular (fibras de color rosa-púrpura, colágeno tipo II y proteoglicanos) y condrocitos dentro de las lagunas (3). [B]Microfotografía de MET en la que se pueden observar los componentes elásticos de la matriz.....	16
Figura 12. [A] Microfotografía de MO de condrocitos en hilera rodeados de fibras colágenas. [B] Microfotografía de disco intervertebral tomada con MO, donde se aprecian condrocitos de menor tamaño y matriz poco abundante. [C] Microfotografía de MO teñida con H&E donde se diferencian las fibras de colágeno del fibrocartílago en paralelo.....	17
Figura 13. [A] Esquema del procedimiento para tratar de regenerar el cartílago con células madre. [B]Sección histológica bajo MO teñida con H&E de cartílago articular sano. [C] Sección histológica bajo MO teñida con H&E cartílago articular artrósico mostrando irregularidades en la superficie, con fisuras hacia la zona radial y clonación de condrocitos .....	18
Figura 14. [A] y [B] Imágenes de MO teñidas con H&E de hueso en desarrollo encontrándose los osteoblastos en la superficie de las espículas óseas, y las células osteoprogenitoras entre las mismas. [C] Fotomicrografía de sección histológica bajo MO de tibia fetal teñida con Tricrómico de Masson, en el que se pueden observar el crecimiento del hueso en anchura a partir de las células osteoprogenitoras (1), situadas en el periostio. Estas células se diferencian en osteoblastos (2), que van a secretar los componentes del osteoide (matriz orgánica no mineralizada secretada por los osteoblastos) y se diferencian en osteocitos (3).....	20
Figura 15. [A] Sección histológica transversal de un hueso largo tomada con MO, teñida con H&E, en la que se encuentran los osteoblastos (flecha) en el canal de Havers, concretamente en la zona del endostio [B]Sección histológica longitudinal de hueso largo tomada con MO y teñida con H&E, donde los osteoblastos (flecha) están alineados en el interior de los canales de Havers. También se observan los osteocitos en las lagunas de la matriz ósea.....	21
Figura 16. [A] Microfotografía de MET que permite identificar los elementos del osteocito: (1) Mitocondria. (2) Retículo endoplasmático rugoso (3) Laguna. (4) Núcleo condensado. (5) Canalículos. [B] Micrografía de MEB de un osteocito atrapado en una laguna donde se aprecian los canalículos. [C] Fotomicrografía tomada bajo MO donde se observan los canalículos y las lagunas de los osteocitos. ....	22
Figura 17. [A] Micrografías de MO teñidas con H&E donde se señalan los osteoclastos del tejido cartilaginoso. [B]Fotomicrografía de sección histológica a MO de una trabécula ósea teñida con Tricrómico de Masson, en el que se puede observar un osteoclasto que se puede distinguir porque tiene varios núcleos (flecha). Por un artefacto de la técnica se observa separado de su laguna de resorción o de Howship (*). [C] MET teñida con H&E: osteoclasto.....	23

Figura 18. [A]Micrografía a MO teñida con tinción de Schmorl donde se señalan e identifican los componentes del tejido óseo compacto de un hueso largo. [B] MEB de una sección transversal de una osteona.....	24
Figura 19. Microfotografía de MO teñida con H&E en la cual se identifican las distintas láminas del tejido compacto en un corte transversal de fémur.....	25
Figura 20. [A]Sección histológica a MO teñida con H&E de hueso trabecular vertebral, en el que se aprecian en detalle las trabéculas y los demás componentes del tejido esponjoso. [B] MEB a color por software en la que se compara la morfología del tejido esponjoso en amarillo, con el tejido óseo compacto señalado en color azul, ya que se trata de un corte longitudinal de un hueso largo.....	26
Figura 21: Micrografías a MO teñida con H&E. [A] Representa un corte transversal del fémur [B]Sección transversal del hueso craneal (calvario). En ambos se observa la relación entre el hueso compacto y esponjoso, encontrándose en este segundo los espacios de la medula ósea en la zona interior y el hueso compacto alrededor del esponjoso.....	27
Figura 22. MO teñida con H&E de sección histológica trasversal de fémur fetal en proceso de osificación. Se observa el tejido óseo esponjoso con las trabéculas y la cavidad medular.....	28
Figura 23. Micrografía tomada con el MO y teñida con H&E en la que se observa la osteoporosis del hueso. ....	29

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS:

GAG: Glucosaminoglucanos.

H&E: Hematoxilina-eosina.

MEB: Microscopía electrónica de barrido.

MEC: Matriz extracelular.

MET: Microscopía electrónica de transmisión.

MO: Microscopía óptica.

RER: Retículo endoplasmático rugoso.

TCBE: Trinity Centre for Bioengineering.

UVa: Universidad de Valladolid.

## INTRODUCCIÓN

La histología es la parte de la anatomía que estudia las estructuras del organismo (células, tejidos y órganos) bajo el microscopio. Esta rama también contempla los aspectos funcionales de las mismas, guardando una relación directa con otros campos de investigación como la biología celular, la bioquímica, la fisiología, la embriología o la anatomía patológica. Actualmente, destaca la importancia de esta ciencia en las investigaciones clínicas y en la evidencia sanitaria, puesto que nos permite comprender y diagnosticar diferentes patologías bajo el microscopio.<sup>1,2</sup>

La herramienta fundamental y necesaria para desarrollar estas investigaciones es el microscopio. Tras varias pruebas con diversas lentes, Zacharias Janssen inventó en 1590 el primer microscopio. Poco después, Robert Hooke realizó la primera descripción de lo que confundió como célula en su obra "Micrographia", mientras observaba una lámina de corcho con celdas poliédricas vacías. Fue entonces cuando Marcello Malpighi se convirtió en precursor de la histología al estudiar tejidos vivos de plantas y animales. A finales de siglo XVII, Anton van Leeuwenhoek logró trabajar con las primeras imágenes de bacterias, glóbulos rojos, protozoos y espermatozoides, ya que había mejorado las lentes de aumento y técnicas descritas por Hooke.

Marie-François-Xavier Bichat fue nombrado padre de la histología moderna al identificar 21 tejidos diferentes de cadáveres, utilizando varias pruebas químicas en las disecciones de estos. En el siglo XX, ya se había avanzado bastante en estos estudios porque durante el siglo anterior se perfeccionaron las técnicas del procesamiento histológico.<sup>3,4</sup> En 1931 Ernst Ruska desarrollo junto con Max Knoll el primer microscopio electrónico, que permitía ver imágenes con mayor resolución, consiguiendo aumentos de hasta 100.000X. Anteriormente con los microscopios ópticos no se consiguieron aumentos superiores a 500X o 1000X, pero los electrónicos lo lograron, sustituyendo los fotones de luz por un haz de electrones para enfocar la muestra.

En el microscopio óptico, las imágenes se ven con la luz visible y las lentes son de vidrio, mientras que el electrónico utiliza electrones y lentes

electromagnéticas. Además, las imágenes en microscopía óptica son en color, y por el contrario, las de microscopía electrónica no tienen color. Esto se debe a que, para observar las muestras en el microscopio óptico, hay que teñirlas con colorantes específicos que aumenten el contraste y revelen los detalles de la imagen. En el microscopio electrónico las imágenes se ven sólo en blanco y negro, ya que no se utiliza la luz visible, y permite la observación y caracterización mostrando información morfológica del material analizado. La amplificación de las imágenes es mayor en el microscopio electrónico que en el óptico, debido a que la longitud de onda de los electrones es menor que la de los fotones. El microscopio óptico se encuentra limitado por la difracción de la luz, que es un fenómeno por el cual el haz de luz se desvía en el espacio siendo su máximo 1.500 aumentos. El desarrollo de la microscopía ha permitido que los microscopios electrónicos alcancen aumentos superiores al millón.

Las imágenes de este trabajo están reconstruidas por microscopios virtuales como los de la Universidad de Michigan <sup>5</sup> y la de Minnesota <sup>6</sup>. Estos se basan en la utilización de muestras observadas bajo microscopios (óptico o electrónico) y escaneadas, permitiendo visualizarlas en dispositivos digitales con acceso a internet. Gracias a las nuevas tecnologías se desarrollan estos proyectos, favoreciendo la docencia a distancia y permitiendo la accesibilidad en todo momento por parte del alumnado.

El ser humano cuenta con 4 tipos diferentes de tejidos: epitelial, conectivo o conjuntivo, muscular y nervioso. Dentro del tejido conectivo/conjuntivo encontramos el conectivo propiamente dicho y los conectivos especializados. El tejido conectivo propiamente dicho puede ser laxo o denso, mientras que dentro de los tejidos conectivos especializados tenemos el tejido adiposo, óseo, sanguíneo y cartilaginoso.

Este trabajo está orientado a la docencia del Grado en Enfermería de la Universidad de Valladolid, tiene como principal objetivo explicar y desarrollar un atlas del tejido cartilaginoso y óseo. Como se ha comentado anteriormente, ambos tejidos pertenecen al tejido conectivo, el cual cumple principalmente funciones de sostén y mantenimiento.

Elaborar este atlas de imágenes histológicas permitirá, a los alumnos del primer curso del Grado en Enfermería, tener a su alcance un recurso de apoyo y estudio de estos tejidos. También se han incluido correlaciones clínicas para explicar y comprender mejor la teoría impartida en la asignatura, dando un apunte práctico y de interés. Formará parte del repositorio de la UVa, junto con otros atlas ya elaborados.

## JUSTIFICACIÓN

Este trabajo se orienta a la asignatura de Biología del primer curso del Grado en Enfermería, para facilitar la comprensión, el estudio y el aprendizaje de los contenidos teóricos y prácticos de esta. Los estudiantes suelen comprender mejor la parte teórica con ejemplos gráficos y visuales, por lo que es importante ofrecerles herramientas adaptadas a su aprendizaje. Poner a su alcance la elaboración de este atlas histológico de los tejidos cartilaginoso y óseo, ayudará a completar los contenidos teóricos y prácticos impartidos durante las clases magistrales.

Desde el departamento de Biología Celular, Genética, Histología y Farmacología de la UVa se está llevando a cabo un proyecto de innovación docente con la elaboración de una colección de atlas histológicos de los distintos tejidos del organismo. Este atlas formará parte de la colección aportando imágenes y descripciones actualizadas de los tejidos anteriormente citados.

## OBJETIVOS

El principal objetivo es desarrollar un atlas histológico que sirva para facilitar el aprendizaje y como soporte para los alumnos del Grado en Enfermería en la asignatura de Biología, concretamente en el bloque de histología. En este atlas se detallará el estudio de los tejidos cartilaginoso y óseo, incluyendo imágenes histológicas de microscopios virtuales. Los contenidos desarrollados pretenden ser claros y concisos, para que los alumnos puedan aclarar dudas, profundizar y afianzar el temario.

Un objetivo específico de este trabajo es fomentar el estudio de la materia a través de los microscopios virtuales, ya que son una herramienta novedosa dentro de las aulas. Hoy en día, es fundamental incluir las nuevas tecnologías en el aprendizaje, y el microscopio virtual es un buen instrumento para llamar la atención de los alumnos y mostrar curiosidad por la asignatura. Los alumnos pueden interactuar con el microscopio virtual, buscando imágenes proporcionadas por el microscopio de los diferentes tipos de tejidos. El criterio de búsqueda puede ser según las distintas partes del cuerpo o tipos de tejido, logrando conseguir nociones de escala, proporción y contexto que no sería posible con un atlas o libro de texto convencional. Así mismo, permite correlacionar la teoría explicada durante las lecciones magistrales con las imágenes (en las secciones histológicas vienen seleccionados las características de estas).

## METODOLOGÍA

El método elegido para este trabajo es la investigación educativa, ya que la finalidad de este es la docencia del tejido cartilaginoso y óseo en la asignatura de Biología. Por ello, el lenguaje utilizado será claro y sencillo incluyendo tecnicismos científicos propios de la asignatura.

