

TEMA 1.- FISIOPATOLOGÍA ÓSEA

Funciones de los huesos

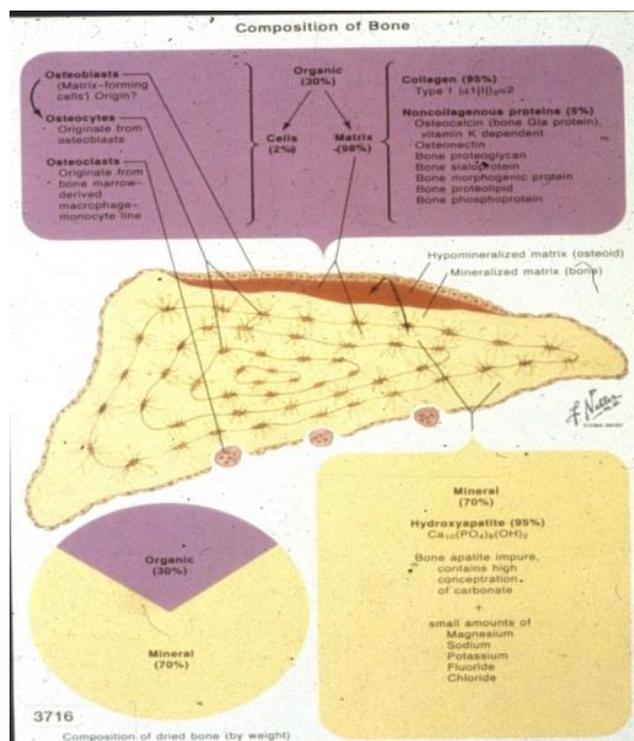
- Mecánica:
 - Protección de vísceras, encéfalo, médula (estructura nobles).
 - Estabilidad a la carga, sobre todo los miembros inferiores, los superiores también soportan carga pero en menor medida.
 - Dinámica o movilidad (palanca musculo-tendinosa).
- Biológica:
 - Deposito de minerales (sodio, potasio, fósforo, azufre) y homeostasis del calcio.
 - Hematopoyesis (medula ósea roja) en esternón y crestas iliacas.
- Reguladora de la respuesta inmune:
 - Aposición-resorción: hay una continua creación (aposisión) y destrucción (resorción) de hueso a lo largo de la vida.
 - Modelación-remodelación ósea.

El hueso como tejido vivo

- 1- Relación dinámica entre estructura-función: se adapta a las necesidades funcionales.
- 2- Procesos de destrucción y formación constantes.
- 3- Permite la reparación y la homeostasis: se regenera como un tejido normal y sano después de una fractura (no cicatriz).
- 4- Su masa/propiedades mecánicas se mantienen.

Posee capacidad única de repararse y crearse de forma idéntica al original.

Composición del hueso

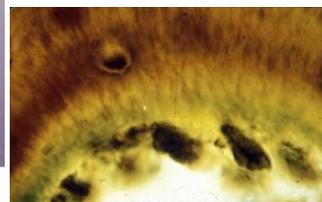
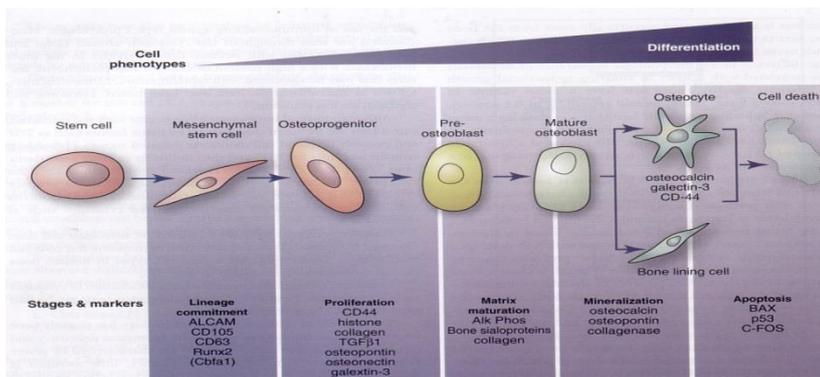


-Componente celular (en escasa proporción, menos de un 2%): Formado por:

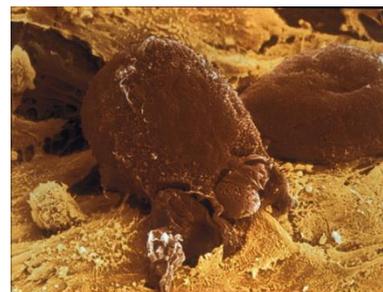
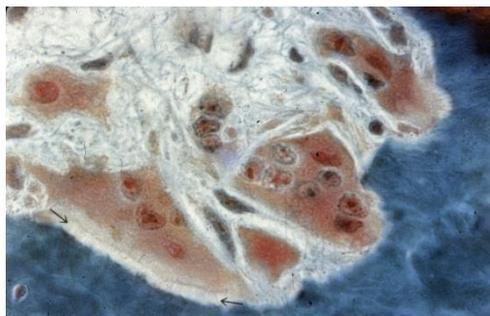
- **Células transitorias:**

- **Osteoblastos:** pertenecen a la línea osteoformadora. Son los encargados de sintetizar el componente orgánico de la matriz (colágeno, sustancia amorfa...) regular la mineralización de la matriz e iniciar el proceso de resorción. Sus características principales son:
 - Su localización en la superficie ósea.
 - Son células muy voluminosas con núcleo grande.
 - Poseen un aparato de golgi y un retículo endoplásmico muy desarrollado además de presentar numerosas mitocondrias (importantes para la función de síntesis).
 - Contienen fosfatasa alcalina.
 - Producen colágeno tipo I (el más abundante).
 - Poseen como origen la célula mesenquimalpluripotencial (proosteoblasto) que proceden del tejido conectivo.

Estos mueren tras realizar su función aunque hay una pequeña parte (15%) que pasa a ser osteocitos en el tejido maduro.



- **Osteoclastos:** Se encargan de la reabsorción ósea y la homeostasis cálcica. Caracterizados por:
 - Son células de gran tamaño y son multinucleadas: 10-20 núcleos.
 - Contienen fosfatasa ácida, esta es un marcador de resorción, por ejemplo en la enfermedad de Paget.
 - Poseen abundantes vesículas y mitocondrias.
 - Tienen un borde rugoso (ribete en cepillo o en orla).
 - Localización en superficie de trabéculas en lagunas de HOWSHIP.
 - Derivan de precursores hematopoyéticos: monocitos, macrófagos

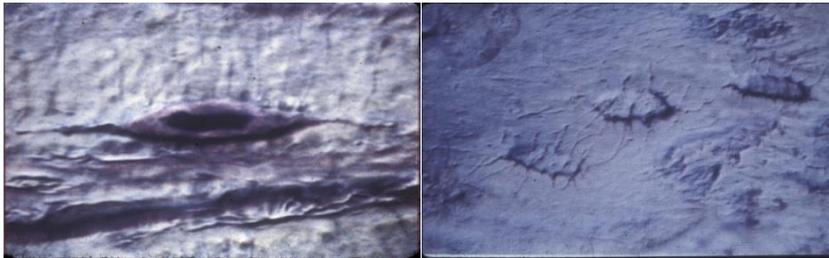


- **Células maduras** (90% hueso adulto):

- Osteocitos: Pertenecen a la línea osteoformadora. Su función es la homeostasis mineral.

Caracterizados por:

- Derivan de los osteoblastos tras la mineralización del osteoide, pero solo un pequeño porcentaje de osteoblastos ya que el resto muere por apoptosis.
- Poseen organelas intracelulares poco desarrolladas.
- Están localizados en lagunas osteocitarias con prolongaciones en los conductos calcóforos.



-Matriz ósea:

- **Fracción orgánica** (30%):

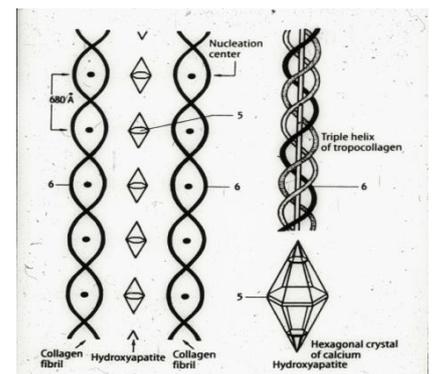
- Colágeno:

- Tipo I: triple hélice: dos cadenas $\alpha 1$, una cadena $\alpha 2$.
- Constituye casi todo el componente orgánico 90-95%.
- La organización en forma de triple hélice que da lugar a microfibrillas, que posteriormente dan haces de fibrillas y luego fibras colágenas.
- Es resistente a la tracción, y es el responsable de la fuerza tensil.
- Las fibras son ricas en aa sobre todo hidroxiprolina. La hidroxiprolinuria puede orientarnos hacia una osteoporosis. En muchos tratamientos para osteoporosis se realizan análisis periódicos en orina de hidroxiprolina. Por tanto en enfermedades con alto remodelado óseo aumenta la ohprolina en orina.

