

# TEMA 2. FISIOPATOLOGÍA ÓSEA

## ☞ CONCEPTO Y FUNCIONES

Hay 206 huesos aproximadamente sin tener en cuenta los supernumerarios o sesamoideos. El conjunto conformará el esqueleto. El hueso es un órgano vivo en constante actividad. Tiene además una serie de funciones muy importantes:

- **Función de protección.** Protege órganos y sistemas dependiendo de los segmentos corporales donde nos encontremos. Por ejemplo el cráneo protege al encéfalo. También protegen el esternón y las costillas, en este caso al corazón, los pulmones y los troncos arteriovenosos. Los huesos de la pelvis protegen al aparato reproductor, urinario y digestivo. La columna vertebral protege la medula espinal, también a los nervios raquídeos que salen de la médula.
- **Función de carga.** Sobre todo soporta cargas. Hay determinados huesos que soportan mucha carga como los de las extremidades inferiores, también la columna vertebral y la pelvis, por eso estos huesos (sobre todos las extremidades inferiores) son tan gruesos y potentes.
- **Función dinámica.** Actúan como palancas, donde se insertan músculos y tendones, aquí actúan como agente pasivo mientras que los músculos serian los activos, que tirarían de los huesos para moverse.
- **Función de depósito de sales minerales.** El 99 % de Ca y 80% de P están en los huesos. Intervienen en la regulación de la calcemia.
- **Función hematopoyética.** Porque en el interior de3l huso esta la medula ósea que es la productora de elementos formes sanguíneos.
- **Función de regulación de la respuesta inmune**

Las tres primeras funciones son funciones básicamente mecánicas mientras que las tres últimas son biológicas.

## ☞ COMPOSICIÓN- TEJIDO ÓSEO

El hueso como tejido vivo permite la reparación y la homeostasis, hace que su carga y propiedades mecánicas se mantengan, sufre procesos de destrucción y formación constantes y además existe una relación dinámica entre la estructura y la función del hueso.

El hueso está compuesto por tejidos, el tejido fundamental es el tejido óseo. Esto no quiere decir que no haya más tejidos, ya que también hay nervios, grasa, vasos sanguíneos,... El tejido óseo es un tejido conjuntivo pero que tiene la particularidad de que es un tejido conjuntivo duro porque sufre un proceso de mineralización.

Cuando los huesos se rompen la mayoría de los huesos se unen por los extremos (siempre hay excepciones), cuando se pega se produce creando un tejido parecido al que había antes, al contrario de otros tejidos que cuando se dañan aparecerá un tejido fibroso no uno parecido al originario.

El hueso está compuesto por células y sustancia extracelular que se llama la matriz del hueso, esta última a su vez se divide en una fracción orgánica y otra mineral.

**Composición:** Células (2% de la composición del hueso, su función es muy importante) + matriz extracelular (69% mineral y 30% orgánica). La mayoría de los autores incluyen dentro de la materia orgánica a las células

### Componente celular

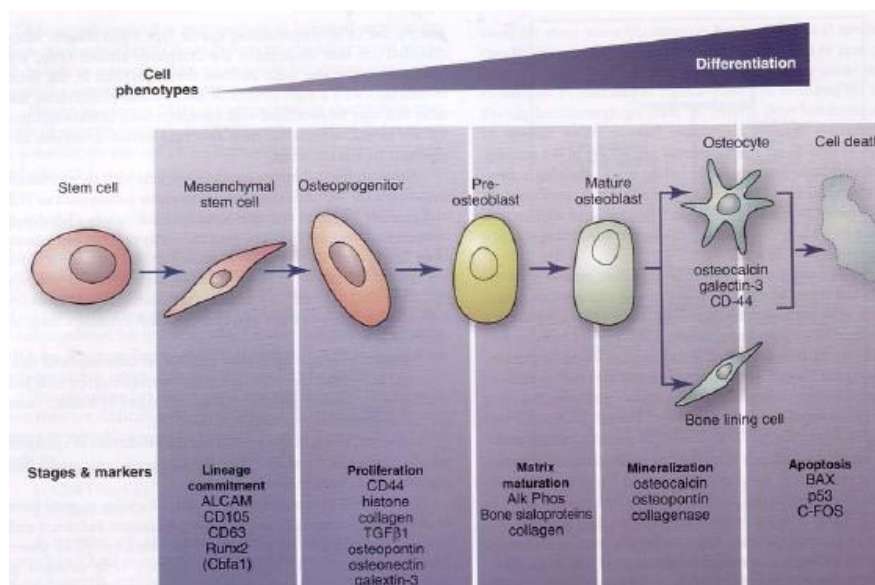
Está compuesto por **células**, hay tres tipos:

- Formadoras de hueso u osteoblastos: forma parte de la línea osteoformadora.
- Destructoras de hueso u osteoclastos: forma parte de la línea de resorción ósea.
- Células maduras del hueso u osteocitos: forma parte de la línea osteoformadora.

Las dos primeras son elementos transicionales mientras que los osteocitos son elementos permanentes. El motivo para el que existan las dos primeras es lo que hace que el hueso este en contante actividad. Las que primero actúan son las destructoras y luego las formadoras.

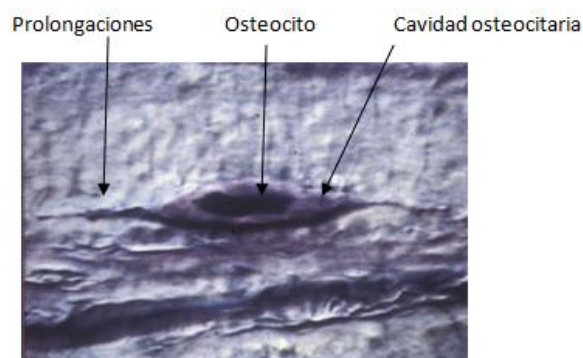
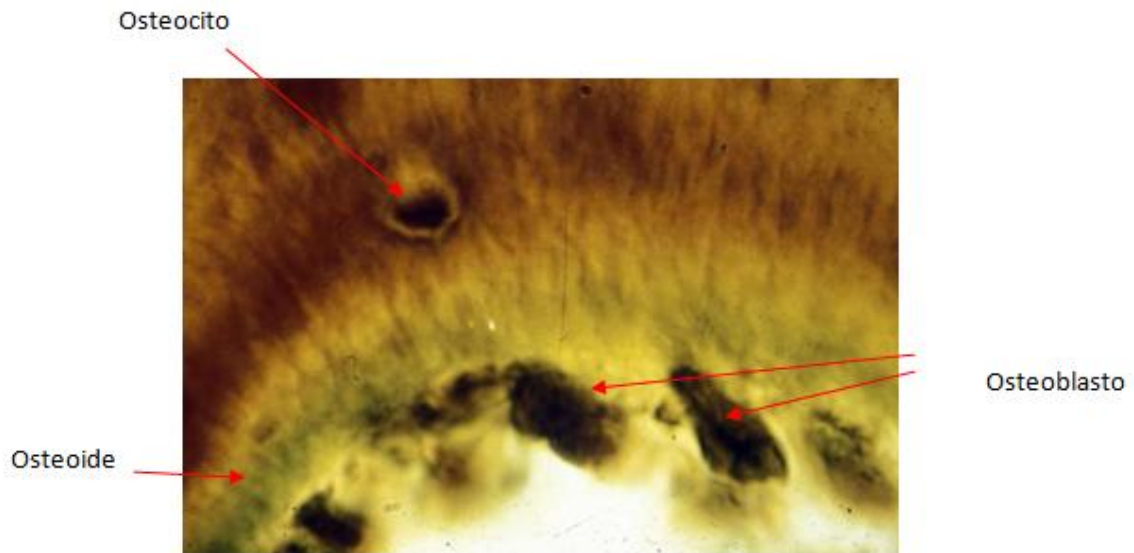
### Origen de células componentes del hueso