Todas las fuentes de información utilizadas para elaborar este atlas tienen una base científica empírica, donde las imágenes escogidas son tejidos preparados, escaneados y reconstruidos en los microscopios virtuales de las universidades de Michigan <sup>5</sup> y de Minnesota.<sup>6</sup> De esta manera, se pueden analizar estructuras de mayor y menor aumento en la misma muestra. Además de otros microscopios virtuales, se han recopilado datos de libros histológicos del repositorio y biblioteca de la universidad, como el manual de Histología de Geneser. <sup>7</sup>

## MATERIAL Y MÉTODOS

Para la elaboración del atlas es necesario preparar las secciones histológicas de los tejidos a observar. Esto se realiza siguiendo un proceso concreto y en el

orden indicado para evitar estropearlos. Con el siguiente esquema podemos entender el procesamiento de los tejidos antes de observarlas bajo el microscopio (Fig. 1).

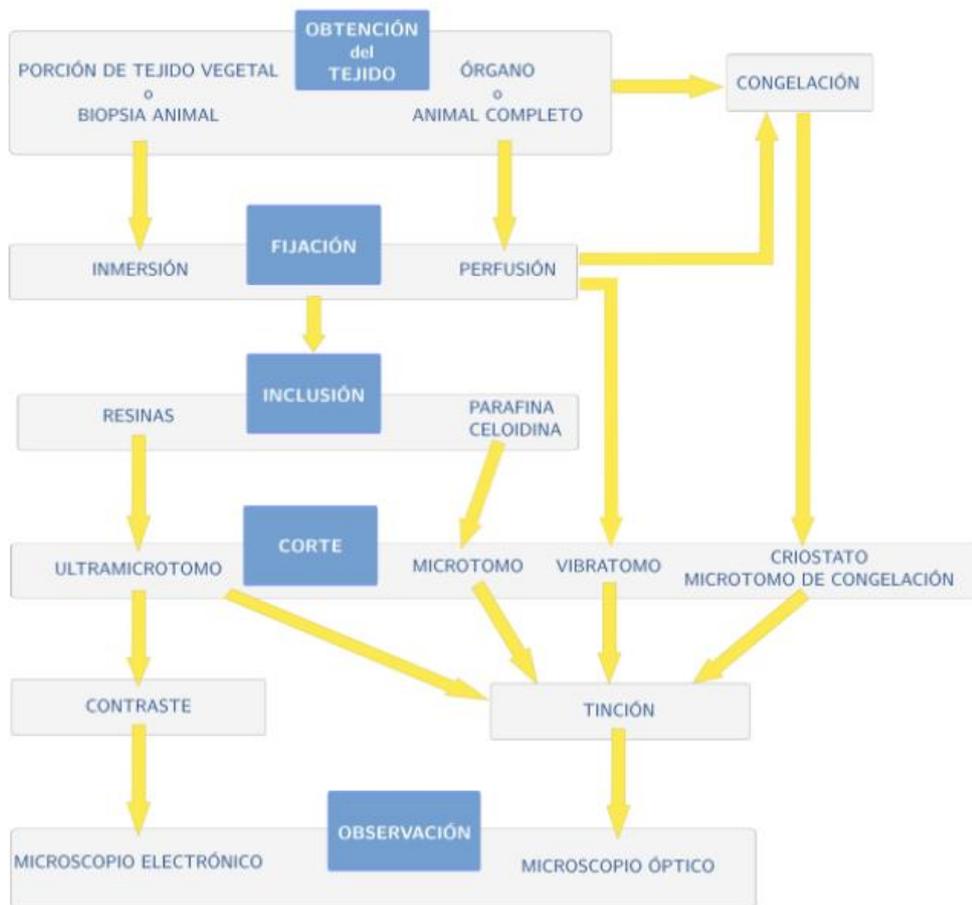


Figura 1. Esquema de los diferentes procesos que tienen lugar durante el procesamiento histológico de una muestra biológica.

Tras la obtención de la muestra, se debe fijar para eludir los procesos de autólisis y degradación. La fijación se puede dar por procesos físicos o químicos. Dentro de los procesos físicos se utiliza la congelación rápida con nitrógeno líquido, para la muestra quede endurecida y poder cortarla con el microtomo. Como ventaja a la fijación química, la física no inactiva las enzimas y mantiene las proteínas fijadas en su lugar fisiológico, permitiendo que el estudio de la muestra sea más real y fiable. Por otra parte, la fijación química puede ser por inmersión o

perfusión. En la inmersión la muestra se deposita en un recipiente con líquido fijador (por ejemplo, las muestras de biopsias), mientras que en la perfusión el fijador se inyecta por el torrente sanguíneo proporcionando muestras instantáneas de tejidos vivos (en estudios muy exigentes con animales de experimentación). El líquido fijador más usado es el formol al 10% para muestras de microscopía óptica, y para microscopía electrónica se utiliza una solución de glutaraldehído seguido de tetróxido de osmio.

El siguiente proceso es la inclusión, cuyo fin es aportar a la muestra una dureza homogénea para poder cortarla posteriormente. Se pueden utilizar dos sustancias: la parafina (en microscopía óptica) y las resinas (en microscopios ópticos y electrónicos). Antes de este paso, es necesario deshidratar y aclarar la muestra con etanol o xileno para eliminar el alcohol. A continuación, se realiza el corte, que consiste en obtener secciones muy finas de la muestra, del orden de unas 5 micras.

Para terminar, se monta sobre un portaobjetos y se da contraste mediante la aplicación de colorantes (sólo las muestras para microscopía óptica) para poder ver a color las imágenes y resaltar los componentes del tejido. Estos colorantes son cambiantes según el pH de las estructuras, donde las basófilas se tiñen de color azul (componentes nucleares) y las acidófilas de rojo (estructuras citoplasmáticas) en casos de tinciones electrostáticas como por ejemplo la hematoxilina-eosina (H&E).<sup>1,7</sup>

Con el objetivo de ver las distintas estructuras de las muestras, se utilizan diferentes tinciones según lo que se desee observar. Los colorantes más utilizados para los tejidos cartilaginosa y óseo son los siguientes:

- Hematoxilina y eosina (H&E): es una tinción general y la más frecuente para observar morfología. La hematoxilina es un colorante básico por lo que tiñe los componentes ácidos de un color azul-violeta. Por el contrario, al ser la eosina un colorante ácido, teñirá las estructuras acidófilas con una tonalidad rosada. El colágeno y las fibras elásticas del cartílago se observarán de color rosado. Los cortes de hueso deben ser desmineralizados (con ácidos o agentes quelantes) dejando atrás sólo

componentes orgánicos. Al aplicarse ambos colorantes de manera conjunta, permite observar distintos componentes celulares y extracelulares, pudiéndose llevar a cabo el estudio de la morfología del tejido (Fig. 2).<sup>5</sup>

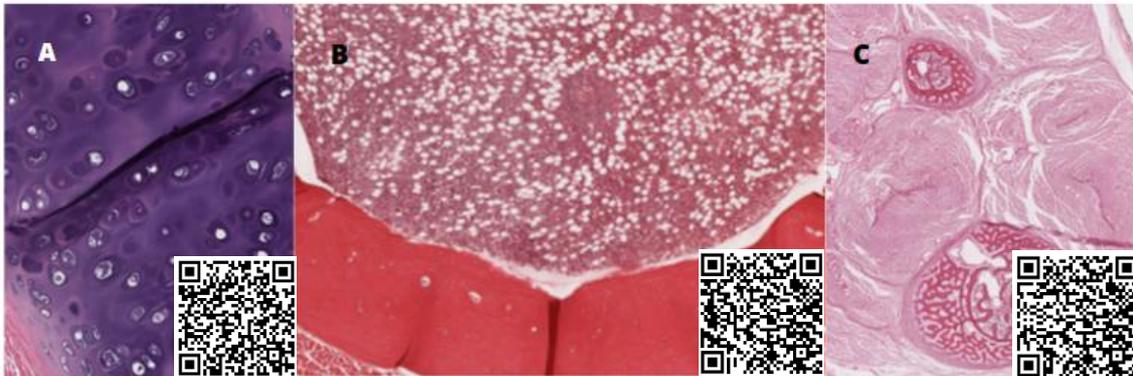


Figura 2. Micrografías de microscopía óptica (MO) de distintos cortes histológicos teñidos con H&E. [A]

Tráquea ([https://histologyslides.med.umich.edu/Histology/Respiratory%20System/126\\_HISTO\\_40X.htm](https://histologyslides.med.umich.edu/Histology/Respiratory%20System/126_HISTO_40X.htm)) [B] Hueso largo ([https://histologyslides.med.umich.edu/Histology/Basic%20Tissues/Cartilage%20and%20Bone/050\\_HISTO\\_40X.htm](https://histologyslides.med.umich.edu/Histology/Basic%20Tissues/Cartilage%20and%20Bone/050_HISTO_40X.htm)) [C] Hueso esponjoso de pierna fetal. ([https://histologyslides.med.umich.edu/Histology/Basic%20Tissues/Cartilage%20and%20Bone/048\\_HISTO\\_40X.htm](https://histologyslides.med.umich.edu/Histology/Basic%20Tissues/Cartilage%20and%20Bone/048_HISTO_40X.htm))

- Tricrómico de Masson: especialmente se utiliza para diferenciar fibras de colágeno las cuales se tiñen de color azul verdoso, y nos sirve para identificar el pericondrio del tejido cartilaginoso.<sup>8,9</sup>
- Tinción de Schmorl: es el principal colorante utilizado para el tejido óseo, ya que permite visualizar los componentes del tejido mejor que otros (matriz, lagunas y canaliculos). Las lagunas y canaliculos se observan de color marrón oscuro y la matriz de amarillo oscuro (Fig. 3).<sup>10</sup>

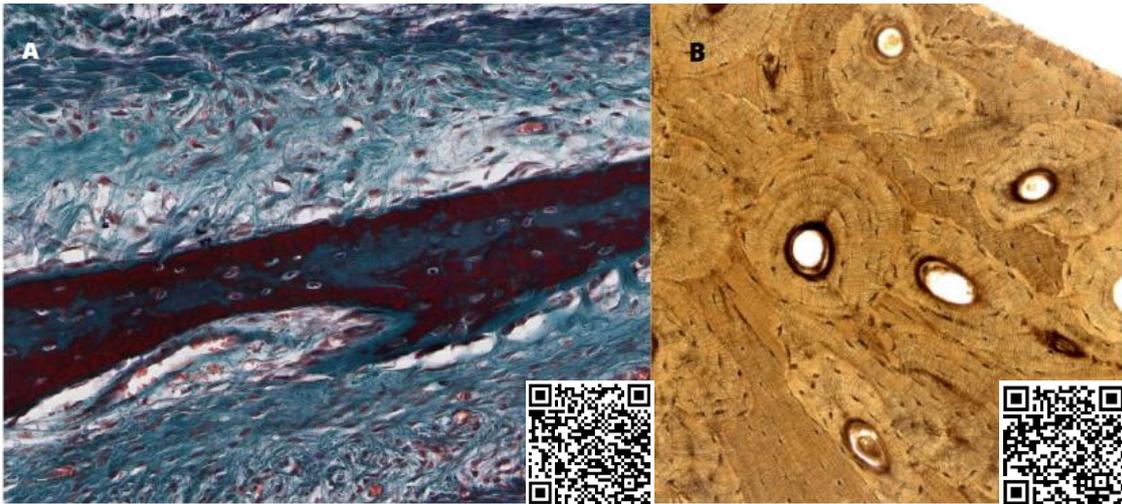


Figura 3. [A] Fotomicrografía de MO de tejido cartilaginoso, teñida con tricrómico de Masson (<https://histology.medicine.umich.edu/sites/default/files/images/slides/8boneformation.jpg>) [B] Micrografía de MO de tejido óseo teñida con la tinción de Schmorl (<https://histologyguide.com/slideview/MHS-202-ground-bone/05-slide-1.html>).