- Proteínas no colágenas: sustancia fundamental o amorfa. 5-10%. Encargadas de los procesos de regulación.

Son segregadas por los osteoblastos.

- Osteocalcina: es buen detector del funcionamiento óseo (marcador bioquímico de actividad osteoblástica).
- Factores de crecimiento: 1% de la regulación metabólica. Bmps (proteína morfogénica del hueso), factor β de crecimiento, factor plaquetario, fibroblástico, factor insulinoide. Estos pueden utilizarse en situaciones patológicas para tratar de mejorarlas, como por ejemplo para consolidar una fractura.
- Cuando esta sin mineralizar se llama osteoide.



- **Fracción inorgánica (70% de la composición del hueso seco)**

- Composición:

- Similar al mineral natural hidroxiapatita.
- Cristales compuestos de: 80% fosfato tricálcico (también usado en clínica para restaurar hueso).
10% carbonato cálcico.

Estos cristales están rodeados de una capa hidratante de agua e iones (Cl, Na, K, Mg). Hoy en día se emplea en ortopedia para relleno de cavidades y también se pulveriza mediante un mecanismo de sinterización para bañar las prótesis metálicas, lo cual hace que se integren mucho mejor.

- Impurezas que aumentan solubilidad y modifican otras propiedades físicas.

- Localización:

- Estructura bifásica (como hormigón armado).
- Cristales entre moléculas de colágeno.
- Excepcionales propiedades mecánicas.

- Función: resistencia a la compresión, regulado por los osteoblastos.

Tipos de tejido óseo

Existen dos variantes de hueso, que se encuentran en el mismo en proporciones diferentes, según qué época del desarrollo se trate.

-Hueso primario, inmaduro, plexiforme, primitivo.

- Características:

- Sin organización laminar.
- Fibras colágenas gruesas y desordenadas (desorganizado).
- Células situadas al azar.

- Propiedades:

- Más flexible, débil y deformable.

- Localización:

- Es el que se presenta en la etapa embrionaria y en el recién nacido.
- Sustitución progresiva hasta los 4 años.

- Restos en el adulto:

- Normal: Inserciones tendinosas-ligamentarias, alveolos, suturas, oído.
 - Callo de fractura en primera fase.
- Patológico: Paget, osteogénesis imperfecta (enfermedad de los huesos de cristal), metástasis.

-Hueso secundario, maduro, laminar.

- Características:

- Sistemas laminares ordenados de manera concreta y regular (diferente según el tipo de hueso (esponjoso/cortical)).
- Fibras colágenas organizadas y orientadas.

- Propiedades:
 - Organización en función de las cargas a soportar.
 - Mecánicamente anisotrópico.
- Localización:
 - En el esqueleto a partir de los 4 años, excepto patología: fracturas, Paget, tumores...

Proceso de osificación u osteogénesis

Hay dos maneras de formarse hueso:

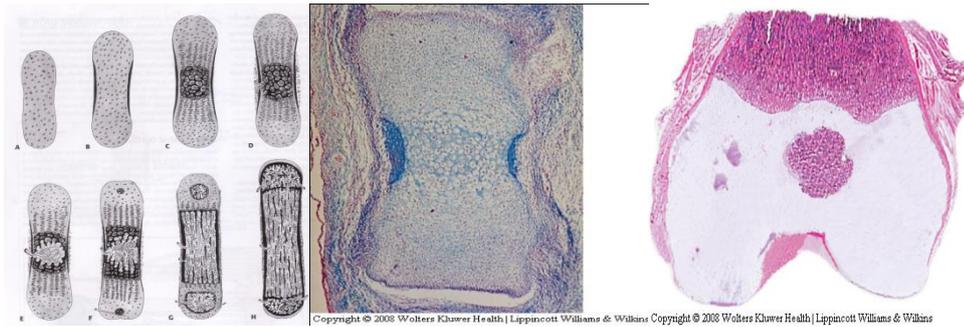
-Osificación membranosa o intramembranosa

- Es la producción directa de hueso sobre la maqueta de tejido mesenquimal indiferenciado, sin pasar por el molde cartilaginoso.
- Diferenciación en osteoblastos de células mesenquimales.
- Inicio central y progresión excéntrica o radial (mucho vascularización).
- Se da en bóveda craneal, maxilar inferior y clavícula (el que más se fractura).

-Osificación endocranal o cartilaginosa.