- Las *células formadoras* del hueso derivan de células madre, son células mesenquimales, en principio progenitoras de otras que se denominan pre-osteoblastos, secundariamente se convierten en osteoblastos maduros y de ahí a osteocitos o células lineales, las que no se transforman en ninguno de estos dos tipos se destruyen mediante apoptosis. Por lo tanto, el origen de los osteocitos son los osteoblastos.
- El *origen de los osteoclastos*. Derivan de elementos macrófágicos y monocíticos de la medula ósea. Derivan pues de elementos sanguíneos.



Los **osteoblastos** tienen una morfología particular (aspecto piriforme). Se caracterizan por ser células mononucleares de núcleo grande, con Golgi y RE muy desarrollado y con abundantes mitocondrias. Son células muy activas y productoras de elementos formadores de la fracción orgánica del tejido óseo, sobre todo del colágeno, también producen fosfatasa alcalinas y proteínas no colágenas. Inician el proceso de resorción ósea. Los osteoblastos están sobre la superficie ósea produciendo una sustancia blanda que se denomina osteoide. Los osteoblastos pueden quedar incluidos en el hueso mineralizado, esta célula que

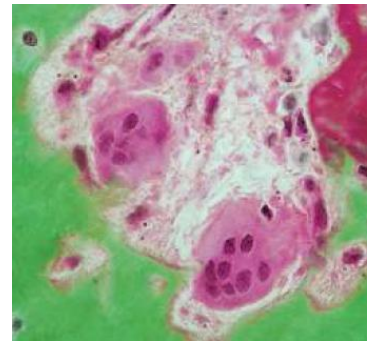
quedada incluida se denominará **osteocito**. Los más jóvenes tienen un aspecto redondeado y están rodeados de un halo de menor densidad, los más viejos son aquellos que profundizan mas en el tejido óseo mineralizado, tienen aspecto alargado con una serie de prolongaciones en toda su periferia. Los osteocitos están depositados en unas **cavidades osteocitarias u osteoplastos** con prolongaciones en conductos calcóforos. Solo una pequeña proporción de osteoblastos (30%) se convierten en osteocitos. El resto de osteoblastos terminan muriendo por apoptosis. Los osteocitos tienen como función la homeostasis mineral, tienen organelas poco desarrolladas.



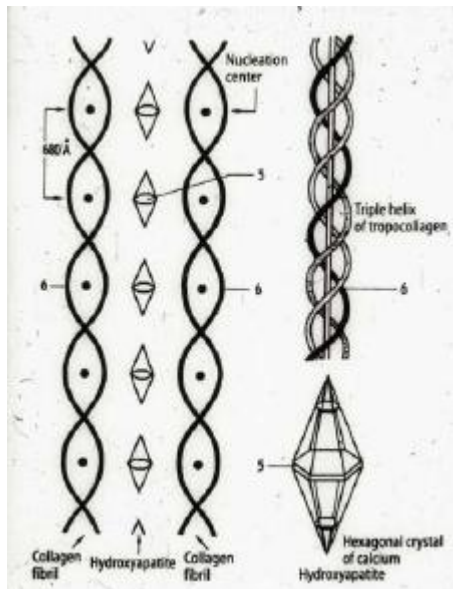
En la siguiente imagen podemos observar necrosis ósea o muerte del hueso, esta se puede poner en marcha por falta de vascularización del hueso. Al faltar se pierde vitalidad y mueren osteocitos, por eso en una imagen histológica se verá. Los osteocitos desaparecerán y quedaran solo las cavidades osteocitarias.



Los **osteoclastos** destruyen hueso (reabsorción ósea) y son las primeras que van a actuar para que luego se forme, al destruir hueso participan activamente en el mantenimiento de la homeostasis cálcica. Estas células son más irregulares (borde rugoso en ribete en cepillo o en otra) pero más grandes que los osteoblastos, además son multinucleares con abundantes vesículas y mitocondrias (2-30 núcleos). Es una célula muy activa que puede producir fosfatasa ácida. Su característica principal es su efecto destructor del hueso que se revela porque en la parte de contacto entre el hueso y osteoclasto, el osteoclasto desarrolla su actividad y va destruyendo el hueso dejando unas cavidades osteoclásticas o lagunas de Howship, estas lagunas son el oradoro que hace el osteoclasto sobre el hueso viejo. Esto se ve porque se producen unas prolongaciones a modo de cepillo o púas de peine donde se muestra la función destructora del osteoclasto. Cuanta más actividad destructora más cepillo. Existen procesos en los que la actividad osteoclástica está incrementada produciendo determinadas patologías, como la osteoclastosis.



La **fracción orgánica** que ocupa el 30% de la matriz está formada por colágeno (90%), este colágeno es



formado por los osteoblastos en forma de fibras colágenas que son las que dan al hueso resistencia a las fuerzas de tracción. Las fibras de colágeno parten de una molécula inicial (tropocolágeno) que está formada por tres fibras enrolladas sobre sí formando fibrillas de colágeno, al unirse estas últimas se forman las fibras de colágeno. Es importante el colágeno tipo I en cuanto a la formación del hueso, también podemos encontrar colágeno tipo III y V pero el más importante es el I. Este colágeno es el compuesto más importante de la fracción orgánica, va acompañado de las proteínas no colágenas (también dentro de lo orgánico), entre ellas destaca la osteocalcina, osteonectina y la osteopontina, estas proteínas sirven de marcadores bioquímicos de la actividad del hueso y la homeostasis del calcio. Dentro de estas proteínas no colágenas destacan también proteoglicanos, glicoproteínas y proteínas de crecimiento, como las proteínas óseas morfogenéticas (PMP), que se usan en la clínica para luchar contra la pseudoartrosis o falta de conformación, también

para acelerar la unión del hueso fracturado.