## DESARROLLO DEL TEMA

Los tejidos cartilaginoso y óseo son tejidos conectivos especializados, a continuación, se describen las características relevantes de ambos.

### 1. TEJIDO CARTILAGINOSO:

Es un tejido conectivo especializado preparado para soportar grandes presiones que previene del desgaste de los huesos, por lo que sus principales localizaciones son: articulaciones, entre costillas y discos intervertebrales. Esto permite el deslizamiento entre los huesos, dando lugar a que el esqueleto sea dinámico y podamos realizar movimientos. También forma parte de estructuras blandas como la tráquea, los bronquios, el pabellón auditivo o el tabique nasal.

Se encuentra formado por matriz extracelular y células, como todos los diferentes tipos de tejidos. Se clasifica en 3 tipos: hialino, elástico y fibroso.

La matriz cartilaginosa es flexible y en ella se encuentran las lagunas. Dentro se sitúa la propia célula de este tejido, el condrocito. Como carece de vasos sanguíneos (excepto el cartílago articular), este tejido se nutre y realiza el

intercambio de gases por procesos de difusión desde los vasos sanguíneos del tejido conectivo subyacente. Por ello, su capacidad de regeneración difiere con la de otros tejidos, siendo esta más limitada.<sup>7</sup>

La matriz está formada por un gran porcentaje de agua y por un 25% de fibras de colágeno (tipo II), así como por proteoglucanos. Los glucosaminoglucanos que forman parte de la matriz son el hialuronato, condroitin sulfato y queratán sulfato. Alrededor encontramos el pericondrio, una zona formada también por tejido conectivo. El pericondrio se subdivide en: fibroso y condrogénico. El pericondrio condrogénico es el más interno y en él se localizan los condroblastos (células precursoras de los condrocitos). Así mismo, se observa la presencia de fibras de colágeno tipo II entre los condroblastos y condrocitos. La matriz cartilaginosa se tiñe de color azul-violeta con H&E, mientras que el pericondrio adopta un color rosado (Fig. 4).<sup>7,11</sup>

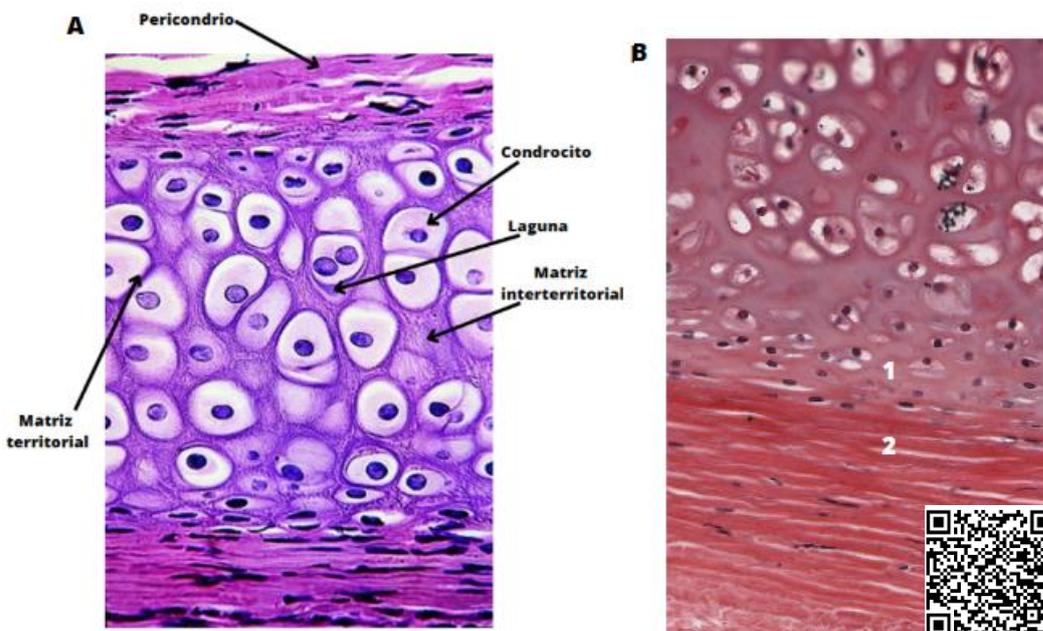


Figura 4. [A] Micrografía tomada bajo el MO de una muestra de cartílago teñida con H&E, donde se observan los principales componentes del tejido cartilaginoso.<sup>1</sup> [B] Sección histológica de cartílago teñida con H&E en la que se observan los dos tipos de pericondrio junto con los demás componentes del tejido: (1) pericondrio condrogénico (2) pericondrio fibroso. (<https://histology.medicine.umich.edu/sites/default/files/images/slides/1cartilage.jpg>)

Además de la matriz extracelular, el tejido cartilaginoso está constituido por células.

## 1. CONDROBLASTOS

Los condroblastos son células precursoras de los condrocitos que residen en el pericondrio condrogénico. Se encargan de la formación, secreción y mantenimiento de la propia matriz extracelular cartilaginosa. Tienen un núcleo grande, y pueden tener hasta dos. Su aparato de Golgi (afín a tintes básicos) y retículo endoplasmático están muy desarrollados, y poseen un gran número de mitocondrias. Son más pequeños que los condrocitos y cuando maduran se van diferenciando en condrocitos (Fig. 5).

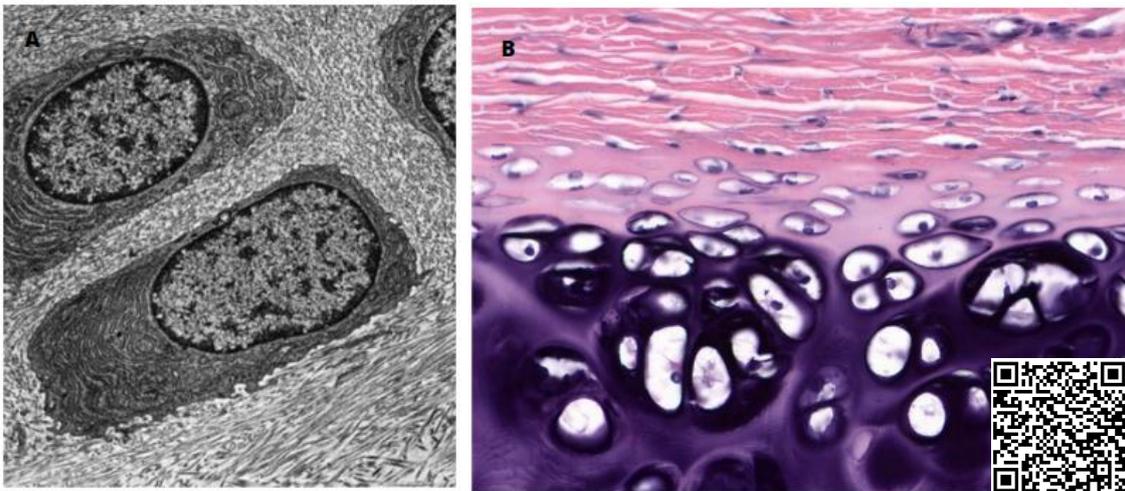


Figura 5. [A] Imagen de microscopía electrónica de transmisión (MET) donde se puede identificar el gran desarrollo del retículo endoplasmático de los condroblastos. <sup>1</sup> [B] Imagen de MO de la tráquea (H&E), en la que se observa la maduración de los condroblastos; primero de color rosado en el pericondrio, y una vez que alcanzan la matriz cartilaginosa se diferencian en condrocitos formando grupos isogénicos (<https://www.histologyguide.com/slideview/MH-136-trachea/05-slide-1.html?x=67927&y=6161&z=53.1> )

## 2. CONDROCITOS

Proceden de los condroblastos y se encuentran en el interior de la matriz cartilaginosa. Mantienen la matriz produciendo colágeno y glucosaminoglucanos (GAG). Son células maduras, aunque las más jóvenes se pueden seguir dividiendo. Los condrocitos residen en lagunas dentro de la matriz formando grupos isogénicos (derivan de la misma célula). La matriz que se sitúa entre los

condrocitos de una laguna se denomina matriz territorial, mientras que la que hay entre grupos es la matriz interterritorial (Fig. 6). Esta se tiñe con tono claro/pálido con H&E. Cuando la producción de colágeno tipo II se ralentiza, se acumulan lípidos y glucógeno en el condrocito dando lugar a una forma más redondeada y reduciendo el aparato de Golgi.

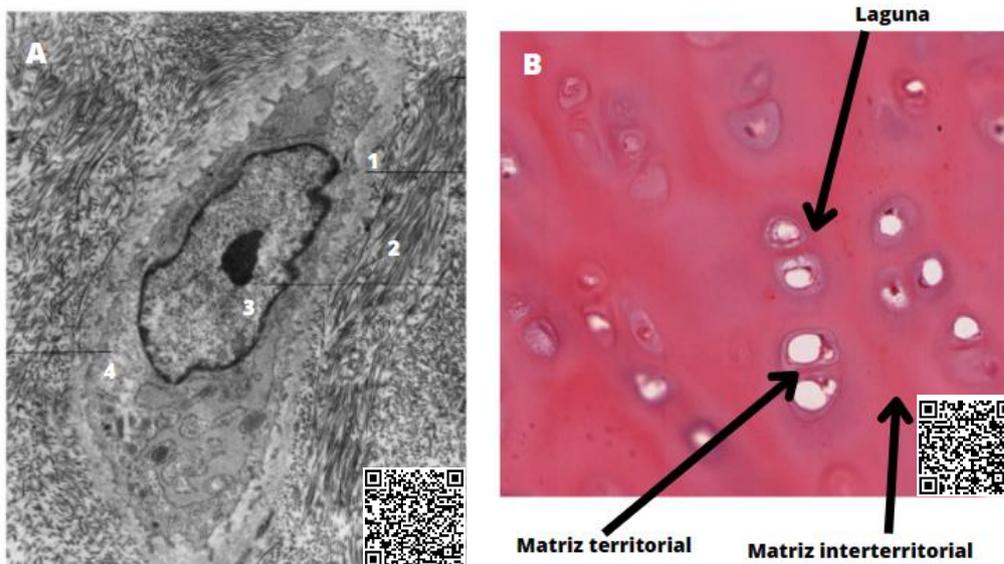


Figura 6. [A] Microfotografía de MET donde se identifican: (1) matriz interterritorial, (2) fibras de colágeno, (3) núcleo del condrocito y (4) citoplasma del condrocito. ([https://histologyslides.med.umich.edu/Histology/EMsmallCharts/3%20Image%20Scope%20finals/079%20-%20Cartilage\\_001.htm](https://histologyslides.med.umich.edu/Histology/EMsmallCharts/3%20Image%20Scope%20finals/079%20-%20Cartilage_001.htm)) [B] Microfotografía de MO teñida con H&E en la cual se diferencian sus componentes. ([https://histologyslides.med.umich.edu/Histology/Basic%20Tissues/Epithelium%20and%20CT/020\\_HISTO\\_40X.htm](https://histologyslides.med.umich.edu/Histology/Basic%20Tissues/Epithelium%20and%20CT/020_HISTO_40X.htm) )

## MATRIZ EXTRACELULAR (MEC)

### 1- FIBRAS

Las fibras de la MEC están mayoritariamente compuestas por colágeno tipo II, el cual se sintetiza por los condroblastos durante su proceso de diferenciación hacia condrocitos. Dependiendo del tipo de cartílago abundarán en mayor o menor cantidad. Aportan firmeza y resistencia mecánica.

