

# Aspectos estructurales del periodonto de inserción: estudio del tejido óseo

Carmen Carda Batalla: Catedrático de Histología de la Universitat de Valencia. Médico. Odontólogo.  
Amando Peydró Olaya: Catedrático de Histología de la Universitat de Valencia. Médico. Odontólogo.

## Introducción

Alrededor del diente, a nivel radicular y en relación con la porción mas superficial de la dentina, se dispone la unidad funcional denominada periodonto de inserción, cuyo papel principal es mantener al diente firmemente anclado, en su posición fisiológica. Esta unidad constituye un conjunto estructural formado por cemento, ligamento peridentario y hueso alveolar.

Estas tres estructuras histológicas que constituyen el sistema de sujeción de diente se originan de manera simultánea durante la rizogénesis, o formación de la raíz dentaria, y tienen a lo largo de la vida del individuo una evolución pareja tanto en condiciones de normalidad como en los procesos patológicos periodontales.

Así de manera fisiológica y correlacionándose con los movimientos de acomodación y desplazamiento dentario, hay una aposición continuada y selectiva del cemento, se produce una renovación del tejido conjuntivo fibroso del ligamento y se produce la remodelación del tejido óseo. Cuando se produce la pérdida dentaria por avulsión (fortuita o patológica) o una extracción terapéutica, el cemento y parte del ligamento periodontal, firmemente anclados a la superficie dentinaria, acompañan al diente, mientras que el resto del ligamento y el hueso alveolar, perdida su función de anclaje, se reabsorben de manera progresiva.

Los procesos inflamatorios del periodonto se inician, de manera habitual a nivel del periodonto de protección, la encía, y se continúan con procesos de mayor trascendencia pues afectan a los sistemas de anclaje del diente que acabamos de describir. La inflamación crónica del tejido periodontal y óseo alveolar se acompañan, trascurrido un cierto tiempo, de pérdidas irreversibles. Pero no son los únicos mecanismos de pérdida ósea en esta región: así las sustituciones protéticas tras pérdidas dentarias en muchas ocasiones amplias y en frente anterior por traumatismos en jóvenes, las alteraciones de la articulación témporo-mandibular con la disfunción que comporta, las malformaciones craneofaciales o tumores con amplias pérdidas de hueso, así como la demanda funcional y estética de los tratamientos ortodóncicos, entre otros, llevan implícitos procesos de recambio óseo que en muchas ocasiones resulta insuficiente para un correcto planteamiento terapéutico. En todas estas circunstancias cobran particular interés los procesos de regeneración ósea.

El conocimiento de la estructura histológica de este tejido óseo y de sus mecanismos fisiológicos de mantenimiento estructural son por tanto imprescindibles para mejorar el uso racional de esas nuevas tecnologías terapéuticas que intentan mejorar la regeneración ósea.

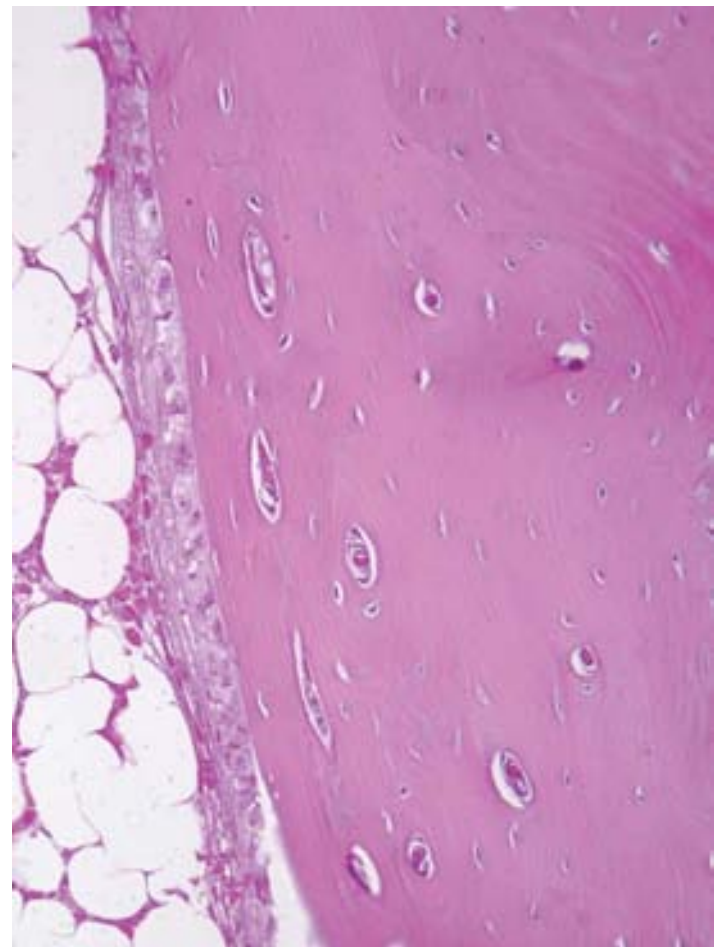


Figura 1. - Corte de un hueso compacto de la zona profunda de la compacta. En el observamos tres osteonas, con sus conductos de Havers en el centro y rodeado de laminillas óseas en las que los identificamos en relacion con el espacio medular. Se observa la disposición ordenada de los osteocitos, entre las láminas óseas.

## Características generales del tejido óseo

El tejido óseo es una variedad modelada de tejido conjuntivo que está constituido por células y sustancia intercelular, la cual está calcificada o mineralizada, lo que le confiere dureza. Cuando la matriz todavía no está

## Formación continuada

mineralizada recibe el nombre de osteoide.