Las fibras de colágeno son ricas en aminoácidos, como la hidroxiprolina, por eso en procesos donde se altera el colágeno de tejido óseo, en orina aparecerá hidroxiprolina (hidroxipoliuria). También existen algunos procesos donde se producen alteraciones genéticas del colágeno como la osteogénesis imperfecta o enfermedad de los hombres de vidrio, en esta enfermedad los huesos de los enfermos se rompen con mucha facilidad.

## Fracción inorgánica o mineral

Entre las fibras de colágeno se disponen depósitos de minerales en forma de hidroxiapatita que son como cristales, que favorecen la mineralización. Estos cristales de hidroxiapatita, formada sobre todo por fosfato tricálcico pero también por carbonato cálcico e impurezas que aumentan la solubilidad y modifican otras propiedades físicas, se disponen alrededor de las fibras colágenas formando un importante armazón, dando lugar a excepcionales propiedades mecánicas. Estos cristales mineralizados son los responsables de la resistencia del hueso a las fuerzas de compresión. En esencia el tejido óseo es muy similar a las construcciones de edificios donde se forman barras de acero (colágeno) y entre ellos cemento (cristales de hidroxiapatita).



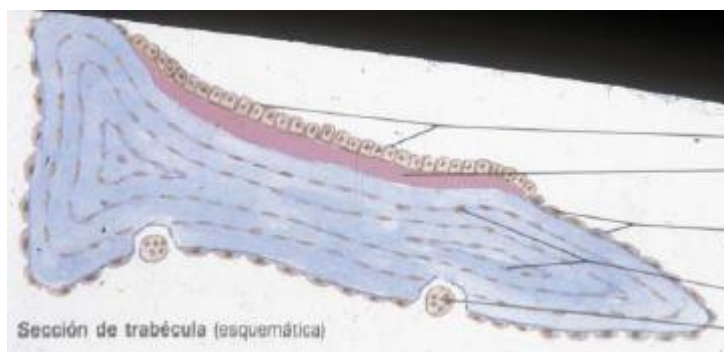
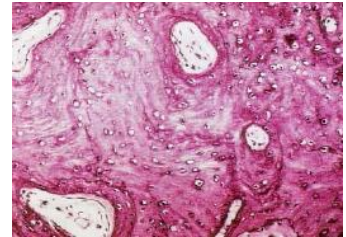
Tiene una localización bifásica. Los cristales se

En la imagen vemos las fibras de colágeno unidas por hidroxiapatita.

## ☞ VARIANTES DE TEJIDO ÓSEO

Dependiendo de la cronología o edad hay dos variantes de tejido óseo:

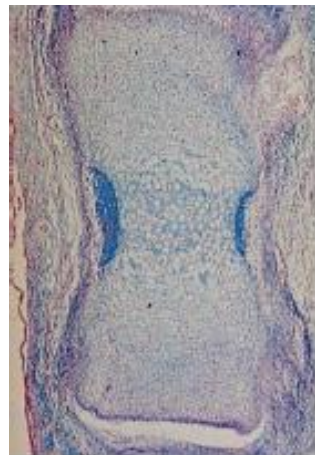
- ▲ **Tejido óseo inmaduro, no laminar, plexiforme, primitivo o primario.** Este tejido es aquel que aun no está organizado del todo, lo que le caracteriza es que las fibras colágenas no están organizadas como deberían y son fibras colágenas gruesas y desordenadas, además las células están situadas al azar lo que le proporciona mayor flexibilidad, debilidad y deformabilidad. Aparece durante el desarrollo embrionario y en los primeros 3 o 4 años de edad. A veces puede quedar tejido óseo inmaduro en algunas localizaciones como zonas de inserción de los tendones, suturas craneales, en los pequeños huesecillos del oído, y en los alveolos dentario, esto a partir de los 4 años. El hueso inmaduro puede aparecer en situaciones fisiológicas, durante el proceso de consolidación de las fracturas, aparecerá en el cayo de fractura. También puede aparecer en determinadas patológicas como metástasis óseas, las células tumorales anidarían en el hueso y formarían un tejido metastásica, también aparece en enfermedades como la osteopatía de Paget y en la osteogénesis imperfecta.
- ▲ **Tejido óseo maduro, secundario o laminar.** Formado por laminas perfectamente estructuradas donde el colágeno se dispone en una situación perfectamente orientada. Es el que tendremos en los huesos seguros a partir de los 4 años. Las fibras colágenas están perfectamente ordenadas, esta disposición variará según sea el hueso esponjoso o laminar. Esta disposición permite al hueso soportar diversas cargas.



## ☞ OSTEOGENESIS

Hay dos vías de formación de hueso:

- **Vía de osificación membranosa:** sobre el centro de las maquetas de hueso aparecen un conjunto de células mesenquimales que serán inducidas hacia osteoblastos y a través de su acción de manera concéntrica se osifica esta maqueta. Hay pocos huesos que siguen esta vía, son fundamentalmente los huesos de la bóveda craneal, el maxilar es un hueso mixto en cuanto a formación ya que una parte deriva de la vía membranosa y otra de la condral, así su parte inferior es mixta pero la superior sigue únicamente la vía membranosa, la clavícula también es mixta.
- **Vía de osificación condral:** el resto de los huesos del organismo siguen esta osificación. Consiste en que tiene que aparecer una plaqueta primitiva de tejido embrionario pero no se forma directamente el hueso sino que aparece una **fase intermedia cartilaginosa**. Es decir se forma una maqueta de cartílago porque las células mesenquimales se diferencian a condroblastos y a partir de ella (7 semana embrionaria) aparecen vasos que se introducen en la misma maqueta, además en el centro de la maqueta aparecerán osteoblastos que empezaran a osificarla. Realmente el proceso de osificación condral o cartilaginosa es:
  - \* 5ª semana: se forma un molde mesenquimatoso que se transforma en cartilaginoso rodeado de pericondrio
  - \* 7ª semana: centro de osificación primario
  - \* 10ª semana: hueso endocondral y formación cavidades medulares
  - \* A partir del nacimiento: centros de osificación secundarios en epífisis



Los osteoblastos aparecen en el centro del hueso durante el desarrollo embrionario formando lo que se denomina **núcleos de osificación primaria** que empieza su actividad osificando el hueso hacia arriba y hacia abajo. Además aparecen células destructoras del hueso para desarrollar la **cavidad medular** del hueso.

Inmediatamente después del nacimiento sobre todo en los extremos de los huesos largos aparecerán osteoblastos que van a producir hueso formando el **centro de osificación secundario**. Los centros de osificación primario que aparecen en el centro de los huesos se producen antes del nacimiento, mientras que los secundarios aparecen en épocas diversas (no en periodo embrionario). Los primeros núcleos de osificación secundaria son los de los extremos distales de la tibia y del fémur. Después irán apareciendo hasta los 12-13 años. Esto quiere decir que los núcleos de osificación secundarios son importantes para determinar

la edad ósea de una persona en un momento determinado mirando cuando aparecen los núcleos, esto es muy utilizado en medicina legal.