### 2- PROTEOGLICANOS Y GLUCOSAMINOGLUCANOS

Los proteoglicanos y glucosaminoglucanos son moléculas que forman parte de

la MEC y se encargan de mantener la hidratación de esta, así como de filtrar selectivamente las moléculas. Dan soporte y estructura. El principal glucosaminoglicano del tejido cartilaginoso es el condroitin sulfato (Fig. 7).

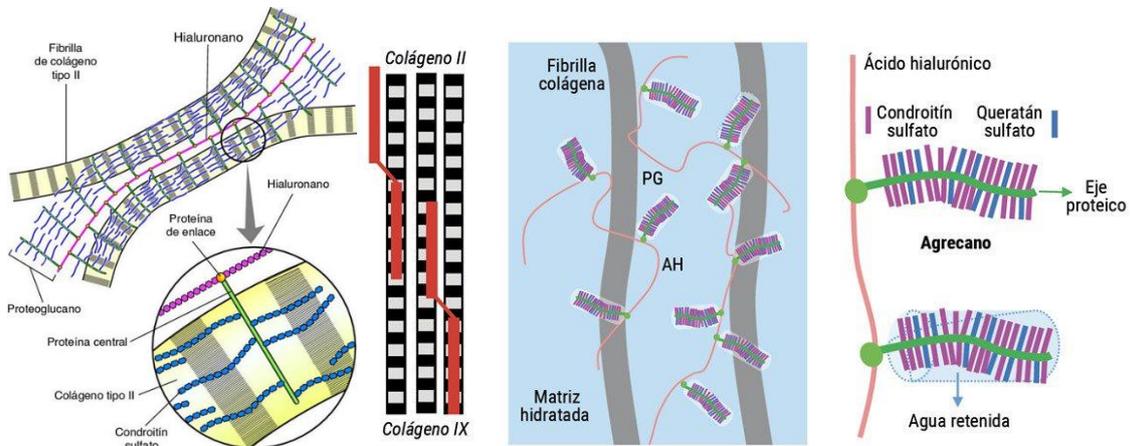


Figura 7. Esquema donde se refleja la distribución de las fibras colágenas y proteoglicanos de la matriz del tejido cartilaginoso. <sup>1</sup>

Como se ha descrito anteriormente, el desarrollo de las células cartilaginosas puede ser a partir del pericondrio, pero también cabe la posibilidad de que se formen este tipo de células por la diferenciación de las células mesenquimáticas. Esto diferencia los siguientes procesos de crecimiento del tejido cartilaginoso:

A. Crecimiento por aposición.

Se produce a partir del pericondrio, por tanto, este proceso tendrá lugar desde el exterior hacia el interior del cartílago.

B. Crecimiento intersticial.

Las células mesenquimáticas se transforman directamente en condroblastos y seguidamente en condrocitos. Así, los condrocitos que derivan de un mismo condroblasto se denominan grupo isogénico. Luego los condrocitos se dividen por mitosis en el centro del tejido, y el crecimiento se produce de dentro hacia afuera. Cuando disminuye la fluidez de la matriz con el envejecimiento del tejido, se detiene el crecimiento intersticial (Fig. 8).

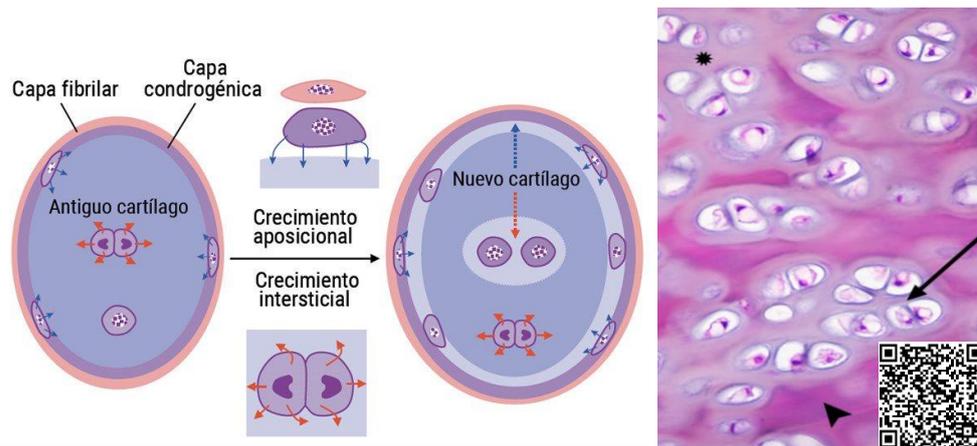


Figura 8. Esquema de las diferencias entre el crecimiento aposicional e intersticial.<sup>13</sup> Fotomicrografía de un corte histológico del cartílago hialino tomada con MO de la tráquea teñido con H&E, en el que se pueden observar los condrocitos formando grupos isogénicos (flecha) por lo que este cartílago tiene crecimiento intersticial. Se observa la matriz territorial, basófila, teñida de color morado (\*) y la interterritorial, acidófila, de color rosa (►). (<https://www.medicapanamericana.com/materialesComplementarios/Junqueira13/resource.aspx?file=/cap/7/img-comp-07.html&style=true>)

## TIPOS DE CARTÍLAGO:

- **Cartílago hialino.**

Los condrocitos se encuentran organizados en grupos; entre ellos está la matriz interterritorial, mientras que la territorial rodea directamente a cada grupo. Ambas matrices están formadas principalmente por colágeno tipo II, que son fibras finas y en este tipo hay poca cantidad. En cambio, sí que son abundantes otras sustancias como lípidos, glucógeno o proteínas. Bajo el microscopio óptico no se identifica la red fibrilar de la matriz interterritorial, aunque sí se puede ver con luz polarizada (Fig. 9).

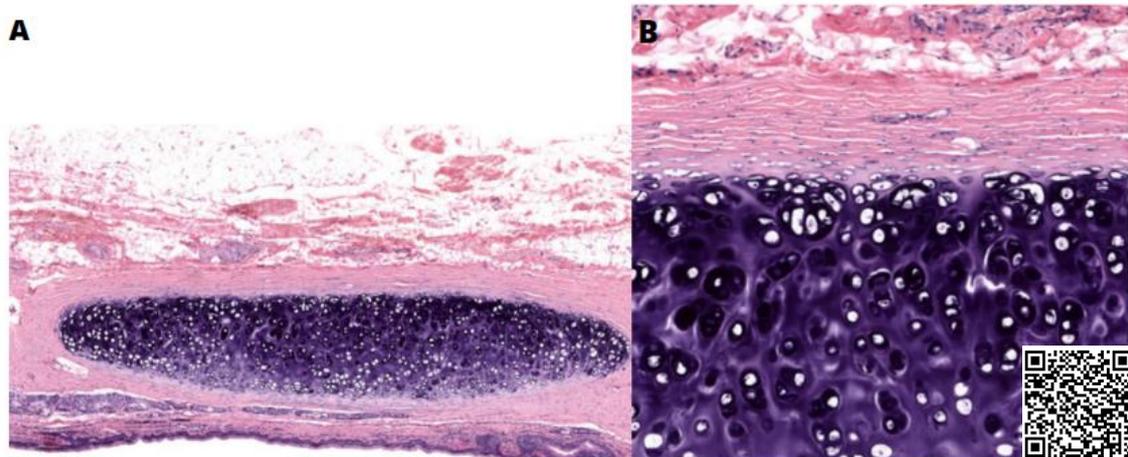


Figura 9. [A] Microfotografía de MO de cartílago hialino de tráquea rodeado de pericondrio (H&E). Se identifica de color púrpura la matriz con los condrocitos agrupados en grupos isogénicos, mientras de color rosa se encuentra la capa de pericondrio. [B] Ampliación de la imagen A (<https://www.histologyguide.com/slideview/MH-136-trachea/05-slide-1.html?x=53089&y=7273&z=7.4> )

El cartílago hialino se rodea del pericondrio (excepto en los extremos articulares de los huesos), y se caracteriza por un color blanquecino-azulado traslúcido (Fig.10). Este tipo es el más común en nuestro cuerpo, ya que se encuentra en las articulaciones, varias partes del aparato respiratorio para el mantenimiento de la apertura de las vías aéreas (laringe, tráquea, bronquios, ...) y protege las extremidades de los huesos en crecimiento. Como se trata de un tejido avascular se nutre por mecanismos de difusión gracias al líquido sinovial. El cartílago hialino forma el esqueleto del embrión hasta madurar momento en el que es sustituido por tejido óseo. Por otro lado, el crecimiento del tejido hialino puede ser tanto aposición como intersticial (explicados ambos procesos anteriormente).

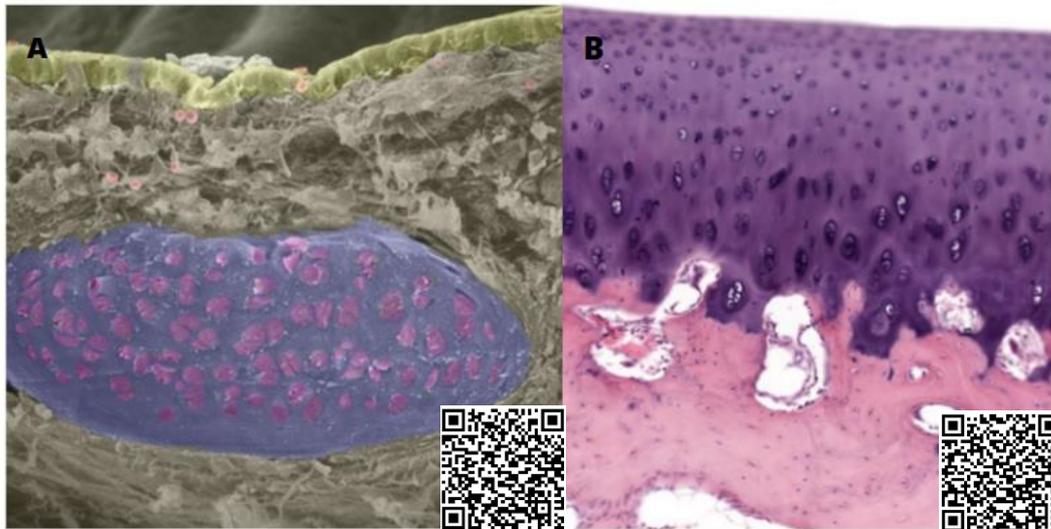


Figura 10. [A] Microfotografía de microscopía electrónica de barrido (MEB). De color púrpura se identifican los condrocitos dentro de la matriz (azul), y el pericondrio (verde) (color por software).

(<https://www.histologyguide.com/EM-view/EM-255-hyaline-cartilage/05-photo-1.html>)

[B] Micrografía de MO teñida con H&E de cartílago articular hialino, característico por la ausencia del pericondrio (<https://www.histologyguide.com/slideview/MH-046-bone-development/05-slide-1.html?x=24904&y=16514&z=8.7> )

- **Cartílago elástico:**

En este tipo de cartílago está rodeado de pericondrio, en él las células adoptan una forma esférica. A diferencia del cartílago hialino, la cantidad de lípidos y glucógeno es menor, y las fibras de colágeno son muy numerosas y presentan ramificaciones. Cobra importancia la matriz territorial ya que queda delimitada por una capa más gruesa que otros tipos. Se caracteriza también por una gran flexibilidad, hallando este tipo de tejido en: pabellón y conducto auditivo, trompas de Eustaquio, epiglotis y laringe. La matriz tiene una consistencia más densa, a comparación con el cartílago hialino, porque está compuesta por más fibras elásticas (basófilas a su tinte con H&E) además de las fibras de colágeno tipo II (Fig. 11).