Constituye el esqueleto, por lo que además de permitir el movimiento, protege estructuras nerviosas vitales como el cerebro y la médula espinal, o a nivel de la cavidad torácica, los pulmones y el corazón. Y en el caso de zona estomatognática sirve de anclaje para las piezas dentarias, participando por tanto en funciones también de gran trascendencia como la masticación. Tiene una función metabólica ya que constituye un depósito importantísimo de calcio. Y en su interior se aloja la médula ósea hematopoyética.

Es tejido muy resistente a las fuerzas de tracción y compresión, ligeramente elástico, pero a pesar de ello es muy duro y muy rígido. Está renovándose continuamente, por tanto es un tejido dinámico que está sometido a modelación y remodelación durante toda la vida.

Desde el punto de vista macroscópico hay dos tipos de hueso:

- Hueso compacto o cortical. Es una masa sólida densa que suele situarse en las porciones más superficiales del hueso.

- Hueso esponjoso, trabecular o reticular. Forma un retículo tridimensional de espículas óseas o trabéculas entremezcladas que deja espacios vacíos en las zonas más profundas de los huesos, y que son ocupados por la médula ósea.

Casi todos los huesos se componen de hueso compacto y esponjoso. Si tomamos como referencia un hueso largo, está formado por un cuerpo cilíndrico central o diáfisis, constituida por una zona periférica importante de hueso compacto a continuación una pequeña zona de hueso esponjoso y un pequeño hueco central de hueso trabecular que contiene el canal medular, ocupado por médula ósea. Los dos extremos aproximadamente esféricos, las epífisis, que muestran una corteza delgada de hueso compacto y el interior es hueso esponjoso. En el adulto la epífisis y la diáfisis se continúan en el canal medular. En los huesos en crecimiento, entre la epífisis y la diáfisis se sitúa la metáfisis que contiene la placa epifisaria cartilaginosa seguida de trabéculas óseas nuevas que se están formando. (FIG. 1)

Toda la superficie externa del hueso está rodeada por periostio, constituido por tejido conectivo fibroso y una capa interna de células indiferenciadas de tipo mesenquimático osteoprogenitor. A través de él llega la vascularización e inervación al hueso. Y las cavidades medulares de la diáfisis y las cavidades del hueso esponjoso están revestidas por una delgada capa celular, también con capacidad osteoformadora y por un tejido conjuntivo más laxo: el endostio.

### Componentes histológicos del tejido óseo

Como todos los tejidos conjuntivos, el tejido óseo está constituido por un conjunto de células y una matriz intercelular que las rodea; con la particularidad en este tejido que la matriz está mineralizada. Las células óseas son las encargadas de formar y mantener la integridad estructural y funcional de la matriz, así como de eliminarla cuando esta se deteriora. Mientras que en la matriz residen las principales funciones biomecánicas de este tipo de tejido conjuntivo especializado.

#### 1-CÉLULAS DEL HUESO

##### A-Células osteoprogenitoras

Derivan de células mesenquimales indiferenciadas, las mismas que dan origen a fibroblastos, condrocitos, adipocitos, etc. Son células fusiformes con pequeñas proyecciones laterales, con núcleos ovales, de cromatina laxa, citoplasma pálido, poco teñido, por tratarse de un citoplasma pobre en orgánulos. Son células que ya están comprometidas hacia la formación de hueso, aunque morfológicamente se parecen a las células mesenquimales comunes.

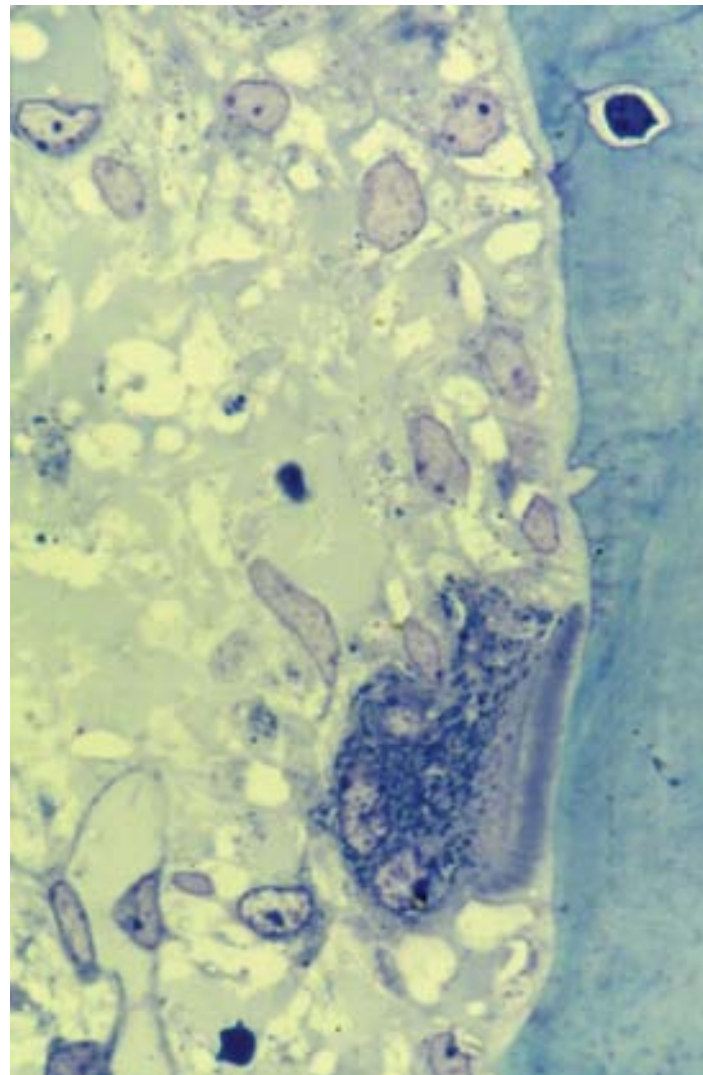


Figura 2.- Corte semifino, teñido con azul de toluidina, de una superficie ósea con presencia de osteoblastos y una célula gigante, un osteoclasto. En el interior de la matriz ósea se observa un osteocito y en el endostio adyacente un grupo de células osteoprogenitoras y un vaso sanguíneo.