- Proceso:
 - En la 5ª semana se produce la transformación del molde mesenquimatoso en cartilaginoso rodeado de pericondrio. Este pericondrio, en un estadio adulto se va a diferenciar en el periostio¹
 - En la 7ª semana se forma el centro de osificación primario (diafisario) en la matriz: tejido conjuntivo vascular que va a aportar osteoblastos, hemoglobina y oxígeno. Esta calcificación y muerte de los condrocitos se extiende en los dos sentidos de la extremidad.
 - En la 10ª semana encontramos ya el hueso endocranal y la formación de las cavidades medulares.
 - Finalmente, a partir del nacimiento encontramos centros de osificación secundarios en epífisis. En niños estos centros se encuentran separados de los primarios por las metafisis. En las metafisis se observa radiológicamente una zona blanca, es el cartílago de crecimiento o fisis. Hasta que pasen unos años (diferentes para cada hueso y cada porción de dicho hueso) el hueso continúa creciendo a expensas de esta zona metafisaria y en ello estriba la importancia clínica de las lesiones en esta porción de los huesos de los niños, ya que pueden interferir con el crecimiento.
 - Hay un momento en el que la línea fisaria es invadida por vasos epifisarios que suelen corresponder a vasos procedentes de musculatura, ligamentos o cápsula periarticular.
 - Existe una invasión por vasos de los plexos periarticulares (el 1º en el extremo distal femur).
- Se da en la mayor parte de los huesos del organismo, como son los huesos largos.

¹ Lo hace a través de la subdivisión de esa lámina en 2 capas, una externa (capa fibrosa, colágena, con las fibras de Sharpey) y otra interna (capa osteogénica o cambium más celular, osteoblastos). La capa externa es el lugar de inserción de fibras musculares y terminaciones tendinosas (según el tipo de músculo: repasar formas de inserción de músculo). Además, esta zona está inervada por terminaciones propioceptivas.

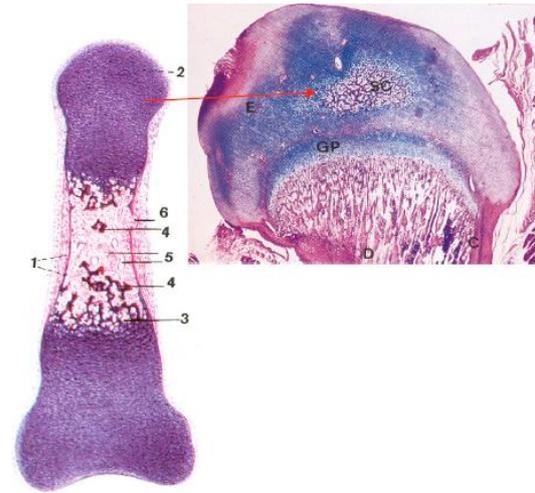


Moldes o maquetas cartilaginosa con núcleos de osificación primaria.

En un feto de 5 meses puede distinguirse en un hueso de la mano:

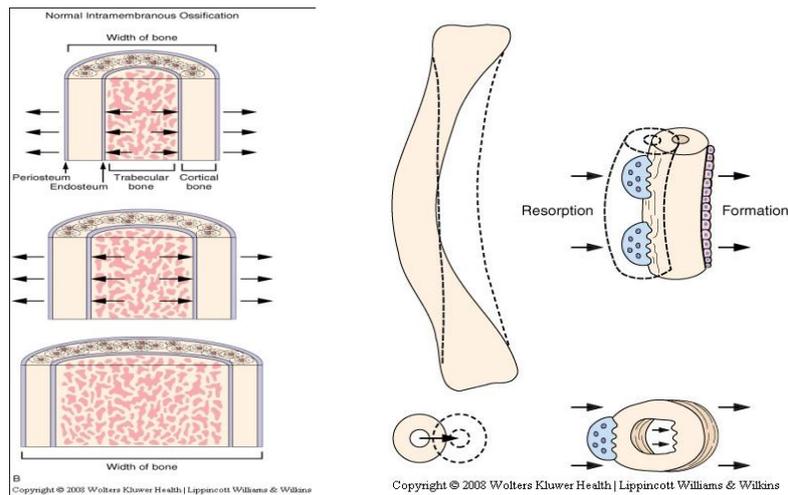
1. Manguito óseo pericondral
2. Epífisis
3. Zona de osificación
4. Trabécula ósea
5. Cavidad medular primitiva
6. Vasos sanguíneos.

De la capa interna del periostio existe potencial osteogénico. Esto es importante porque si se produce una fractura con ruptura de la arteria nutricia siempre tendremos el periostio como elemento que va a sustituir los déficit que puedan existir por la lesión traumática primitiva.