Hasta que se termina de crecer (termina el periodo de crecimiento), en la mujer se da a los 15-16 años y en el varón hasta los 17-18 años incluso 19. Mientras no acabe el desarrollo del esqueleto existirán unos cartílagos que separarán las epífisis de los huesos largos de las diáfisis y metáfisis, esta banda de cartílago se denomina **cartílago de crecimiento, de conjunción o fisis**, son cartílagos cuya actividad va a provocar el crecimiento en longitud de los huesos. Esta banda desaparece cuando termina el crecimiento.

## ☞ MODELACION Y REMODELACION

Los huesos están en constante actividad, embriológicamente son muy activos. Sufren dos procesos a lo largo de la vida: modelación y remodelación, desde que se empiezan a formar las maquetas óseas hasta que se acaba el crecimiento los huesos sufren el proceso de **modelación**, es decir, que van adquiriendo la forma que definitivamente tendrá el esqueleto de la persona, además la modelación transforma el hueso fibrilar en laminar. El proceso de modelación se prolonga en la madurez con persistencia de osteogénesis en el periostio y de reabsorción en el endostio (aumento diámetro y adelgaza la cortical). Varía en tamaño y forma ligeramente a lo largo de la vida en respuesta sutil a cambios de carga aplicada. Hay enfermedades donde este proceso se ve alterado, sobre todo por factores congénitos.

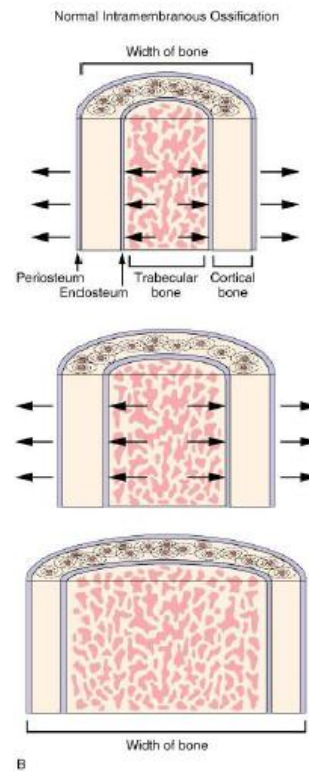
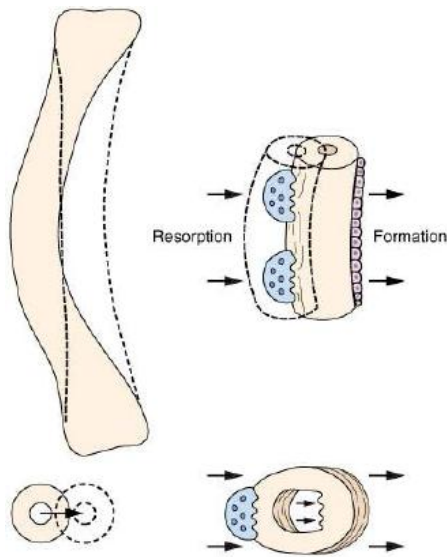
Además de la modelación que SOLO se da durante el desarrollo del esqueleto, se da la **remodelación** que se produce para que el hueso se mantenga vivo por ello se va destruyendo el hueso viejo y se forma hueso joven. Esto quiere decir que durante el crecimiento los procesos de remodelación y modelación se dan conjuntamente, pero tras terminar el crecimiento sólo se va a producir la remodelación. La remodelación se produce durante toda la vida aunque el ritmo decrece con la edad (20% promedio de renovación de masa ósea en cualquier momento).

En el proceso de remodelación es importante que haya un equilibrio de fuerzas de destrucción y formación de hueso. El remodelado permite:

- Reparación de zonas débiles-microfracturas
- Mejora la distribución vascular del hueso
- Mantiene la homeostasis mineral

Tanto en el hueso cortical como esponjoso se da el proceso de remodelación que aunque es prácticamente similar en los dos tipos tiene algunas diferencias morfológicas. Consiste en que sobre un lado de la trabécula hay una acción destructora por parte de los osteoclastos y al mismo tiempo y en el lado contrario hay una banda de osteoblastos que están formando el osteoide que será hueso inmaduro hasta que se mineralice dando lugar a osteocitos. **El remodelado de hueso cortical** consta de unidades de remodelado óseo que son osteoclastos, osteoblastos, vasos y nervios en el intermedio, estas unidades permite que se vayan creando nuevos canales haversianos. **El remodelado del hueso esponjoso**, el ritmo de remodelado es 5-10 veces superior al cortical. La unidad de remodelado progresa sobre la superficie trabecular.

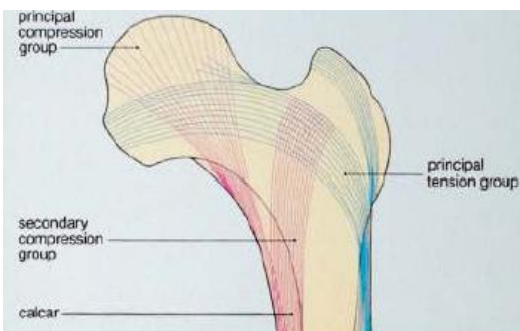
Cuanto más joven se sea prepondera la formación de hueso sobre la destrucción de hueso, en ancianos es al revés.



El proceso de formación y destrucción de huesos pasa por unos estadios o fases:

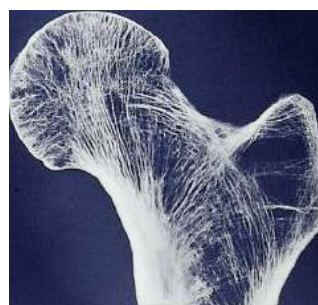
1. **Fase de activación:** algunos autores consideran que antes de la resorción esta fase que se produce gracias a factores hormonales. Esta activación es la que pone en marcha el proceso de resorción.
2. **Fase de destrucción o resorción:** actúan los osteoclastos formando las lagunas de Howship. Dura entre 1-3 semanas.
3. **Fase intermedia o de reposo:** los osteoclastos se inactivan. Dura dos semanas.
4. **Fase de formación:** empiezan a actuar los osteoblastos que rellenarán las lagunas con osteoides y finalmente este se mineralizará. Dura 3 meses

Todo el ciclo dura 4-5 meses, esto es lo que tarda en darse el ciclo de destrucción y formación de hueso. La cantidad de hueso renovado es diferente según la edad. En edades más bajas la renovación será mayor. Hay un balance pues entre formación y destrucción del hueso.