Se localizan en la capa interna del periostio, en el endostio y limitando los canales que perforan el hueso compacto del adulto (Canales de Havers). También se encuentran en la metáfisis recubriendo la matriz cartilaginosa degenerada en la época de formación de hueso. Están activas durante toda la vida: durante la vida fetal y la etapa de crecimiento, diferenciándose por la acción de diversas citocinas y factores de crecimiento (BMP, FGF, IGF, TGF beta) para participar activamente en la formación de hueso

##### B-Osteoblastos

Son las células que se diferencian para la síntesis de la matriz orgánica del hueso que en conjunto conforman el osteoide, tras el estímulo de la paratormona (PTH), la vitamina D, los estrógenos y también por leptinas. Esta sustancia osteoide posteriormente se mineralizará con la participación trascendente de estas mismas células que sintetizan fosfatasa alcalinas, la formación de las vesículas matriciales y la secreción de glicoproteínas específicas. Los osteoblastos son células poligonales que se agrupan en una capa de aspecto epitelióide sobre las trabéculas (ó espículas) óseas en formación. La estructura del osteoblasto es característica de las células secretoras que sintetizan proteínas de exportación. Están

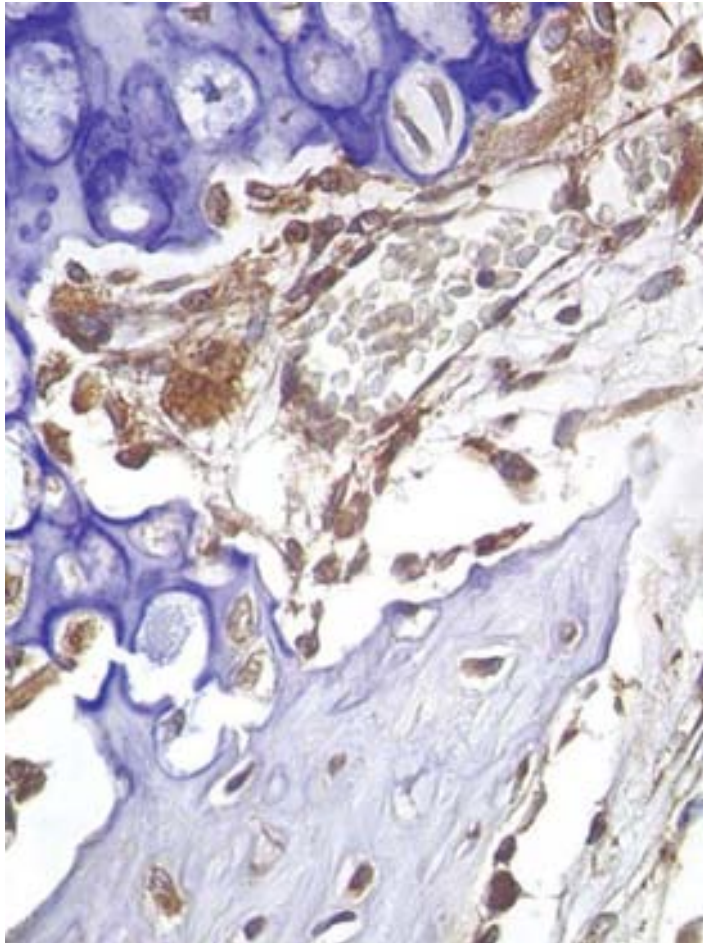


Figura 3.- Corte de una área de osificación endocondral del cóndilo mandibular (técnica inmunohistoquímica frente a RANKL). En el margen superior se observa la zona condral con los osteoclastos destruyendo la matriz y en la zona inferior se evidencia una trabécula ósea con osteoblastos en la superficie y osteocitos en el interior.