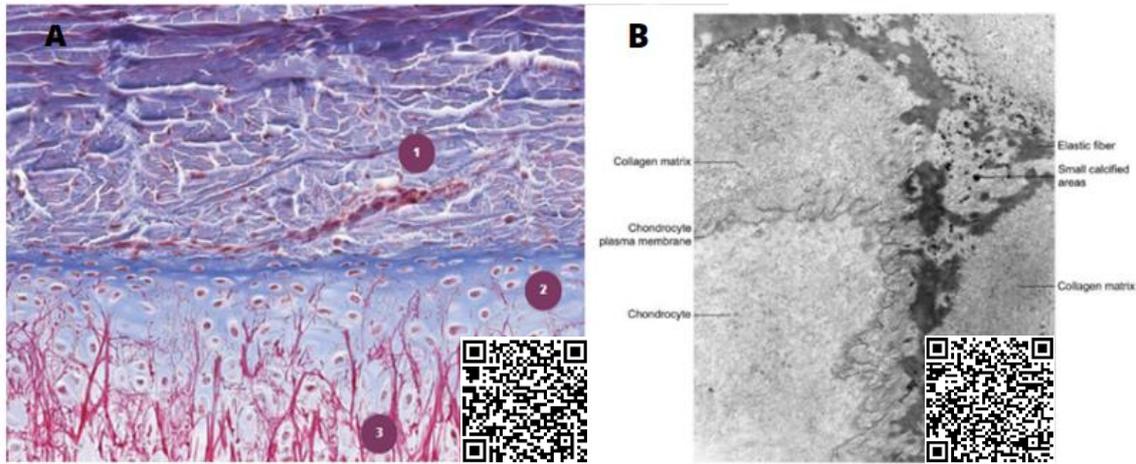


Figura 11. [A]Microfotografía de MO teñida con tricrómico de Masson en la que se pueden identificar los siguientes componentes: Pericondrio fibroso (1), pericondrio condrogénico (2) y matriz extracelular (fibras de color rosa-púrpura, colágeno tipo II y proteoglicanos) y condrocitos dentro de las lagunas (3). (<https://www.histologyguide.com/slideview/VH-040-ear/05-slide-1.html?x=23874&y=6077&z=39.2>) [B]Microfotografía de MET en la que se pueden observar los componentes elásticos de la matriz. ([https://histologyslides.med.umich.edu/Histology/EMsmallCharts/3%20Image%20Scope%20finals/082%20-%20Cartilage\\_001.htm](https://histologyslides.med.umich.edu/Histology/EMsmallCharts/3%20Image%20Scope%20finals/082%20-%20Cartilage_001.htm) )

- **Cartílago fibroso (fibrocartílago):**

El fibrocartílago presenta gran cantidad de haces de fibras de colágeno tipo I, dispuestas en paralelo. No se rodea de pericondrio y sólo crece por procedimientos intersticiales. La matriz es poco abundante y los condrocitos disminuyen en tamaño a comparación con otros tipos. Estos mismos se distribuyen formando filas únicas o por parejas entre el colágeno. El cartílago fibroso es característico de: discos intervertebrales, inserciones de tendones en huesos, articulación pubiana, meniscos y bordes de articulaciones. Su principal misión es soportar fuertes desplazamientos (Fig. 12).<sup>13,14</sup>

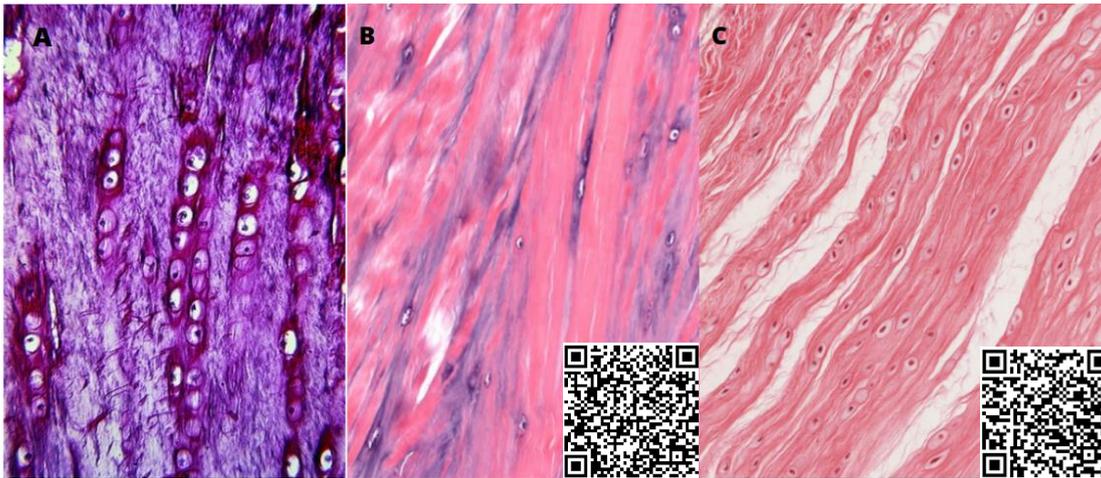


Figura 12. [A] Microfotografía de MO de condrocitos en hilera rodeados de fibras colágenas.<sup>1</sup> [B] Microfotografía de disco intervertebral tomada con MO, donde se aprecian condrocitos de menor tamaño y matriz poco abundante. (<https://www.histologyguide.com/slideview/MH-040-intervertebral-disk/05-slide-1.html?x=31395&y=29835&z=50.0>) [C] Microfotografía de MO teñida con H&E donde se diferencian las fibras de colágeno del fibrocartilago en paralelo (<https://histology.medicine.umich.edu/sites/default/files/images/slides/2cartilage.jpg> )

## CORRELACION CLÍNICA

Los tejidos especializados tienen una regeneración lenta y disminuida. El principal ítem que frena la reparación del cartílago es la rotura de las fibras de colágeno, ya que su reparación es complicada. Por otro lado, la medicina intenta favorecer la regeneración mediante la introducción de células madre del propio paciente (reinjerto) o con terapias hormonales locales. Destaca como curiosidad saber que el cartílago tiene usos terapéuticos en numerosas enfermedades (artrosis, cardiopatías, osteoporosis, psoriasis, ...) y para ello se consume de animales como el tiburón o se extrae el condroitin sulfato.<sup>11,15</sup>

Uno de los diagnósticos clínicos más comunes, sobre todo en la población envejecida, es la artrosis u osteoartritis. Se trata de una enfermedad provocada por la degeneración progresiva del cartílago hasta su pérdida completa (Fig. 13). A consecuencia de ello, los pacientes sufren mucho dolor y rigidez en las articulaciones, dificultando mucho el movimiento. Mayoritariamente se da en personas mayores (más propenso en mujeres) o en deportistas profesionales que desempeñan deportes de alto impacto. Existen también factores de riesgo

como el sobrepeso. Al no tener cura el tratamiento será sintomático con analgesia, y cobra relevancia establecer hábitos de vida saludables (especialmente en personas con obesidad).<sup>16</sup>

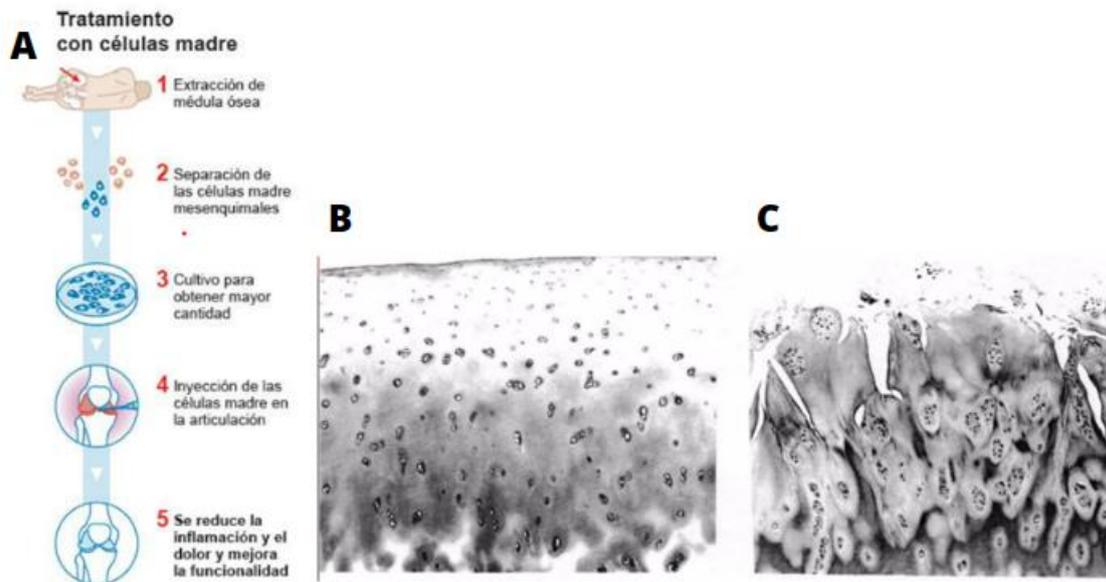


Figura 13. [A] Esquema del procedimiento para tratar de regenerar el cartílago con células madre.<sup>17</sup> [B] Sección histológica bajo MO teñida con H&E de cartílago articular sano. [C] Sección histológica bajo MO teñida con H&E cartílago articular artrósico mostrando irregularidades en la superficie, con fisuras hacia la zona radial y clonación de condrocitos.<sup>18</sup>

Como futuras líneas de investigación, cabe destacar la labor del Dr. Daniel Kelly, profesor de ingeniería mecánica y biomédica que desarrolla, junto a su equipo de investigación del Trinity Centre for Bioengineering (TCBE), perteneciente al Trinity College de Dublín, (Irlanda), bioimpresiones tridimensionales con el fin de implantar injertos o crear nuevas terapias regenerativas.<sup>19, 20</sup>

## 2. TEJIDO ÓSEO:

El tejido óseo es el componente fundamental del esqueleto que se encarga de sostener el cuerpo y proteger los órganos vitales (corazón, pulmones, cerebro, médula espinal...). Es el depósito principal de calcio, fósforo y otros iones que se liberan al medio intersticial de manera constante y controlada para regular la concentración de iones en nuestro cuerpo. En el interior del hueso se encuentra

la cavidad medular, donde la médula ósea se encarga de llevar a cabo la diferenciación de las células de la sangre mediante el proceso de hematopoyesis. Este tejido también está formado por matriz extracelular y células propias, y puede ser de tipo compacto o esponjoso (trabecular).

## MATRIZ EXTRACELULAR

La MEC de este tejido tiene una consistencia rígida porque se encuentra calcificada. Está formada por una parte inorgánica y otra orgánica.

- Inorgánica: los iones más comunes son el fosfato cálcico o cristales de hidroxiapatita (en un 75%) y el calcio.
- Orgánica: esta parte está formada por fibras colágenas tipo I (95%) incluidas en sustancia fundamental de condroitin sulfato en su mayoría. Dentro de esta sustancia, también podemos hallar osteocalcina, una proteína formada por los osteoblastos, o osteonectina una glucoproteína adhesiva. Las glicoproteínas pueden favorecer la mineralización del hueso, ya que otros tejidos con mucho colágeno, pero sin glucoproteínas, no suelen calcificarse.

La superficie externa del hueso se denomina periostio, donde se encuentran las fibras colágenas y los fibroblastos. Por el contrario, en la parte interna se encuentra el endostio formado por células osteoprogenitoras y osteoblastos. Tanto uno como otro, deben mantener y producir nuevas células favoreciendo la reparación del tejido.

## CÉLULAS

Los componentes celulares del tejido óseo son los siguientes: células osteoprogenitoras, osteoblastos, osteocitos, y osteoclastos.

- CÉLULAS OSTEOPROGENITORAS

Son células mesenquimáticas indiferenciadas. Su localización es el endostio,

periostio, y canales de Havers. Poseen poco citoplasma, sus membranas son irregulares, y pueden diferenciarse en osteoblastos (Fig. 14).