Existe un **remodelado adaptativo**:

- ♦ Adaptación del entramado trabecular a la distribución de las cargas
- ♦ Supone un límite conceptual entre modelado-remodelado
- ♦ Sigue la ley de Wolff: orientación y dimensión trabecular depende de las fuerzas plicadas al esqueleto





### ▲ Factores que influyen en el remodelado

Bioquímicos como hormonas, factores de crecimiento

Físicos: mecánicos y eléctricos

### ▲ Evaluación clínica del remodelado

Marcadores de formación: fosfatasa alcalina en suero, osteocalcina en suero y propéptido carboxiterminal de procolágeno tipo I en suero

Marcadores de reabsorción: fosfatasa acida en suero e hidroxiprolina en orina

## ARQUITECTURA DEL HUESO

El hueso tiene dos tipos fundamentales: cortical y esponjoso

### ▲ Comparación hueso cortical y esponjoso

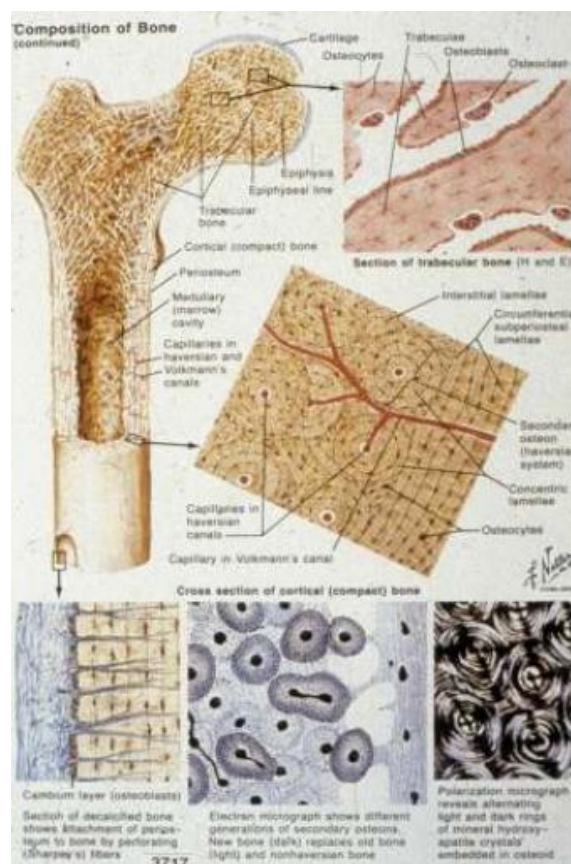
El tejido óseo esponjoso que está situado en el interior del hueso y tiene un aspecto poroso como una esponja mientras que el cortical es un hueso mucho más compacto y se sitúa en la periferia.

El hueso esponjoso es mucho más poroso que el compacto y por tanto es menos denso.

El esponjoso tiene una mayor superficie, es hasta 20 veces mayor que la compacta.

El tejido esponjoso tiene una actividad metabólica mayor que el compacto (hasta 8 veces más), esto explica que su función fundamental sea metabólica mientras que la del compacto sea mecánica. Cuando aparece una patología con un hueso, se ve antes patología sobre el hueso esponjoso que sobre el compacto.

Tenemos que saber que el hueso cortical o compacto tiene una disposición arquitectural diferente al esponjoso.



## ▲ Tejido esponjoso

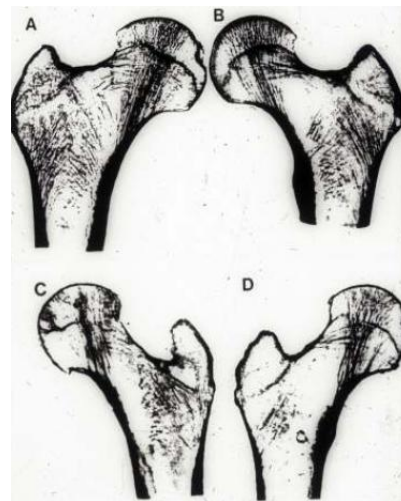
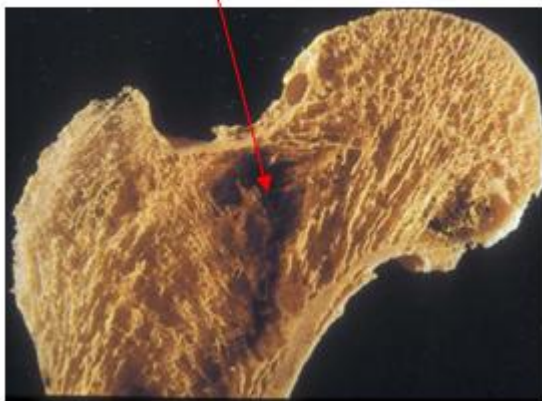
En él vemos trabéculas óseas y vemos como por las trabéculas se sitúan osteoclastos y por el lado contrario osteoblastos. Podemos observar láminas óseas irregulares y curvadas. Tiene muchos poros (50-90%) lo que favorece los procesos metabólicos.

La disposición del tejido óseo esponjoso consiste en tubos unidos unos con otros, entrelazándose. Cada tubo está formado por laminillas óseas con sus correspondientes osteocitos. Se forman espacios entre los tubos que están rellenos de medula ósea (sobre todo en los primeros años de vida) y por grasa.

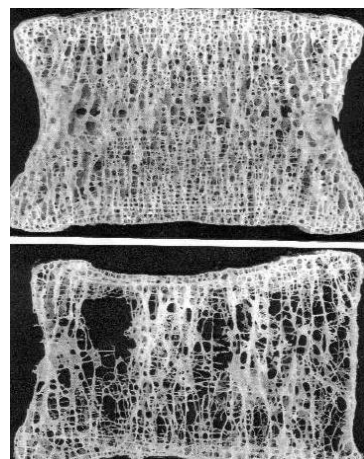
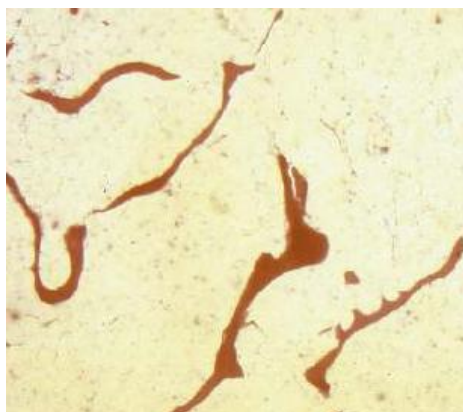


Todo el sistema trabecular del tejido óseo esponjoso tiene una disposición diferente de las trabéculas que se disponen así para poder soportar las diferentes cargas. Las trabéculas pueden tener una disposición trabecular vertical, irregular (trocánter del fémur, podemos ver en la foto la disposición de las trabéculas y como con el paso del tiempo van disminuyendo, de A-D) y arqueada favoreciendo el soporte de las diferentes cargas. En este sistema normalmente existe una zona de vacío (en la foto podemos ver un agujero en el cuello del fémur, con disposición triangular donde el vértice es inferior y la base superior), es el **triángulo de Ward**, es fisiológico, es una característica anatómica normal que supone una zona de debilidad del hueso, por eso si a esta la sumamos la pérdida de densidad ósea en ancianos puede aumentar aún más la fragilidad de la zona y favorecer la aparición de fracturas.