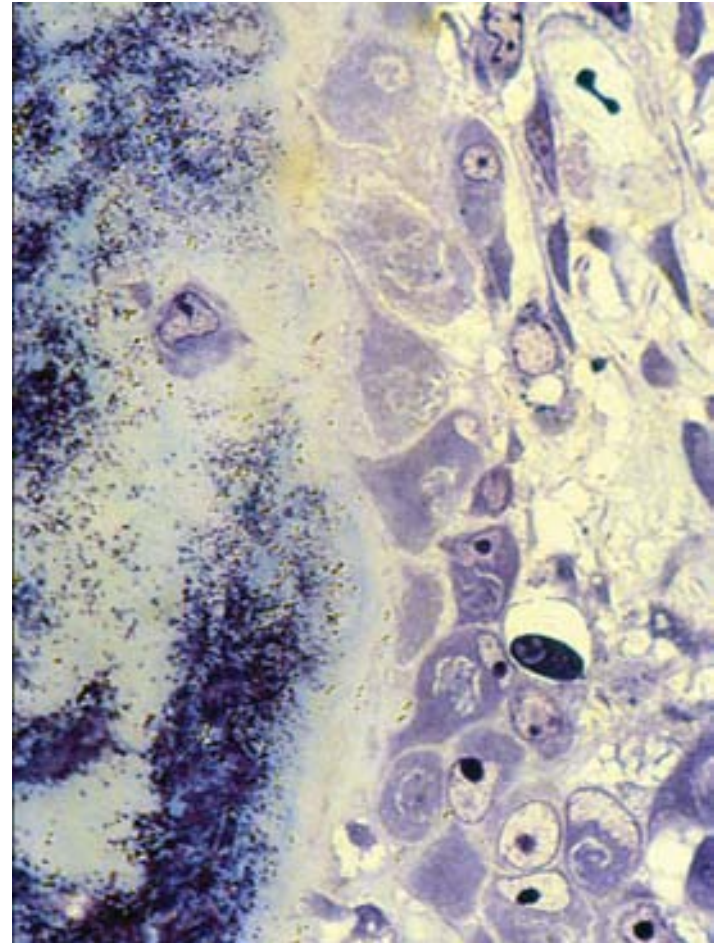


Figura 4.- Corte semifino que se ha teñido con azul de toluidina, de un área de osificación endoconectiva. Hay numerosos osteoblastos formando un frente ante la franja de osteoide recién formado y uno de ellos que ya ha quedado incorporado al matriz que se esta mineralizando.

polarizadas, pues el núcleo es excéntrico y ocupa el lado de la célula más alejado de la trabécula ósea. El citoplasma es intensamente basófilo por su abundante retículo endoplásmico rugoso. El Aparato de Golgi, muy desarrollado, es yuxtannuclear y aparece como una vacuola citoplasmática poco teñida, orientada hacia la trabécula.

Los osteoblastos poseen receptores para la PTH, hormona que les induce a liberar un factor estimulante de los osteoclastos, activando a éstos para que produzcan reabsorción ósea. Ante ese estímulo los osteoblastos también activan sus colagenasas para despolimerizar la sustancia osteoide no calcificada. De esta manera favorecen la reabsorción ósea, permitiendo que los osteoclastos vecinos accedan a la superficie ósea mineralizada. La vitamina D activada juega un rol importante en el metabolismo del tejido óseo también por su acción sobre los osteoblastos. Transcurrido dos o tres meses de su activación biosintética quedan incorporados a la matriz neoformada pasando a denominarse osteocitos o persistiendo en su ubicación superficial pero en estado quiescente como células bordeantes del hueso.

### C-Osteocitos

Son células pequeñas y muy numerosas, de morfología almendrada y con largas prolongaciones citoplásmicas que las mantienen unidas entre sí y a las células de la superficie ósea mediante uniones tipo nexus, uniones en hendidura. Están inmersas en una red tridimensional de espacios, el sistema canalículo-lacunar, labrados en la matriz mineralizada. En las

cavidades más amplias, los osteocelos o lagunas, se alberga el cuerpo celular y a nivel de los estrechos conductos, denominados calcóforos, sus prolongaciones)).

Son células de citoplasma eosinófilo y núcleo mas condensado que los osteoblastos, ya que poseen una menor actividad biosintética. Pero aun así sintetizan condroitín-sulfato, queratán-sulfato y ácido hialurónico; tienen un papel fundamental en la homeostasis fosfocálcica y son fundamentales en la transducción de señales biomecánicas para que inicien los procesos de recambio y remodelación ósea cuando estos sean necesarios. Cuando los osteocitos salen de sus lagunas en el proceso de reabsorción ósea que depende de las células destructoras de hueso (osteoclastos), retornan a su estado de célula de revestimiento óseo en reposo y puede que posteriormente se transformen en osteoblastos activos, en un momento de necesidad.

### D-Células de la superficie ósea

Son células inactivas que se originan a partir de osteoblastos que han finalizado la formación de hueso. Son células aplanadas, que recubren como una capa de epitelio plano simple, todas las superficies óseas internas y externas que no están en actividad. (FIG.2)

Las células osteoprogenitoras, osteoblastos, osteocitos y células de la superficie ósea no son más que estadios funcionales distintos de un mismo tipo celular con un origen mesenquimático.

### E-Osteoclastos

Por el contrario en el hueso aparece otro tipo celular que tiene su origen en la medula ósea y que pertenece al sistema monocito-macrófago. Se trata del osteoclasto. El citoplasma de estas células gigantes, miden de 40 a 150 micras, es acidófilo y presenta de 4 a 6 núcleos. Posee un área rugosa en la superficie de contacto con la trabécula ósea, que esta formada por numerosos pliegues de la membrana plasmática. Entre los pliegues hay gránulos electrodensos de calcio, y la periferia del área rugosa está fuertemente sellada al hueso en reabsorción, quedando allí una cavidad –la denominada laguna de Howship– con pH 4 a 5. Este medio ácido es imprescindible para el adecuado funcionamiento de colagenasas ácidas y otras hidrolasas que contienen sus abundantes lisosomas. Para ello disponen los osteoclastos de una ATPasa en la membrana plasmática del área rugosa, que es una bomba de H<sup>+</sup> (protones) que acidifica el área de contacto con el hueso en el espacio subosteoclástico, favoreciendo su descalcificación. La fuerte adhesión de la periferia de la membrana del osteoclasto en la laguna de Howship es aportada por integrinas presentes en su membrana, manteniendo compartimentalizadas a las hidrolasas en el espacio subosteoclástico.

Los osteoclastos participan en la reabsorción ósea, si bien carecen de receptores a hormona paratiroidea, sintetizada por las células principales de la paratiroides. Pero si que la poseen los osteoblastos, de manera que una vez que los osteoblastos y osteocitos de superficie o células de revestimiento óseo han dejado libre la superficie de las espículas o trabéculas óseas por digestión de la sustancia osteoide, los osteoclastos comienzan a degradar activamente la matriz ósea calcificada con consecuente liberación de los componentes inorgánicos (iones fosfato y calcio). Los osteoclastos tienen, en cambio, receptores para calcitonina, hormona elaborada por las células parafoliculares o células C de la glándula tiroides, que inhibe la actividad de los osteoclastos. El adecuado balance parathormona–calcitonina es crucial para el apropiado metabolismo óseo y control de la calcemia.