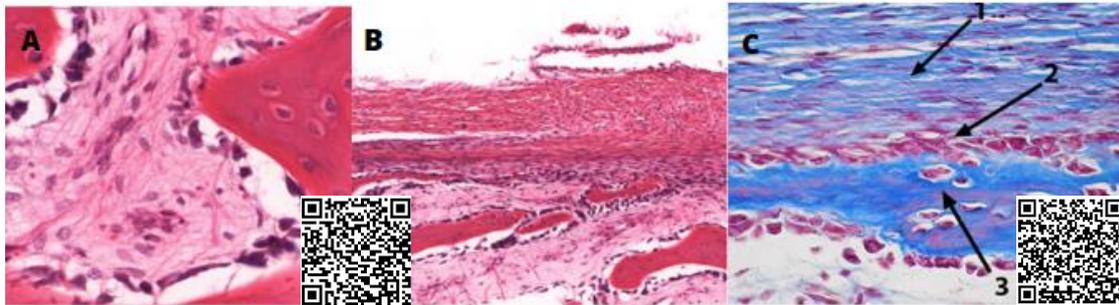


Figura 14. [A] y [B] Imágenes de MO teñidas con H&E de hueso en desarrollo encontrándose los osteoblastos en la superficie de las espículas óseas, y las células osteoprogenitoras entre las mismas.

(<https://www.histologyguide.com/slideview/MHS-203-bone/05-slide-1.html?x=39837&y=3802&z=70.0>) [C] Fotomicrografía de sección histológica bajo MO de tibia fetal teñida con Tricrómico de Masson, en el que se pueden observar el crecimiento del hueso en anchura a partir de las células osteoprogenitoras (1), situadas en el periostio. Estas células se diferencian en osteoblastos (2), que van a secretar los componentes del osteoide (matriz orgánica no mineralizada secretada por los osteoblastos) y se diferencian en osteocitos (3). (<https://www.medicapanamericana.com/materialesComplementarios/Junqueira13/resource.aspx?file=/cap/8/img-comp-08.html&style=true>)

#### ○ OSTEOLASTOS

Tienen su origen en las células osteoprogenitoras. Se encuentran en la periferia del periostio, en el endostio y en la superficie de las trabéculas del tejido óseo esponjoso (Fig.15). Su citoplasma es grande, tienen un abundante retículo endoplasmático rugoso (RER), y su núcleo esférico. Su principal función es la síntesis de MEC. Además, son las células precursoras de los osteocitos. Cambian de forma según la actividad sintética (tienen forma cúbica cuando desarrollan una alta actividad, y forma plana cuando la disminuyen). La matriz sintetizada se expande alrededor del mismo y sus prolongaciones, quedando incluidos en lagunas a partir de las cuales se generan pequeños conductos (canalículos) por donde introducen prolongaciones citoplasmáticas, las cuales permiten la comunicación celular. Tienen gran relevancia en el crecimiento del tejido óseo y en la reparación de este.

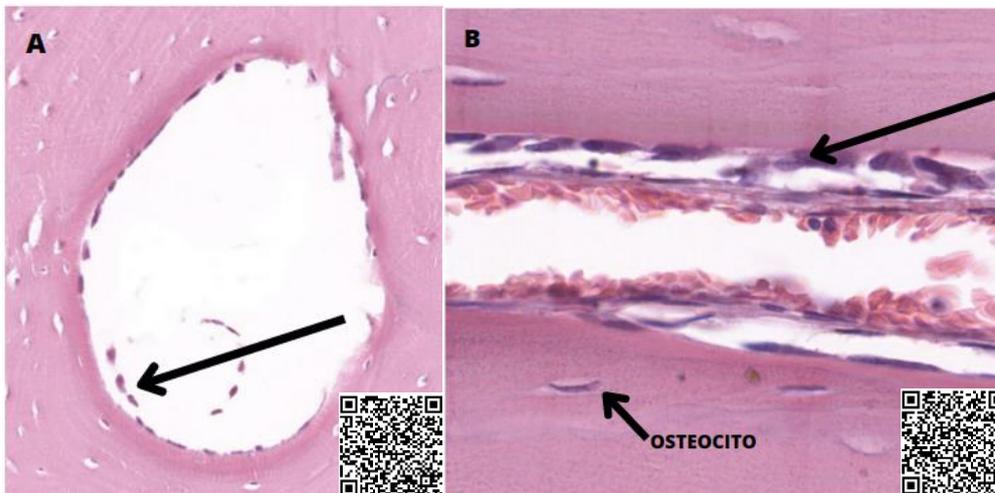


Figura 15. [A] Sección histológica transversal de un hueso largo tomada con MO, teñida con H&E, en la que se encuentran los osteoblastos (flecha) en el canal de Havers, concretamente en la zona del endostio(<https://www.histologyguide.com/slideview/MH-045-bone/05-slide-1.html?x=7849&y=37632&z=34.0&b=ax1x1x3x17771x8452x10000>) [B]Sección histológica longitudinal de hueso largo tomada con MO y teñida con H&E, donde los osteoblastos (flecha) están alineados en el interior de los canales de Havers. También se observan los osteocitos en las lagunas de la matriz ósea.(<https://www.histologyguide.com/slideview/MH-045-bone/05-slide-1.html?x=17378&y=8754&z=100.0&b=ax1x1x3x17771x8452x10000> )

#### ○ OSTEOCITOS

Los osteocitos se encuentran rodeados por la matriz ósea que segregan los osteoblastos quedándose retenidos en ella y diferenciándose a este tipo celular. Este proceso conlleva a la pérdida del RER, un complejo de Golgi poco desarrollado y su núcleo está condensado. Aunque su actividad queda reducida, tienen un papel importante en el mantenimiento de la matriz y regulan la homeostasis de iones. Cada osteocito se encuentra en una laguna, que es la cavidad que ocupa, y estas células tienen unas prolongaciones que introducen a través de canales que forman en la matriz denominados canaliculos. A través de ellos, establecen comunicación con otros osteocitos mediante uniones comunicantes (tipo GAP). La nutrición y el intercambio de moléculas de los osteocitos no se produce por difusión en la matriz, ya que está calcificada, sino a través de estos canaliculos que se hallan conectados con los capilares sanguíneos (Fig. 16). Por último, nombrar que más adelante se explica cómo en el hueso compacto los osteocitos forman las osteonas, mientras que en el esponjoso las trabéculas.

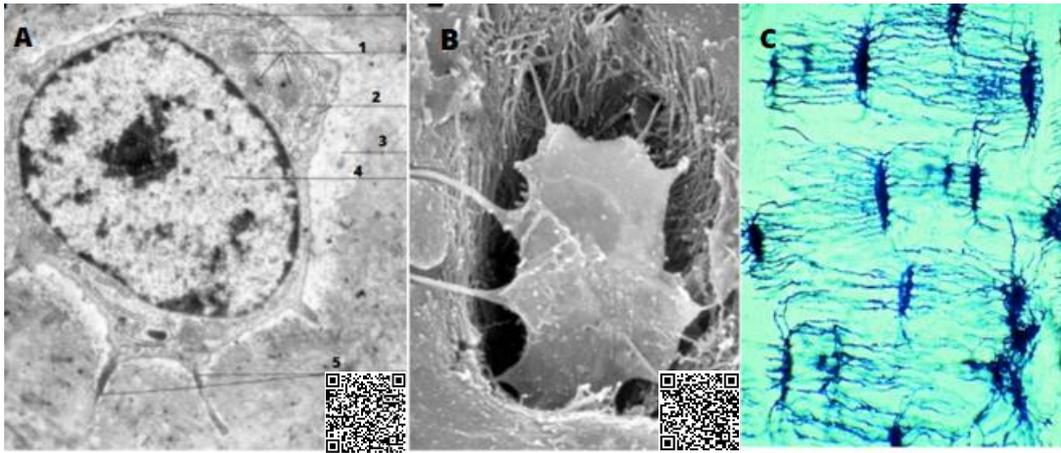


Figura 16. [A] Microfotografía de MET que permite identificar los elementos del osteocito: (1) Mitocondria. (2) Retículo endoplasmático rugoso. (3) Laguna. (4) Núcleo condensado. (5) Canaliculos.

([https://histologyslides.med.umich.edu/Histology/EMsmallCharts/3%20Image%20Scope%20finals/090%20-%20Osteocyte\\_001.htm](https://histologyslides.med.umich.edu/Histology/EMsmallCharts/3%20Image%20Scope%20finals/090%20-%20Osteocyte_001.htm)). [B] Micrografía de MEB de un osteocito atrapado en una laguna donde se aprecian los canaliculos. (<http://www.histologyguide.com/EM-view/EM-218-osteocyte/05-photo-1.html?x=4179&y=4793&z=7.0>) [C] Fotomicrografía tomada bajo MO donde se observan los canaliculos y las lagunas de los osteocitos. <sup>1</sup>

### ○ OSTEOCLASTOS

Son unas células gigantes multinucleadas derivadas de la médula ósea. Sus prolongaciones son irregulares en consistencia y forma. Se localizan fuera del periostio y de las trabéculas, conformando las lagunas de Howship (Fig. 17). En el citoplasma de estas células abundan vesículas ricas en lisosomas, los cuales segregan para degradar la matriz mineralizada, aumentando indirectamente la concentración de calcio. Una alta actividad de estas células puede producir enfermedades como la osteoclastosis, destruyendo más tejido óseo del que se produce.

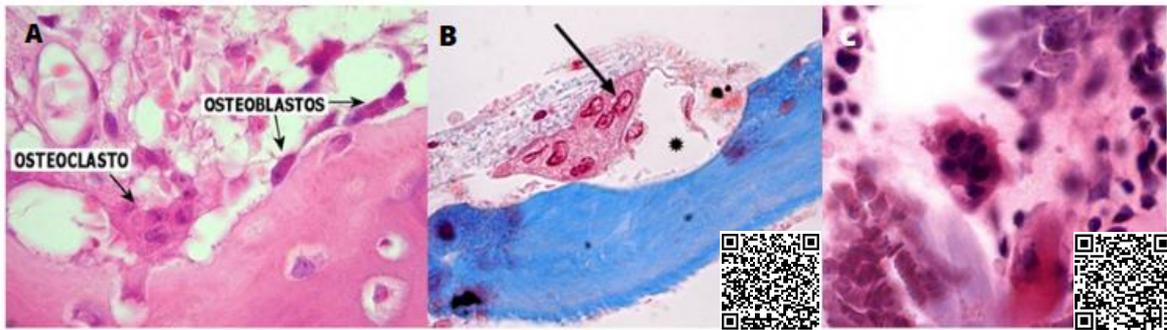


Figura 17. [A] Micrográficas de MO teñidas con H&E donde se señalan los osteoclastos del tejido cartilaginoso. <sup>21</sup> [B] Fotomicrografía de sección histológica a MO de una trabécula ósea teñida con Tricómico de Masson, en el que se puede observar un osteoclasto que se puede distinguir porque tiene varios núcleos (flecha). Por un artefacto de la técnica se observa separado de su laguna de resorción o de Howship (\*).  
<https://www.medicapanamericana.com/materialesComplementarios/Junqueira13/resource.aspx?file=/cap/8/img-comp-08.html&style=true> [C] MET teñida con H&E: osteoclasto.  
<https://www.histologyguide.com/slideview/MH-029b-bone/05-slide-1.html?x=27549&y=32916&z=100.0>

## TIPOS DE TEJIDO ÓSEO: COMPACTO Y ESPONJOSO

### ▪ TEJIDO ÓSEO COMPACTO

Este tipo de tejido tiene una composición dura, siendo primordial para la función de soporte de nuestro organismo. Por ello, se encuentra en la zona periférica de todos los huesos. Está formado por cuatro sistemas laminares concéntricos: las láminas circunferenciales externas, las láminas circunferenciales internas, las osteonas y las láminas intersticiales. Estas laminillas son capas paralelas que resultan de la calcificación de la matriz, por el crecimiento aposicional de la misma. <sup>22</sup>

Las osteonas o sistemas de Havers se sitúan entre las láminas internas y externas. Al disponerse en forma cilíndrica, se halla el conducto de Havers en el centro. Este es un conducto por el pasan distintos vasos sanguíneos, así como terminaciones nerviosas. Este conducto está recubierto por el endostio, que como se ha descrito anteriormente, lo forman los osteoblastos y las células osteoprogenitoras. Los conductos de Havers se comunican lateralmente gracias a los canales de Volkman. Los osteocitos se comunican entre ellos, pero siempre

con los de su misma osteona (Fig. 18).