Triángulo de Ward



En la osteoporosis podemos ver menos trabéculas disminuyendo así la densidad ósea del tejido, aumentarían los espacios intersticiales lo que favorecería que el hueso se rompa o se aplaste. En la foto podemos observar una imagen de la osteoporosis.



## ▲ Tejido cortical

Todos los huesos tienen tejido óseo compacto que será el que forma la periferia del hueso. El hueso que tiene la cortical más dura y grande es el fémur.

El hueso cortical que se llama también compacto, es muy denso y forma el 80% de la masa de nuestro esqueleto.

Vemos que no tiene nada que ver con el esponjoso ya que las laminas óseas se disponen concéntricamente formando **osteonas o sistemas de Havers** que son las unidades funcionales del tejido compacto, estas rodean a una luz central que es el **conducto de Havers**. Son como columnas formadas por laminas concéntricas unas en relación con otras, están unidas unas a otras formando la estructura característica del tejido óseo cortical, de esta manera resisten las fuerzas de compresión. Entre los espacios entre las osteonas hay **láminas intersticiales** donde se sitúan los **canales de Havers** por los que circulan vasos sanguíneos y nervios, se cree que también circulan vasos linfáticos. Cada lámina intersticial tiene laminillas orientadas cada una en dirección opuesta a las adyacentes para así resistir los diferentes tipos de fuerzas (imagen). Sobre la superficie de las osteonas se sitúan los osteocitos. Las osteonas tienen como límite periférico las líneas de cemento.



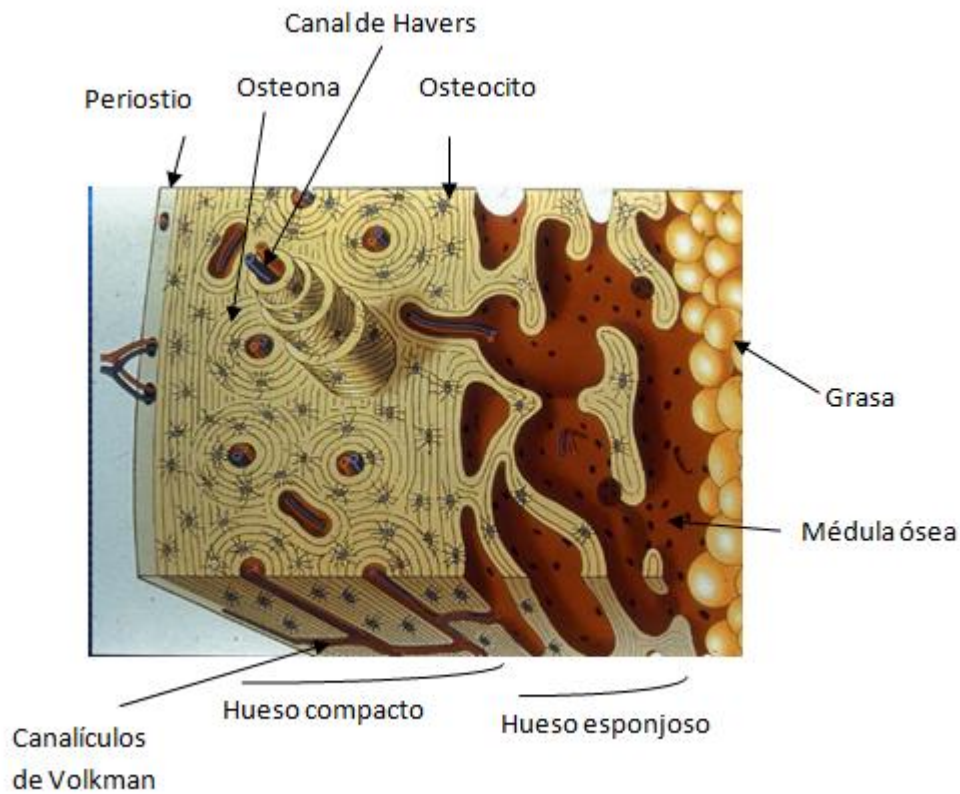
Los vasos que van por los conductos de Havers se unen unos con otros por uniones a través de unos canalículos que se llaman **canalículos de Volkman**

Rodeando a todo el sistema de osteonas por fuera veremos **láminas circunferenciales externas** las cuales no tienen la disposición concéntrica de las osteonas. Por dentro de la cortical veremos las **láminas circunferenciales internas**.

El periostio sería la parte más externa de las láminas circunferenciales externas.

Los osteocitos de cada osteona se unen a osteocitos de la misma osteona a través de prolongaciones pero nunca se unen dos osteocitos de osteonas diferentes

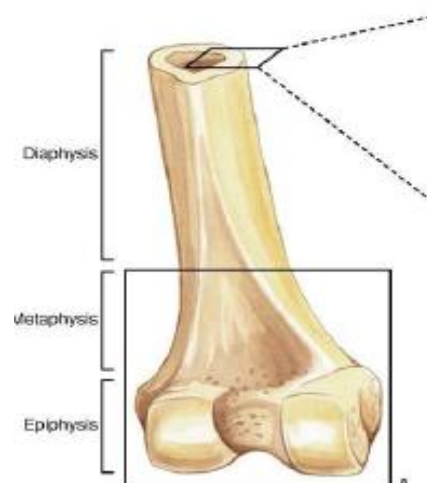
En la mujer aparece antes la pérdida de peso óseo partir de la menopausia.



## ANATOMÍA BÁSICA

Tipos de hueso en función de su dimensión:

- **Huesos largos:** predomina la longitud sobre grosor y anchura. Son: peroné, ulna (cúbito), radio, fémur, metacarpianos, metatarsiano, falanges,... dentro de este grupo algunos autores hablan de los huesos tubulares que son aquellos huesos que son huesos largos pero pequeños, dentro de estos nos encontramos las falanges, metacarpianos y metatarsianos. Tienen una cavidad medular que contiene medula hematopoyética que con el tiempo será sustituida por tejido graso en la mayoría de los huesos aunque persiste en columna, huesos iliacos, esternón y algún segmento epifisario.
- **Huesos cortos:** tienen las tres dimensiones iguales. Son los del tarso, carpo
- **Huesos planos:** Predomina la anchura sobre la longitud y grosor, como huesos iliacos, escapula y esternón.
- **Huesos irregulares:** no son ni largos, ni cortos ni planos. Tienen una zona central grande de la que nacen prolongaciones. El hueso típico son las vértebras, algunos autores incluyen también el calcáneo y el astrágalo



## Periostio

Cubre los huesos por fuera de hecho es la parte más externa (en la foto es morado). Esta muy ricamente vascularizado. Tiene una característica fundamental: está formada por una **parte externa** que está formada por tejido fibroso y es poco activa y por otra interna que está en contacto con el hueso, es rica en células osteoblásticas que se situarán sobre la superficie del hueso y tienen una importante actividad osteoblástica, esta parte se llama **capa activa del periostio o cambium**. Del periostio salen una serie de prolongaciones que van a la cortical y que la amarran, estas prolongaciones reciben el nombre de **fibras de Sharpey** que amarran fuertemente el periostio a la cortical.