El armónico acoplamiento y balance de las células osteoformadoras y osteodestructoras (osteoclásticas) está también mediado por factores locales. Así los propios osteoblastos sintetizan parte de sus propias moléculas activadoras como las interleucinas (IL1, 3, 6 y 11), el factor de necrosis tumoral (TNF) y la familia de sus receptores (RANK, y su ligando RANKL), factores estimulantes de colonias sanguíneas granulo-monocíticas (GM-CSF) y la osteoprotegerina (OPG) que actúa como receptor señuelo, es decir se une al RANKL evitando la unión efectiva de ésta a RANK y por tanto inhibiendo la osteoclastogénesis.

Tras la remoción del hueso preexistente por parte del osteoclasto se realiza un recambio óseo por nuevos osteoblastos originados por mitosis y diferenciación de las células osteoprogenitoras o por la reactivación de las células bordeantes. (FIG.3)

### 2-MATRIZ ÓSEA

Está constituida por dos componentes principales: una matriz orgánica que significa el 35% del peso seco y un componente inorgánico que representa el 65%. La porción orgánica de la matriz u osteoide, esta formada por: fibras de colágeno, fundamentalmente de tipo I (90%) en forma de grandes haces; también contiene pequeñas proporciones de colágeno tipo III y IV. El 10 % restante está constituido por sustancias no colágenas; de ellas el 8% son glicoproteínas, fosfoproteínas y proteoglicanos. El 2% restante está representado por enzimas (fosfatasa alcalina, colagenasa, etc.), productos extravasados de la sangre y por factores de crecimiento (el factor osteoinductor–osteogenina-, TGFbeta, FGF, etc.) que tienen parte de su reservorio en la matriz ósea.

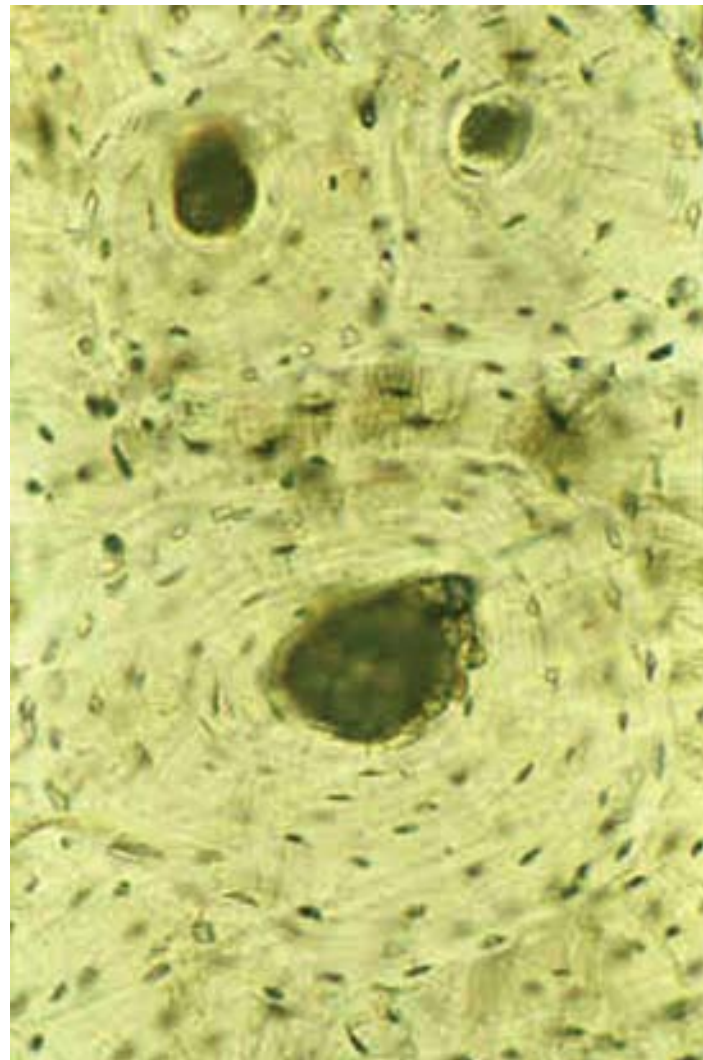


Figura 5.- Corte transversal por desgaste de un hueso compacto. En el observamos tres osteonas, con sus conductos de Havers en el centro y rodeado de laminillas óseas en las que identificamos los osteocitos.

Las sustancias de naturaleza no colágena más características de la matriz extracelular son básicamente tres:

- a) Glicoproteínas:
  - Osteonectina: se une a la fibra colágena y al cristal de hidroxipatita facilitando así los núcleos de crecimiento de los cristales.
  - Osteopontina: su función es similar a la fibronectina en el tejido conjuntivo común, es decir un mediador de la agregación celular; si bien en este caso se localiza específicamente en la matriz extracelular durante la osificación.
  - Sialoproteína ósea: se cree que se asocia a la osteopontina si bien su función específica aun se discute.
  - Proteína morfogenética ósea (BMP): promueve la proliferación celular.
- b) Proteínas que contienen ácido gamma carboxi-glutámico:
  - Osteocalcina o proteína Gla ósea: es un enlace del calcio al colágeno, mediado por cofactores como vitaminas K, B y C.
  - Proteína Gla de la matriz: se la asocia a la regulación de la homeostasis del calcio y se estimula por la vitamina D: Se localiza en la matriz ósea en la fase previa a la maduración.
- c) Proteoglicanos:
 

Son, en conjunto, las sustancias encargadas de favorecer y controlar el depósito de las sales de calcio. Los glicosaminoglicanos que entran a for-

mar parte de su composición son: el condroitínsulfato, el dermatánsulfato, el heparánsulfato y el hialuronan, también conocido como hialuronano o ácido hialurónico. De entre las asociaciones habituales que encontramos en el tejido óseo destacan:

- Biglicano o PGI: se ha identificado en la proximidad de las células endoteliales en el proceso de síntesis y depósito de la matriz ósea.
- Decorina o PGII: se ha descrito en la matriz ósea próxima a los tendones.