Actividad ósea

- **Modelado:** variación de la forma y el tamaño durante el crecimiento. Es el proceso de reabsorción y formación durante el crecimiento.
 - Modifica la estructura y morfología de los huesos.
 - Desde el desarrollo intrauterino hasta su maduración definitiva.
 - Transformación de hueso fibrilar en laminar.
 - Se prolonga en la madurez con persistencia de osteogénesis en periostio y reabsorción en el endostio (aumento diámetro y adelgaza la cortical), influencia en resistencia de los huesos.
 - Varía en tamaño y forma ligeramente a lo largo de la vida en respuesta sutil a cambios de carga aplicada (raya el límite entre modelado y remodelado).



Proceso después del nacimiento con adelgazamiento de las corticales y ensanchamiento de la medular.

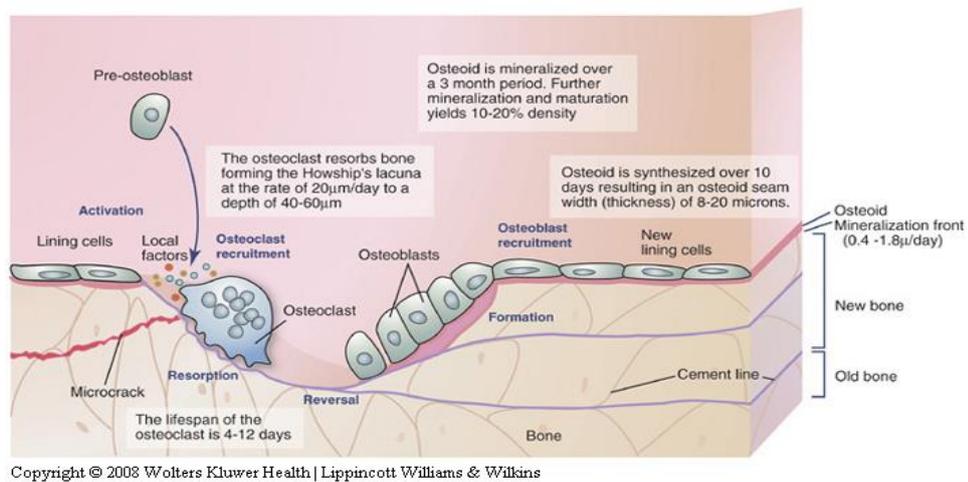
- **Remodelado:** renovación-reparación. Posterior a la modelación, que ocurre durante el crecimiento, la remodelación es un proceso que nos acompaña durante toda la vida. En un momento determinado, una parte de nuestro hueso se pone en **fase de activación**, lo que implica que ciertas zonas óseas sufren activación de osteoblastos y osteoclastos. Las zonas preactivadas portan osteocitos ancianos incapaces de soportar las fuerzas que continuamente recaen sobre el hueso. Por ello los osteoclastos, mediante su irrupción y la formación de lagunas de Howship van a demoler el hueso anciano. Esta es la **fase de resorción**. Inmediatamente se pone en marcha un mecanismo similar a la entrada de vasos en el tejido condral que ocurría en la osteogénesis, que consiste en que se ponga una banda de osteoide con osteoblastos que se va a mineralizar adoptando una orientación adecuada en el espacio. Esto es la **fase de formación**, que se puede medir y que se ve entorpecida por ciertos factores hormonales y de crecimiento (corticoides, estrógenos...) y que según las personas van a conseguir que el proceso de remodelado llegue a buen fin dejando un hueso con estructura adecuada o bien que se produzca un desequilibrio resorción/formación: resorción aumentada o osteogénesis imperfecta, disminuida o osteopetrosis y ambas aumentadas o enfermedad de Paget.

Órganos como riñones, tiroides o intestino son muy importantes para comprender las deficiencias o problemas del metabolismo del calcio y del fósforo que inciden en los aspectos patológicos del hueso.

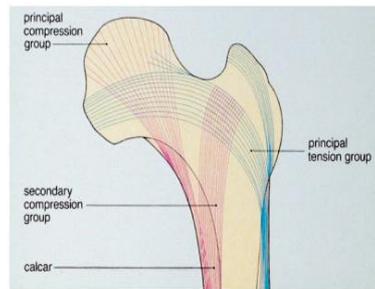
Hay una fracción muy pequeña, de unos pocos mgs dentro kg/kg y medio de calcio que hay en el cuerpo de una persona, que tiene implicaciones en la sinapsis neuromuscular y en la contracción muscular. Por tanto, es un elemento fundamental en la homeostasis.