El periostio varía de unas edades a otras, durante las primeras edades se tiene un periostio muy activo y las fibras de Sharpey anclan muy bien el periostio al hueso, pero a medida que avanzamos en edad la capa activa del periostio se adelgaza y las fibras de Sharpey se vuelven menos efectivas. Esto se muestra en la cirugía traumatológica ya que cuando se operan los huesos hay que despegar el periostio, en niños al estar muy adherido y ser muy grueso cuesta más, no pasa así en ancianos.

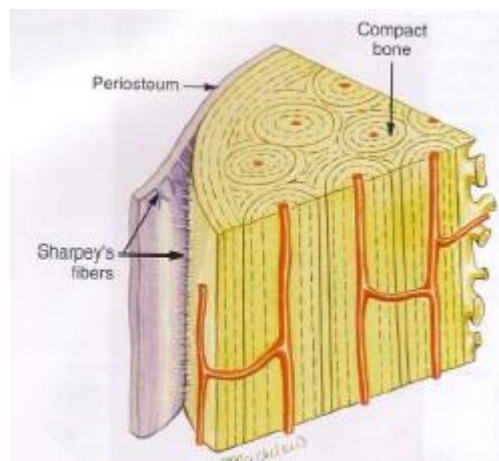
El periostio reacciona ante agresiones sobre todo en jóvenes

El periostio es muy importante por su rica vascularización lo que es muy importante en el proceso de consolidación de fracturas. Es importante en cuanto a la fisiología y a la patología (infección, necrosis,..). La vascularización consiste en un sistema arterial aferente, uno vascular intermedio (sinusoides medulares y capilares corticales y periósticos) y sistema venoso eferente con varias rutas concentradas en senos venosos centrales que se drenan por venas que acompañan arterias nutricias.

El Sistema arterial aferente: sistemas separados pero interactivos lo que permite la suplencia sus fuentes son:

- ☞ **Arteria nutricia:** nutre a dos tercios internos de la cortical así como la medular, tiene un flujo centrípeto.
- ☞ **Epifisario y metafisario:** nutre los plexos periarticulares en inserciones capsulares epifisarias. Durante el crecimiento están desconectados por la presencia de la fisis (en los dos primeros años de vida se traspasa)
- ☞ **Perióstico:** nutre los plexos musculares y áreas de inserción muscular, así como el tercio externo de la cortical.

La superficie interna del hueso se llama endostio y es menos activa.



La diferencia entre endostio y periostio es que el periostio es externo y tiene una capa interna muy activa rica en osteoblastos que se denomina cambium mientras que en el endostio la capa interna es activa pero no tanto. El periostio de los niños es más ancho pero va perdiendo actividad osteoclástica con el paso del tiempo. El periostio es muy importante porque en el caso de que se produzca una fractura en el hueso y se irrite, activa su capa más activa (osteoblastos) y empieza a formar hueso a ambos lados de la fractura dando lugar al **callo de fractura** por el que se pegan los extremos fracturados. También en la parte externa del periostio se forma el callo pero es menor porque tiene menos actividad. Cuanto más joven sea la persona, mayor será el callo de fractura y antes se ensamblará, en los ancianos al tener menos actividad en el periostio costará más formar el callo de fractura.

Al romperse en la fractura los vasos, se acumula sangre en el foco de fractura lo que se denomina **foco de fractura**.

El periostio también se activa cuando el hueso tiene alguna patología (tumores, infecciones), en esos momentos reaccionará también creando capas de hueso por la actividad de la capa interna. Muchos tumores producen irritación del periostio.

## ☞ VASCULARIZACIÓN DEL HUESO

El hueso es un órgano vivo en constante remodelación y actividad y para eso necesita sangre.

La vascularización del hueso consta de:

### ▲ Sistema aferente de llegada de sangre

Hay varias fuentes por las que llega sangre al hueso. Tomando como ejemplo un hueso largo (fémur) las vías de llegada serían:

- ♦ **Vía principal**, corresponde a la *arteria nutricia*, esta viene de la arteria principal del segmento correspondiente, en el caso del ejemplo vendrá de la arteria femoral. Penetra en el hueso a través de agujeros nutricios en la cortical, camina a lo largo del canal nutricional de la cortical y llega al interior del hueso dando lugar a una *rama ascendente* y otra *descendente* (lo blanco central del dibujo es la llegada de la arteria nutricia, el número 5 corresponde al cartílago de crecimiento o fisis). La distribución de la sangre en otros huesos es parecida pero no igual. Las ramas ascendente y descendente una vez en el canal medular se acercan a las zonas metafisarias y se ramifican en pequeñas ramas formando un plexo capilar, estas ramas terminales caerán en unos *lagos venosos* donde se recoge la sangre para que vuelva por el sistema venoso. En esta zona se enlentece la circulación debido al *estasis venoso* además los vasos pierden la capacidad fagocitaria del endotelio y se pueden producir muchas infecciones en esta zona por la pérdida de capacidad fagocitaria y por el enlentecimiento de la sangre. La circulación tiene como barrera el *cartílago de crecimiento* de tal manera que no pasaría sangre a la epífisis. Si se establece esta barrera este tipo de circulación no llega a la epífisis y por tanto no puede unirse a la circulación epifisaria. Cuando desaparezca el cartílago desaparece la barrera y si se producirá la unión de la



arteria nutricia con el sistema de la arteria epifisaria.

**EXCEPCIÓN:** durante el primer año de edad, el cartílago es muy débil permitiendo que los vasos atraviesen el cartílago y lleguen a la epífisis, después de esta edad no pasará. Esto significa que un foco de infección en la zona metafisaria no llegara a la epífisis mientras haya cartílago de crecimiento tras 1 año del nacimiento, si se produjese antes del año si podría llegar.