Entre los componentes minerales del tejido óseo, el 80% corresponde a cristales de hidroxiapatita; el 15% a carbonato de calcio y el 5% a otras sales minerales. Los cristales de apatita son más pequeños que los de otros tejidos calcificados, como el esmalte y dentina. Se disponen en íntima relación con las fibrillas de colágeno, con su eje longitudinal paralelo a dichas fibras.

### Osificación, tipos de proceso y hueso resultante

La osteogénesis se produce a partir del TC embrionario, llamado mesénquima y en la región cráneo-facial del ectomesénquima. Mineralización o calcificación es el proceso por el cual sobre la matriz orgánica del hueso se depositan sales minerales. FIG.4

#### 1-OSIFICACIÓN PRIMARIA Y HUESO NO LAMINAR

En la época embrionaria y hasta la juventud el proceso de la osteogénesis con la fase de síntesis de matriz orgánica y la posterior mineralización, se lleva a cabo donde no había hueso, es lo que se conoce como osificación primaria. Es un proceso rápido, la colágena se distribuye al azar, los osteocitos no tienen una distribución regular y el grado de mineralización no es muy alto. A este tipo de hueso se le denomina primario, reticular, plexiforme o no laminar. En el adulto solo aparecerá en circunstancias reparativas o patológicas.

Se conocen dos mecanismos de osificación primaria: 1) Intramembranosa, endoconectiva, o directa porque el tejido óseo se origina directamente en una lámina de mesénquima. 2) Endocondral, porque en el mesénquima, donde se originará el futuro hueso, aparece primero el cartílago hialino, que sirve de molde o modelo para que ulteriormente se desarrolle, también a partir del mesénquima, el tejido óseo.

En ambos tipos de osificación, la formación de hueso depende esencialmente de la producción de tejido óseo por los osteoblastos y su remoción, posterior, por los osteoclastos. También en ambos, el primer tipo de hueso que se forma es de colágena desordenada y disposición trabecular o hueso esponjoso. El mismo está conformado por amplios espacios, limitados por una red tridimensional de trabéculas y espículas, en donde posteriormente anidarán las células formadoras de sangre (medula ósea); por el contrario si los requerimientos mecánicos aumentan se constituyen zonas más compactas con alta densidad de tejido óseo y escasos espacios por los que transcurren vasos sanguíneos.

Mientras que en los huesos planos del cráneo, la osteogénesis es de variedad endomembranosa, para osificar los huesos largos, cortos e irregulares se requiere un proceso más complejo, la osificación indirecta o endocondral. Tomaremos como modelo la osificación de un hueso largo. En él y tras una primera fase de formación de un molde cartilaginoso hialino, en la zona central de la futura diáfisis ósea, en el llamado núcleo de osificación primaria, sucede un proceso complejo de hipertrofia de los condrocitos, causado por el acumulo de glucógeno intracitoplásmico, y por mecanismos enzimáticos que modifican las condiciones del medio extracelular y por la participación de las vesículas matriciales se produce la mineralización de la matriz condral. Ello hace imposible la nutrición por difusión que comporta la muerte de los condrocitos, persistiendo las

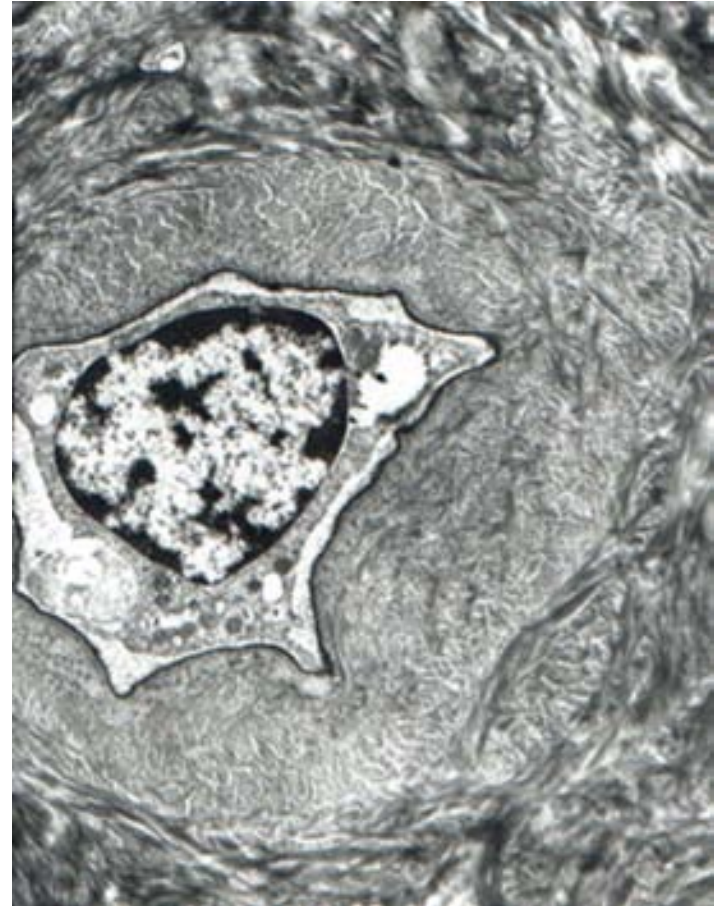


Figura 6.- Corte transversal observado a microscopía electrónica de un hueso laminar o mauro. En el centro de la imagen vemos un osteocito, rodeado por colágena que cambia la dirección en las dos láminas que observamos.

oquedades irregulares de sus cápsulas. Corresponde a la zona de cartílago hipertrofiado y calcificado. Las células en necrosis liberan factores angiogénicos.