- Proceso continuo de reabsorción-formación sin modificación de la forma.
- Toda la vida aunque el ritmo decrece con la edad (20% promedio de renovación de masa ósea en cualquier momento).
- Permite:
 - o La reparación de las zonas débiles-microfracturas.
 - o Mejora la distribución vascular del hueso.
 - o Mantiene la homeostasis mineral.
- Remodelado del hueso cortical:
 - o Unidades de remodelamiento óseo (brus): frente de osteoclastos, cierre de osteoblastos y vasos y nervios en el intermedio.

- Se van creando nuevos canales haversianos.
- Remodelado de hueso esponjoso:
 - Ritmo 5-10 veces superior al cortical.
 - Unidad de remodelado progresa sobre la superficie trabecular.
- Duración de un ciclo de remodelamiento: 4-6 meses
- Fases del ciclo:
 - Fase de activación.
 - Fase de resorción (3 semanas): en la que tiene lugar la fijación de osteoclastos dando lugar a las lagunas de Howship.
 - Fase de reserva (2 semanas): inactividad relativa con desaparición osteoclastos.
 - Fase de formación (3 meses): actividad osteoblástica.



- Remodelado adaptativo (sistema intermedio entre ambas):
 - Adaptación del entramado trabecular a la distribución de las cargas (en el anciano se va haciendo más débil debido a osteoporosis).
 - Límite conceptual entre modelado y remodelado.
 - Ley de Wolff: orientación y dimensión trabecular depende de las fuerzas aplicadas al esqueleto.



- Factores que influyen en el remodelado:
 - o Bioquímicos (hormonas como ACTH etc, factores de crecimiento...).
 - o Físicos (mecánicos y eléctricos).
- Evaluación clínica del remodelado.
 - o Marcadores de formación:
 - Fosfatasa alcalina en suero (osteoblastos)
 - Osteocalcina en suero.
 - Propéptidocarboxiterminal de procolágeno tipo I en suero (fragmento precursor del colágeno, PICP).
 - o Marcadores de reabsorción:
 - Fosfatasa ácida en suero (osteoclastos).
 - Hidroxipirrolina en orina.

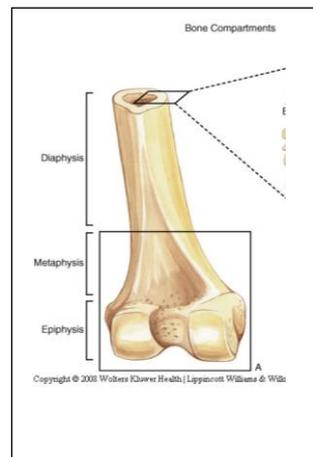
Anatomía básica de los huesos

Dimensiones:

- Largos o tubulares (fémur, tibia).
- Planos (iliaco, escápula).
- Cortos (huesos del carpo, tarso).
- Irregulares (vértebras, calcáneo)

Regiones:

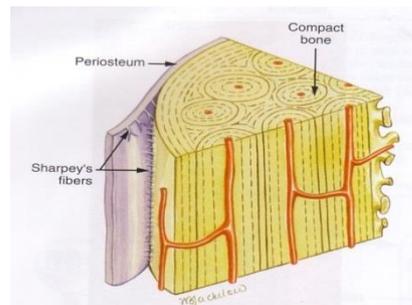
- Epífisis.
- Metáfisis.
- Diáfisis



Cavidad Medular en Huesos Largos:

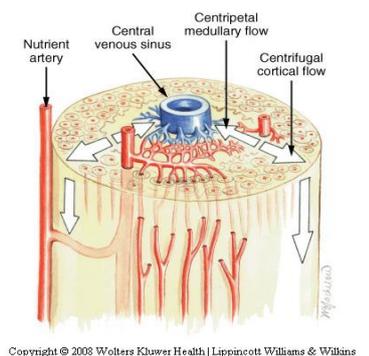
- Médula Hematopoyética:
 - o Sustituida en el tiempo por tejido graso, (desaparece cuando nos hacemos adultos), aunque en algunas zonas sigue quedando componente hematopoyético.
 - o Así, distinguimos entre la médula ósea roja (hematopoyética) y médula ósea amarilla (grasa), que en el anciano se transforma en médula gris, y que hace que el instrumental utilizado agarre menos al interior del hueso.
 - o Persiste en: columna, iliacos, esternón y algún segmento epifisario.
- Membrana Perióstica:
 - o Es tejido conjuntivo.
 - o Anclada por las fibras de Sharpey.
 - o Ausente en superficies condrales e inserciones tendinosas.
 - o Grueso y resistente en jóvenes.
 - o Dos capas:
 - Fibrosa o externa: poco activa.
 - Interna o Cambium: activa; participa en crecimiento, consolidación (en contacto con el hueso cortical).
 - o Reacciona ante agresiones sobre todo en jóvenes.