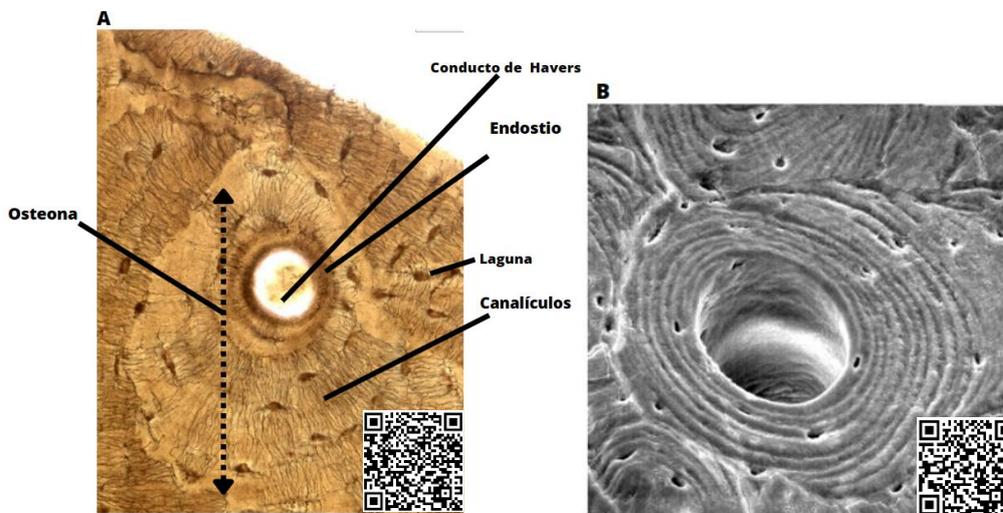


Figura 18. [A]Micrografía a MO teñida con tinción de Schmorl donde se señalan e identifican los componentes del tejido óseo compacto de un hueso largo. (<http://www.histologyguide.com/slideview/MHS-202-ground-bone/05-slide-1.html?x=4127&y=3204&z=17.9>) [B] MEB de una sección transversal de una osteona. (<http://www.histologyguide.com/EM-view/EM-217-osteon/05-photo-1.html> )

Las láminas circunferenciales externas, también tienen forma cilíndrica, pero no forman la osteona. Concretamente estas láminas son rodeadas por el periostio y envuelven a todo el conjunto de osteonas. Por último, entre las osteonas están integradas las láminas intersticiales y cada una está orientada en una dirección opuesta intercaladamente, con el fin de poder soportar impactos o fuerzas multidireccionales (Fig. 19).

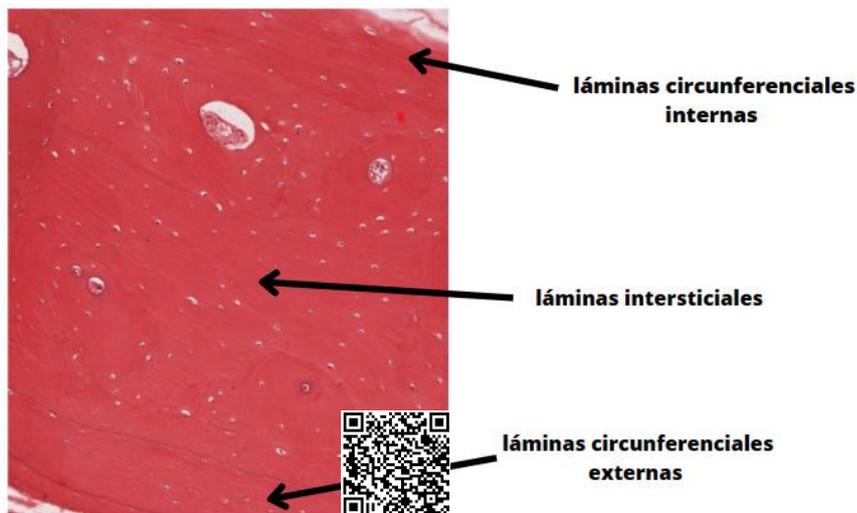


Figura 19. Microfotografía de MO teñida con H&E en la cual se identifican las distintas láminas del tejido compacto en un corte transversal de fémur. ([https://histologyslides.med.umich.edu/Histology/Basic%20Tissues/Cartilage%20and%20Bone/050\\_HISTO\\_40X.htm](https://histologyslides.med.umich.edu/Histology/Basic%20Tissues/Cartilage%20and%20Bone/050_HISTO_40X.htm))

- **TEJIDO ÓSEO ESPONJOSO O TRABECULAR**

El tejido óseo esponjoso está formado por numerosas trabéculas y poros. Es decir, son estructuras ramificadas que se unen formando tubos unidos en diferentes direcciones y dejando cavidades vacías (red tridimensional). Dentro de estos espacios se encuentra la médula ósea, tanto la hematopoyéticamente activa (médula ósea rojas) como la no hematopoyéticamente activa (médula ósea amarilla) (Fig. 20).

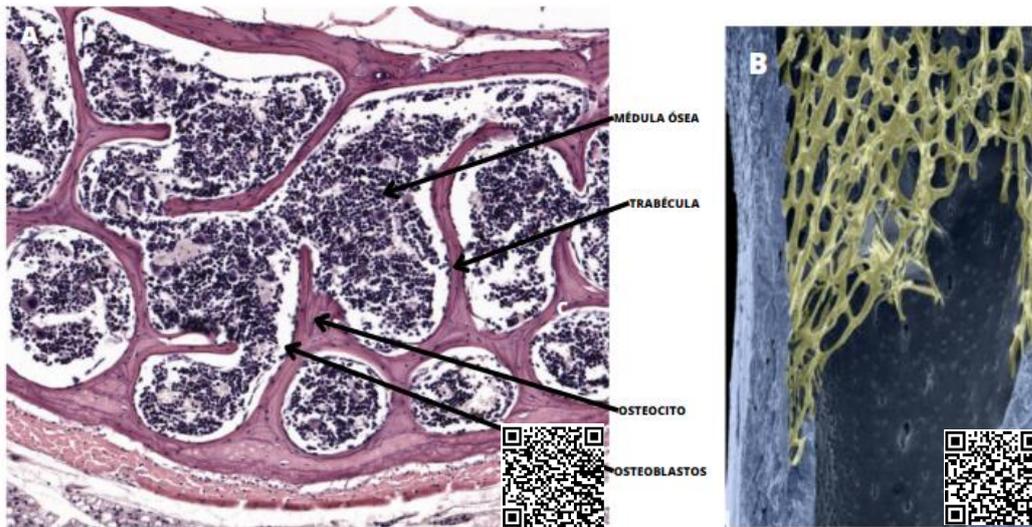


Figura 20. [A]Sección histológica a MO teñida con H&E de hueso trabecular vertebral, en el que se aprecian en detalle las trabéculas y los demás componentes del tejido esponjoso. (<https://histologyguide.com/slideview/MH-047-spinal-cord/05-slide-1.html?x=16879&y=12913&z=17.9> ) [B] MEB a color por software en la que se compara la morfología del tejido esponjoso en amarillo, con el tejido óseo compacto señalado en color azul, ya que se trata de un corte longitudinal de un hueso largo. (<https://www.histologyguide.com/EM-view/EM-215-tibia/05-photo-1.html>)

Cabe destacar que no hay canales de Havers en este tipo de tejido, pero sí podemos encontrar el triángulo de Ward. Esta zona fisiológica se caracteriza por encontrarse hueca, de tal manera que supone un punto de debilidad en las personas de edad avanzada o con patologías en el sistema óseo.

A continuación, podemos observar la correlación de ambos tipos de tejido (Fig. 21):

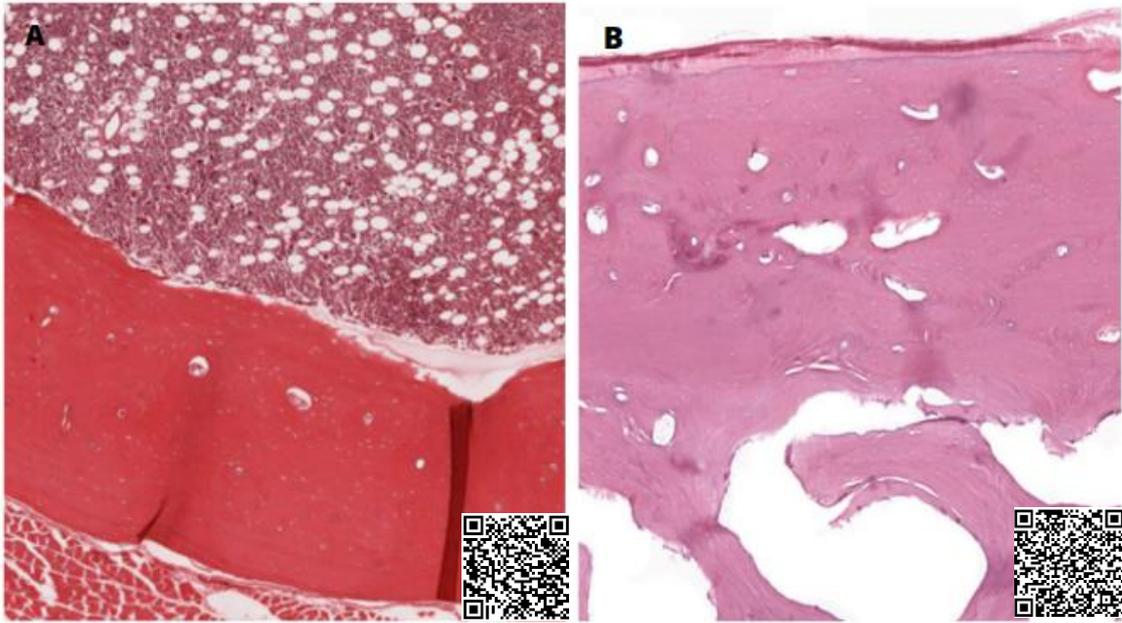


Figura 21: Micrografías a MO teñidas con H&E. [A] Representa un corte transversal del fémur ([https://histologyslides.med.umich.edu/Histology/Basic%20Tissues/Cartilag%20and%20Bone/050\\_HISTO\\_40X.htm](https://histologyslides.med.umich.edu/Histology/Basic%20Tissues/Cartilag%20and%20Bone/050_HISTO_40X.htm)) [B] Sección transversal del hueso craneal (calvario). En ambos se observa la relación entre el hueso compacto y esponjoso, encontrándose en este segundo los espacios de la medula ósea en la zona interior y el hueso compacto alrededor del esponjoso. (<https://www.histologyguide.com/slideview/MH-043-cancellous-and-compact-bone/05-slide-1.html?x=71103&y=14245&z=1.8>)

El cartílago es el principal constituyente del sistema esquelético en embriones (en vertebrados). De tal manera que cuando se reemplaza el tejido cartilaginoso por el tejido óseo, los osteoclastos van retirándolo de forma gradual (osificación endocondral) (Fig. 22). Una malformación en este proceso da lugar a enfermedades graves sin cura actualmente y que producen mucho dolor, siendo muchas veces son incompatibles con la vida, como la enfermedad de los huesos de cristal (osteogénesis imperfecta), el cáncer de huesos o la enfermedad de Paget.<sup>12</sup>