A continuación, desde el pericondrio del molde cartilaginoso una yema vascular penetra y rellena las cavidades anfractuosas resultantes del proceso descrito, portando células osteoprogenitoras que inician sobre la matriz condral mineralizada la síntesis de hueso primario. La trabécula así resultante es una trabécula mixta, el centro es matriz de cartílago, violáceo, y la periferia matriz ósea, eosinofílica, ambas mineralizadas. La primera carece de células y la segunda por el contrario posee osteocitos en su interior y osteoblastos activos en su superficie. El hueso neoformado es de tipo esponjoso, aloja la cavidad medular primitiva que será posteriormente colonizada por progenies hemopoyéticas de la medula ósea.

En tanto, en la capa conectiva superficial del molde cartilaginoso, el pericondrio, ahora transformado en periostio, las células osteoprogenitoras que se han diferenciado en osteoblastos, comienzan a depositar sustancia osteoide que se calcifica, formándose así hueso de origen perióstico (collarete diafisario o perióstico). El pericondrio se va transformando en esa región paulatinamente en periostio. De su área más vascularizada ha surgido el brote o yema perióstica, que avanza ramificándose hacia el centro primario, o diafisario de osificación, donde hay matriz cartilaginosa calcificada. Es posible que en este proceso secuencial estén implicados diversos mecanismos de quimiotaxis con participación de otros factores de crecimiento. El proceso de osificación se extiende en forma divergente hacia ambos lados del centro primario

## Formación continuada

de osificación, llegando a alcanzar los extremos de la misma, donde limita con las futuras epífisis.

En estas epífisis se inician, semanas o meses más tarde, los centros secundarios, que por un proceso similar dan lugar al hueso esponjoso epifisario, persistiendo una capa de cartílago en su superficie que se transformara en el cartílago articular. Entre epífisis y diáfisis, resta un área diferenciada para el crecimiento en longitud del hueso, es la metáfisis. El proceso de osificación endocondral a este nivel tiene la particularidad de que se produce siguiendo el eje axial del hueso.

### 2-OSIFICACIÓN SECUNDARIA Y HUESO LAMINAR

Cuando van aumentando los requerimientos mecánicos el hueso primario más débil debe ser removido y sustituido por nuevo hueso. A este hueso con mayor riqueza mineral, de colágena ordenada, con osteocitos regularmente dispuestos y que se forma más lentamente durante el resto de la vida del individuo, tras quitar hueso debilitado o defectuoso de donde existía previamente, se le denomina hueso secundario, maduro, laminar u osteonico. La unidad estructural de este tipo de hueso se conoce como laminilla ósea y es de 3 a 7 micras de espesor. Las laminillas óseas se disponen en forma concéntrica alrededor de un conducto central longitudinal donde se encuentran vasos sanguíneos siendo característico que en las láminas adyacentes la orientación de las fibrillas de colágena cambie de dirección. Este cilindro de laminillas ósea forma una osteona o sistema de Havers. El número de laminillas en cada osteona es variable, de 5 a 15. El conducto central de Havers de cada osteona se comunica con los de otros ostiones a través de conductos de variable orientación (transversales, más o menos oblicuos) denominados conductos de Volkmann. Estos también comunican con el endostio, que recubre cavidades vasculares y el canal medular, y el periostio. Los conductos de Volkmann difieren de los conductos de Havers por no estar rodeados de laminillas óseas concéntricas. Ambos conductos contienen vasos sanguíneos, linfáticos y nervios de los que depende el metabolismo del hueso.

En el hueso compacto se observa además los sistemas circunferenciales externo e interno compuestos por un número variable de laminillas óseas más compactadas por debajo del periostio y del endostio que son paralelas a su superficie. Y entre estos sistemas y los sistemas de Havers, se encuentran los sistemas intersticiales, en el cual las laminillas óseas suelen carecer de conductos de Havers. Los sistemas intersticiales son consecuencia visible del lento pero continuo proceso de remodelación que tienen lugar no sólo durante el crecimiento, sino durante toda la vida del individuo, y corresponden a restos de osteonas más antiguas en diversos estadios de reabsorción. FIG. 5

En el hueso se puede apreciar un delicado ajuste entre la estructura y la función, pues la organización de las dos variedades de tejido óseo es una respuesta a las presiones o fuerzas que el hueso debe soportar. La distribución de ambas formas de tejido óseo varía en los distintos tipos de huesos. Así, la diáfisis de los huesos largos está formada en su mayor parte por tejido óseo compacto. En cambio, el tejido óseo que rodea la cavidad medular de la diáfisis limitada por el endostio, es esponjoso. Las epífisis de los huesos largos, así como las de los huesos cortos, están compuestas por tejido óseo esponjoso cubierto por una capa de hueso compacto. A su vez, los huesos planos están formados por dos capas delgadas de hueso compacto que cubren a ambos lados una capa de hueso esponjoso de forma irregular que recibe el nombre de diploe. Las capas de tejido óseo compacto se llaman tablas interna y externa, y son características de los huesos del cráneo. El tejido óseo esponjoso también está formado por laminillas óseas, pero son de forma discoidal, las que