Superficie interna del hueso: ENDOSTIO (menos activo).



Vascularización de los huesos

- Importante en fisiología y patología (infección, necrosis,...)
- **Precariedad:** astrágalo, escafoides, carpiano, cabeza femoral, odontoides (problemas de necrosis postfracturas).
Amplias áreas recubiertas de cartílago
- **Sistemas:**
 - o Arterial Aferente.
 - o Vascular intermedio (sinusoides medulares y capilares corticales y periósticos).
 - o Venoso Eferente; varias rutas concentradas en seno venoso central que se drena por venas que acompañan arterias nutricias.
- **Sistema Arterial Aferente.**
 - o Sistemas separados pero interactivos: permite suplencia.
 - o Fuentes:
 - Arteria nutricia:
 - Dos tercios internos de la cortical así como la medular.
 - Flujo centrífugo.
 - Entra en la diáfisis y se divide en T hacia los dos extremos. En la zona metafisaria (cuando todavía la haya) se produce una detención de la vascularización. Esta barrera a veces permite la detención de sarcomas e infecciones.
 - Epifisario y Metafisario:
 - 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:
 - Plexos musculares, áreas de inserción muscular
 - Tercio externo de la cortical.



Posibilidad de suplencia vascular, por lo que los huesos siempre están bien vascularizados.

Lo que si es cierto es que existen zonas óseas como el astrágalo, el escafoides, la extremidad proximal del fémur en niños, que o bien en el proceso de formación en que aún existe la fisis o bien en ciertas fracturas existen zonas que no tienen

vascularización vicariante (alternativa) y son fracturas con peor pronóstico vascular, proclives a desarrollar secundariamente una necrosis isquémica: necrosis del hueso por falta de irrigación en esa zona.

Ocurre especialmente en aquellos huesos con superficies articulares amplias.

*Clavos: el plexo perióstico tiene que suplir temporalmente el medular.

Arquitectura ósea

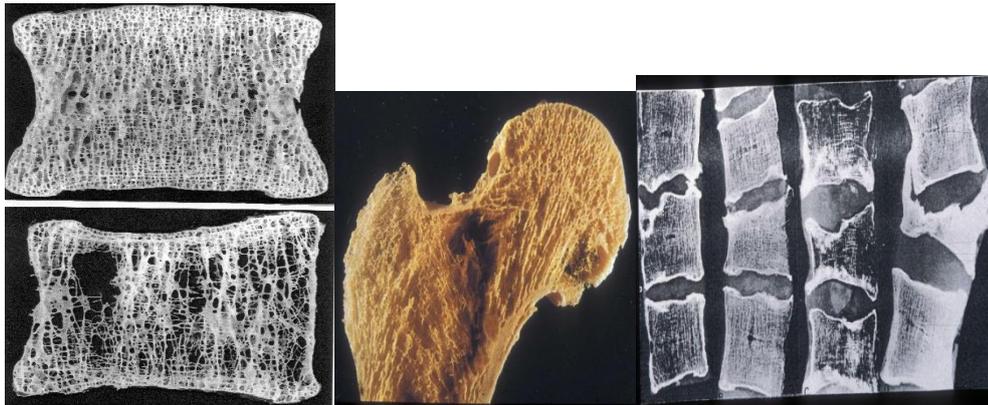
Tipo de Hueso:

- **Compacto, cortical o diafisario:** menos activo metabólicamente.
 - *80% del esqueleto adulto.*
 - Haversiano cuya unidad elemental funcional es la OSTEONA: canal central de Havers (tapizado de osteoblastos con capilar, fibra nerviosa y células progenitoras perivasculares), conductos de Volkman (canales transversales que comunican los de Havers entre sí), 150-200 micras de diámetro, 8-15 láminas concéntricas de hueso laminar, límite periférico: líneas de cemento.
 - Completan: sistemas laminares intersticiales (entre osteonas) y láminas circunferenciales externas e internas (límite con periostio y endostio). Laminillas concéntricas de la osteona, trabéculas...??
 - Resistencia (sobre todo a tensión y torsión).