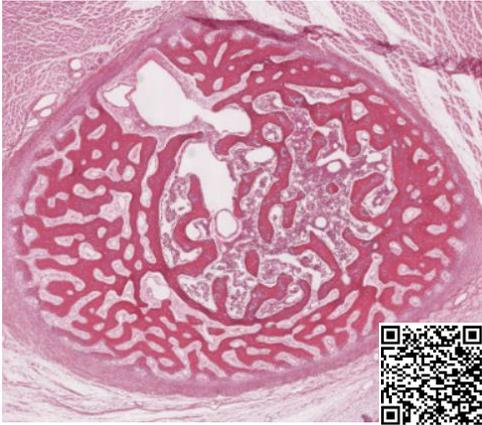


Figura 22. MO teñida con H&E de sección histológica transversal de fémur fetal, en proceso de osificación. Se observa el tejido óseo esponjoso con las trabéculas y la cavidad medular. ([https://histologyslides.med.umich.edu/Histology/Basic%20Tissues/Cartilage%20and%20Bone/048\\_HISTO\\_40X.htm](https://histologyslides.med.umich.edu/Histology/Basic%20Tissues/Cartilage%20and%20Bone/048_HISTO_40X.htm))

## CORRELACIÓN CLÍNICA

La patología ósea con mayor índice de frecuencia es la osteoporosis.<sup>26</sup> Al producirse el envejecimiento con los años, los huesos empiezan a perder densidad ósea provocando una degradación del tejido y dando lugar a más huecos entre las trabéculas y osteonas. Este proceso comienza a partir de los 55 años, donde también influyen los cambios metabólicos. Como consecuencia las personas en edad avanzada sufren mayor fragilidad, correlacionándose este con el riesgo de caídas. Las fracturas suelen darse en caderas o huesos del brazo al intentar evitar a la caída. Es prevalente en mujeres debido a que la densidad ósea es menor y a problemas de regulación hormonal.

Para su prevención basta con buenos hábitos de vida saludables (dieta variada, equilibrada y rica en calcio, realizar actividad física, tomar el sol 10 minutos el día, descansar correctamente, evitar sustancias tóxicas, ...). En caso de necesidad, se pueden aportar suplementaciones de calcio o vitamina D, y en casos extremos otros fármacos.

Las nuevas líneas de investigación apuntan a trabajar con biomarcadores químicos, donde toman especial relevancia las proteínas de la matriz. La profesora universitaria Shyni Varghese, relevó la importancia de la adenosina bioquímica para el desarrollo de nuevas células y la activación de otros procesos bioquímicos. Por ello, ahora basa sus estudios en moléculas que permitan activar

la adenosina sin efectos secundarios y apósitos que permitan administrar esos medicamentos en zonas dañadas (Fig. 23).<sup>23,24</sup>

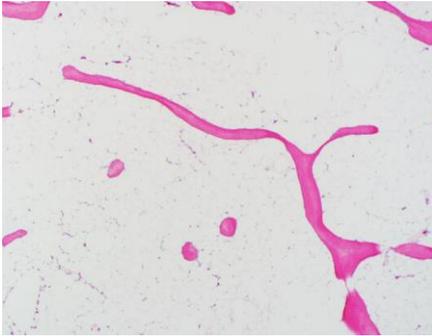


Figura 23. Micrografía tomada con el MO y teñida con H&E en la que se observa la osteoporosis del hueso.<sup>25</sup>

## CONCLUSIONES

El propósito de este atlas es conseguir una recopilación de imágenes histológicas, concretamente del tejido óseo y cartilaginoso. El trabajo refleja las características y estructuras de ambos tejidos de forma identificativa. De esta manera, resulta más fácil y visual su estudio, ya que la histología es un área que puede resultar compleja en su aprendizaje. Por otro lado, se relacionan los conocimientos teóricos con patologías clínicas, permitiendo, de este modo, tener un acercamiento a la práctica clínica y al futuro trabajo de estos profesionales.

Esta investigación educativa va a formar parte del repositorio de la Universidad de Valladolid (Uva Doc) para que los alumnos y profesores puedan acceder a él, y así apoyar y complementar su estudio. Está incluido dentro del proyecto de innovación docente del departamento de Biología, donde se promueven distintos atlas histológicos junto con otros trabajos fin de grado.

En las clases de Biología se mostrarán los distintos atlas elaborados hasta el momento y los microscopios virtuales<sup>5,6</sup>, permitiendo profundizar a los alumnos en la teoría explicada durante las clases. Esto permite que los alumnos interactúen con las nuevas tecnologías sobre todo a partir del microscopio electrónico, y muestren más atención e interés en la asignatura.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Junqueira y Carneiro. Histología Básica. Texto y atlas. Madrid: Ed Panamericana. 13ª Edición.
2. Leslie P. Gartner. Texto de Histología. Atlas a color. Barcelona. 5ª Edición. Elsevier; 2021.
3. Mariana Gelambi. Histología: historia, qué estudia y métodos de estudio. [Internet] Universidad de Los Andes: Lifeder; 23 de julio de 2019 [Consultado 7 de marzo de 2023]; Disponible en: <https://www.lifeder.com/histologia/>.
4. Equipo editorial Etecé. "Historia del microscopio" [Internet] Argentina: Etecé; 5 de agosto de 2021. [Consultado 26 de marzo de 2023] Disponible en: <https://concepto.de/historia-del-microscopio/>.
5. Christensen, K., Velkey, M., Stoolman, L., Hessler, L. y Mosley-Brower, D. Lista de diapositivas virtuales [Internet]. University of Michigan Medical School. 2021 [Consultado 7 marzo de 2023]. Disponible en: <https://histology.medicine.umich.edu/full-slide-list>.
6. T. Clark Brelje y Robert L. Sorenson. Guía de histología [Internet]. Universidad de Minnesota. 2023 [Consultado 7 marzo de 2023] Disponible en: <https://histologyguide.com/slidebox/slidebox.html>
7. Geneser Histología. Brüel, Christensen, Traum – Jensen, Qvortrup, Geneser. Madrid. Ed Panamericana. 4ª Edición; 2015.
8. 10 tipos de tinciones de histología que el estudiante de medicina debe conocer [Internet] Docsity. 2018 [Consultado 27 de marzo de 2023] Disponible en: <https://blog.docsity.com/es/consejos-de-estudio/news-medicina/10-tipos-de-tinciones-de-histologia-que-el-estudiante-de-medicina-debe-conocer/>.
9. Carolyn Doan. Tinciones especiales: ¿cuál, ¿cómo y por qué? Parte II: Tejido conjuntivo. [Internet] Leica Biosystems [Consultado 27 de marzo de 2023] Disponible en: <https://www.leicabiosystems.com/es-es/knowledge-pathway/special-stains-which-one-how-and-why-part-ii-connective-tissue/>.
10. Julio Siciliano, Gabriel Anesetti, Laura Martínez, Ernesto Miquel. Técnicas de coloración, histoquímica e impregnación [Internet] Microscopio virtual. 2023

[Consultado 28 de marzo de 2023] Disponible en: <https://www.microscopiovirtual.net/tecnicas.html#:~:text=La%20tinci%C3%B3n%20de%20Schmorl%20es,picratos%20en%20la%20matriz%20%C3%B3sea>

11. Carlos Federico Lira Gómez. Tejido cartilaginoso: características, componentes, funciones. [Internet] Liferder. 2022 [Consultado 11 de abril de 2023] Disponible en: <https://www.liferder.com/tejido-cartilaginoso-cartilago/> .

12. Ramón Contreras. Las células del cartílago: condroblastos, condrocito y condroplastos. [Internet] La Guía. Biología. 2015 [Consultado el 15 de abril de 2023] Disponible en: <https://biologia.laguia2000.com/citologia/las-celulas-del-cartilago-condroblastos-condrocitos-y-condroplastos>.

13. Villaro, A. Histología para estudiantes. 1ª Edición. Editorial Panamericana S.A; 2021.

14. Guyton AC, Hall J.E. Tratado de Fisiología Médica. 12 ed. Elsevier: 2011.

15. Ramón Contreras. Células madre para regenerar cartílagos lesionados. [Internet] La Guía. Biología. 2021 [Consultado 15 de abril de 2023] Disponible en: <https://biologia.laguia2000.com/citologia/celulas-madre-para-regenerar-cartilagos-lesionados>.

16. Belmonte Serrano, M.A., Beltrán Fabregat, J., Lerma Garrido. Artrosis. Sociedad Valenciana de Reumatología. 2013.

17. Enrique Ornilla Laraundogoitia. Artrosis. [Internet] Clínica Universidad de Navarra. [Consultado 26 de abril de 2023] Disponible en: <https://www.cun.es/enfermedades-tratamientos/enfermedades/artrosis>

18. Carlos Ortiz. Osteoartritis. [Internet] Slideshare. 2016 [Consultado 26 de abril de 2023] Disponible en: <https://es.slideshare.net/CarlosBautista4/osteoartritis-67512041>

19. Daly, A. C., Freeman, F. E., Gonzalez-Fernandez, T., Critchley, S. E., Nulty, J. y Kelly, D. J. (2017). Bioimpresión 3D para ingeniería de cartílagos y tejidos osteocondral. *Materiales sanitarios avanzados*, 6(22), 10.1002/ADHM.201700298. <https://doi.org/10.1002/adhm.201700298>

20. College Green. Professor Daniel J Kelly. [Internet] Trinity Research. 2019

[Consultado 3 de mayo de 2023] Disponible en:  
<https://www.tcd.ie/research/profiles/?profile=kellyd9>

21. Luciano S. Queiroz. Sitio didáctico de Anatomía Patológica. [Internet] Universidad Estatal de Campinas. 2021 [Consultado 25 de abril de 2023] Disponible en: <https://anatpat.unicamp.br/neupimportal.html>

22. Equipo médico de Clínica Universidad de Navarra. Diccionario médico. [Internet] Clínica Universidad de Navarra. 2023 [Consultado 26 de abril de 2023] Disponible en: <https://www.cun.es/diccionario-medico/terminos/laminillas-circunferenciales-hueso#:~:text=Capas%20paralelas%20de%20matriz%20%C3%B3sea,dep%C3%B3sito%20apositional%20de%20matriz%20%C3%B3sea>

23. Héctor Rodríguez. Un paso de gigante contra la osteoporosis [Internet] National Geographic España. 2019 [Consultado 15 de mayo de 2023] Disponible en: [https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/paso-gigante-contr-osteoporosis\\_14631](https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/paso-gigante-contr-osteoporosis_14631)

24. Fernández-Tresguerres Hernández-Gil Isabel, Alobera Gracia Miguel Angel, Canto Pingarrón Mariano del, Blanco Jerez Luis. Bases fisiológicas de la regeneración ósea II: El proceso de remodelado. Med. oral patol. oral cir.bucal (Internet) [Internet]. 2006 Abr [citado 2023 Mayo 19]; 11( 2 ): 151-157. Disponible en: [http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1698-69462006000200012&lng=es](http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1698-69462006000200012&lng=es).

25. UCSF. Tinción de H&E, la microscopía de luz, la osteoporosis, los huesos. [Internet] Alamy [Consultado 5 mayo de 2023] Disponible en: <https://www.alamy.es/foto-tincion-de-h-e-la-microscopia-de-luz-la-osteoporosis-los-huesos-72482821.html>

26. Compston, J. E., McClung, M. R. y Leslie, W. D. (2019). Osteoporosis. Lancet (Londres, Inglaterra), 393(10169), 364–376. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)32112-3](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)32112-3)

---