- ♦ **Vía epifisaria:** el sistema epifisario (10) la arteria atraviesa la epífisis y se ramifica en toda ella. La arteria epifisaria viene de los vasos de los músculos y los de la cápsula articular. Hay algunas articulaciones que al tener una vía diferente pueden llegar vasos a través de otras arterias como por ejemplo la arteria del ligamento redondo en el caso de la cabeza del fémur.
- ♦ **Vía metafisaria:** las arterias dan sangre a la metáfisis, penetran a través de la cortical que a ese nivel es más fina y se une a los vasos aferentes de la arteria principal, estos vasos vienen de la musculatura vecina.
- ♦ **Vía arterial perióstica:** que irriga a lo largo de todo el hueso, sobre todo a nivel de la diáfisis. Estos vasos penetran por la cortical y suelen irrigar el tercio externo de la misma, se acabarán uniendo a otros vasos que provienen generalmente de las arterias principales y se unen a ellas formando una red perióstica importante. La parte más externa de la cortical esta irrigada por esta y la mas interna (2/3 internos de la cortical) están irrigados por el sistema principal.

#### ▲ Sistema eferente de salida

La sangre es recogida por el sistema venoso que tiene una capacidad hasta 6-7 veces mayor de recogida de sangre.

Hay unos huesos que están mejor irrigados que otros. Al hueso que llega menos sangre es al astrágalo porque es un hueso que no tiene inserciones musculares por lo tanto la llegada de sangre es mucho menor. Por eso cuando el astrágalo se rompe sobre todo a nivel de zonas del cuello hay mucha probabilidad de necrosis. Otro hueso poco irrigado es el escafoides de la muñeca, de ahí su alto riesgo de que la fractura no consolide (pseudoartrosis) o lo haga mal, además del riesgo de necrosis. La tibia en su extremo distal también está poco irrigada porque en su tercio inferior hay poca musculatura, de ahí que estas fracturas den lugar a falta de consolidación o que lo hagan muy tardíamente. En el extremo superior del fémur (a nivel del cuello, sobre todo en pacientes mayores) se suelen romper los vasos que están a ese nivel e irrigarían la epífisis pero como en personas mayores hay una déficit de irrigación (el ligamento redondo esta degenerado o desaparecido) hay un alto riesgo de necrosis o falta de consolidación.

A nivel del periostio vemos vasos que penetran en la cortical e irrigan el tercio externo de la misma. Los vasos que provienen de la circulación que tienen que entrar dentro del canal medular atraviesan la cortical y se prolongan por ella e incluso algunos pueden unirse a los externos. La unión se produce siempre. Por lo tanto se produce un flujo desde dentro hasta fuera lo que se denomina **flujo centrífugo**.

Muchas veces hay que tratar las fracturas de los huesos largos para estabilizarlas, metiendo un clavo por dentro (clavos intramedulares) para unir los dos fragmentos, este clavo pasa por la cavidad medular rompiendo vasos y anulando la circulación, sin embargo aparece una circulación nueva o viricante (se pasa de flujo centrífugo a centrípeto), viene mas circulación desde fuera hacia dentro que suple en principio la falta de riego que va a haber por dentro de la cortical.

## ☞ CRECIMIENTO DE LOS HUESOS

Los huesos crecen durante el tiempo que dura la época del crecimiento, recordemos que es más larga en varones.

El crecimiento del hueso se produce en dos dimensiones:

- ▲ **Anchura:** el crecimiento en anchura no para de crecer hasta que finaliza la modelación, aunque sigue remodelándose. Crece gracias a la aposición de placas creadas por los osteoblastos de la capa interna del periostio.
- ▲ **Longitud:** el crecimiento es gracias a la actividad de placas y cartílagos que están en los extremos: fisis o cartílago de crecimiento. Por lo tanto la actividad de ambos cartílagos permite el crecimiento en longitud. Es importante saber cómo son los cartílagos (foto de abajo). En el crecimiento vemos una serie de capas, cada uno con una orientación diferente:
  1. Capa de reserva o germinal: no participa en el crecimiento, próximo al hueso subcondral. Está constituido por una capa de condrocitos situados más o menos horizontales. Es una zona de almacenamiento de sustancias nutritivas.
  2. Capa proliferativa o en "Pila de Monedas": es una capa seriada de condrocitos de mayor tamaño. A mayor número de células/columna mayor actividad (10-20 células). Es ancha y es la capa más activa del cartílago de crecimiento y gracias a esta actividad hay mas crecimiento en longitud
  3. Capa hipertrófica o de células vacuoladas: fenómenos degenerativos en condrocitos (vacuolización). Los condrocitos aumentan el tamaño, se alteran y desestructuran los núcleos y por eso degeneran y tienen menor actividad.
  4. Capa de cartílago calcificado: ya forma parte del segmento metafisario. Entre las capas de células se empieza a situar sustancia calcificada
  5. Capa de invasión vascular: encontramos vasos de procedencia metafisaria y resorción tabiques horizontales
  6. Capa de osificación: límite metafisario. En los osteoblastos van a ir formando hueso.

La actividad de los cartílagos es fundamental. Los cartílagos de crecimiento van desarrollando su acción hasta que maduran o desaparecen a las edades referidas anteriormente. Hay veces que quedan restos que podemos ver en radiografías. Una vez desaparece el cartílago no hay crecimiento, si el crecimiento tarda más en madurar la persona crecerá más.

La **cinemática del crecimiento** es:

- **Prenatal:** el feto crece por factores genéticos y por factores posturales.
- **Nacimiento:** de media mide el niño 50-54 cm
- **0-5 años:** se pasa de 54 a 108 cm
- **5-10 años:** se crece 6 cm por año (108+ 30= 138 cm a los 10 años)
- **>10 años:** se va creciendo 35 cm se crece más o menos, crece el tronco y la columna vertebral que es lo último en madurar (138+35=173)

El fémur se desarrolla y crece en longitud gracias a los dos cartílagos pero la actividad del extremo distal (70%) es mayor que la del proximal (30%), por eso patologías que afecten al extremo distal del fémur provocarían un menor crecimiento. Lo mismo sucede con la tibia, la actividad del proximal es de un 60% mientras que el distal interviene en un 40%. En el miembro superior, el cartílago más activo del humero es el proximal (80% de la longitud), en cubito y radio los más activos son los distales. Tenemos que tener cuidado con las fracturas a nivel de la extremidad inferior del radio porque pueden darse desplazamientos epifisarios porque como el cartílago es más activo existe un riesgo en el crecimiento del radio



Los cartílagos más activos son los próximos a la rodilla y los situados más lejos del codo

## RESUMEN

El crecimiento en **anchura** se produce por:

- ▲ Aposición diafisaria
- ▲ Láminas óseas subperiósticas circunferenciales
- ▲ Actividad osteogénica de las capas profundas del periostio

El crecimiento en **longitud** se produce en el cartílago de crecimiento o fisis:

- ▲ Presente hasta la maduración del esqueleto hasta los 17-19 años varón y 14-16 mujer
- ▲ Frontera epifisometafisaria
- ▲ Fertilidad diferente según cada hueso y localización proximal y distal (más fértiles los próximos a la rodilla (MI) y lejanos del codo (MS))
- ▲ Influenciado por factores: genéticos, intrauterinos, nutrición, alteraciones hormonales, mecánicos, físicos, vasculares