- **Esponjoso o Trabecular:** más activo metabólicamente:
 - La composición clínica y en materiales es la misma pero varía la disposición de los mismos.
 - El esponjoso se encuentra en las apófisis, en las epifisis y extremidades articulares y en los huesos cortos.
 - Armazón tridimensional dispuesta de forma que aporta resistencia a la compresión: predomina en columna.
 - Unidad básica: trabéculas dispuestas en forma de malla de tubos y placas cruzadas entre sí.
 - Orientación adecuada a las fuerzas de compresión, ritmo de remodelado mucho mayor cuando hay compresión.
 - Su porosidad (50-90%) favorece los procesos metabólicos (8x a la cortical su actividad metabólica).
 - Resistencia en compresión y cizallamiento.
 - Área de superficie x20 frente a cortical.
 - Espacios entre trabéculas con médula ósea mezclada con tejido graso en cantidad variable.
 - Es éste tipo de huesos que el que con la edad se hace más frágil, alterándose su densidad y arquitectura (osteoporosis involutiva) (escasas trabéculas flotando en magma graso...). existen 2 tipos de osteoporosis:
 - **Tipo I** es fisiológica, progresiva con la edad, que puede ser más acusada en ciertas zonas geográficas, razas.

- **Tipo II** es más propia de mujeres debida a las alteraciones hormonales y se trata de paliar porque genera situaciones patológicas a veces muy precozmente.



Crecimiento de los huesos

- **En anchura:**
 - Aposición diafisaria.
 - Láminas óseas subperiósticas circunferenciales.
 - Actividad osteogénica de las capas profundas del periostio (cambium).
 - Proceso similar al de huesos planos de origen membranoso.
- **En longitud:**
 - Cartílago de crecimiento o fisis (exclusivamente).
 - Presente hasta la maduración del esqueleto (17-19 años varón, 14-16 mujer).
 - Frontera epifisometafisaria.
 - Fertilidad diferente según cada hueso y localización proximal y distal (más fértiles los próximos a la rodilla y lejanos al codo).
 - Influenciado por factores: genéticos, intrauterinos, nutrición, alteraciones hormonales, mecánicos, físicos, vasculares.
- **Factores de crecimiento:**
 - Bioquímicos: hormonas, vitaminas, factores locales (Interleuquinas, tgf beta, prostaglandinas)
 - Mecánicos: agentes físicos como la exposición al sol. La distensión produce tejido condral y la compresión produce ___ (Ley de Delpech, interesante en la reparación de fracturas).
 - Vasculares
 - Enfermedades crónicas
 - Trastornos nutritivos
- **Factores biomecánicos:** núcleos epifisarios y apofisarios.

Cartílago de crecimiento

Estructura:

- **Capa de reserva o germinal:** no participa en el crecimiento.
- **Capa proliferativa o “en pila de monedas”:** presenta condrocitos de mayor tamaño, es una capa ancha y a mayor número de células/columna mayor actividad (10-20 células).
- **Capa hipertrófica o de células vacuoladas:** en la que se producen fenómenos degenerativos en condrocitos (vacuolización).
- **Capa de cartílago calcificado:** ya forma parte del segmento metafisario.
- **Capa de invasión vascular:** vasos de procedencia metafisaria y resorción de tabiques horizontales.
- **Capa de OSIFICACIÓN:** Es el límite metafisario.

Existe una diferente fertilidad de los cartílagos de crecimiento: se hace una radiografía de la mano izquierda de un niño y según ciertos patrones epidemiológicos se obtiene la edad ósea según la situación de diversos núcleos de osificación y así podemos reconocer una asincronía entre la edad real y la de crecimiento óseo que nos ponga en la pista de alteraciones metabólicas que interfieran con el crecimiento.

Ley de Wolff: bajo el presupuesto de la anatomía funcional (el cuerpo humano construido con la máxima eficiencia) produce el concepto de que la disposición de las trabéculas de la esponjosa no es arbitraria sino que se encuentra dispuesta según ciertas líneas vectoriales para soportar cargas y si éstas son lesionadas se producen alteraciones funcionales. Además en los niños, aplicando la ley de Wolff, las fracturas se reparan con mayor grosor en la zona ___ que en la___.

Hermann Von Meyer localiza líneas de trabeculación preferente en los huesos para permitir la transmisión de cargas de la forma más eficaz.

Más tarde, **Culmann** lleva más lejos estas ideas y estudia la extremidad proximal del fémur y en concreto su esponjosa, localizando esas líneas trabeculares preferentes que están algunas expuestas a fuerzas apofisarias o de tracción y epifisarias o de contracción.

Esto se aplica a la reparación de ciertas fracturas como las de rótula y de olecranon.