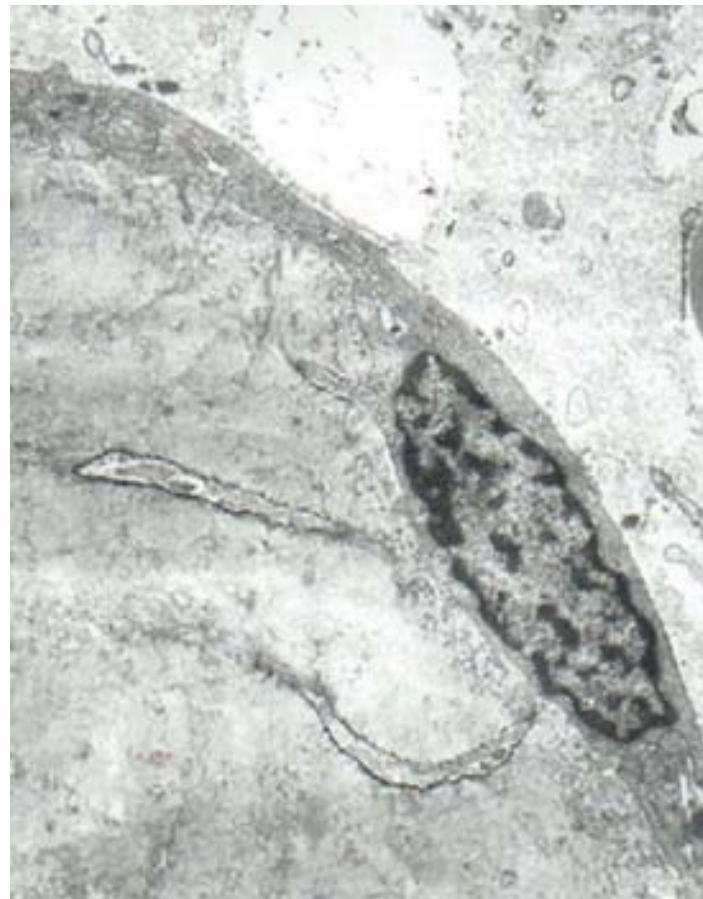


Figura 7.- Corte ultrafino de una célula bordeante del hueso, en la que podemos observar su escaso citoplasma, con aisladas organelas, y sus prolongaciones que se introducen en el interior de la matriz.

constituyen trabéculas o espículas pequeñas de forma irregular, a veces muy delgadas. Las trabéculas se unen entre sí formando una red irregular que contiene cavidades relativamente grandes donde se encuentran médula ósea roja o amarilla dependiendo de la edad del sujeto y del hueso que se trate. La médula ósea roja, con capacidad hematopoyética, es más abundante en la niñez, mientras que en los adultos persiste especialmente en el diploe, esternón y crestas ilíacas. El tejido óseo esponjoso no contiene conductos de Havers, aunque ambas variedades de tejido óseo, compacto y esponjoso, se continúan entre sí. FIG. 6

### Cubiertas conjuntivas del tejido óseo

Todas las superficies óseas, tanto las externas que rodean al conjunto de la pieza ósea como las internas (osteónica, medular etc.), están revestidas por tejido conjuntivo en el que destaca su vascularización y la presencia de células osteoprogenitoras. Por su topografía y su estructura histológica hemos de diferenciar dos tipos de cubiertas conjuntivas:

#### 1- PERIOSTIO

Se encuentra limitando la superficie externa de los huesos. Está formado por dos capas:

A- Externa: es una capa delgada de tejido conectivo fibroso denso, capa fibro-elástica. Posee vasos perforantes que se ramifican hacia el interior de los conductos de Volkmann. Desde ella surgen también fibras de colágeno hacia la parte interna del hueso, formando las fibras de Sharpey, que anclan el hueso al periostio.

B- Interna: está formada por tejido conectivo laxo vascularizado, en el

que se localizan las células osteoprogenitoras, inactivas desde el punto de vista osteogénico, que por su histología se asemejan a los fibroblastos y las células formadoras de hueso u osteoblastos en contacto directo con el hueso. Después de finalizado el periodo de crecimiento, los osteoblastos se transforman en este tipo de células de recubrimiento óseo, sin actividad osteogénica, que forman una capa plana sobre la superficie ósea. En caso de fractura ósea, las células osteoprogenitoras se diferencian de nuevo a osteoblastos al igual que las células de recubrimiento óseo, y forman nuevo tejido óseo durante el proceso de reparación.

No hay revestimiento perióstico en los extremos de los huesos largos, revestidos por cartílago articular, en los sitios donde los ligamentos y los tendones se insertan en el hueso y sobre la superficie de la rotula y de otros huesos sesamoideos, en el cuello de fémur y en la región subescapular.

## 2-ENDOSTIO

Es mucho más fino que el periostio y se compone de una única capa de células planas de recubrimiento óseo con escasas fibras conjuntivas asociadas, que cubren la superficie del hueso sobre las trabéculas esponjosas y el espacio medular, además de los conductos de Havers y de Volkmann. FIG 7

## Modelación y remodelación ósea

La modelación es el conjunto de procesos de osificación primaria (endonecrotiva y endocondral) y secundaria que se llevan a cabo para alcanzar el tamaño y forma definitiva del hueso.

Se conoce como remodelación ósea a los lentos pero permanentes procesos en la estructura interna del tejido óseo osteonico, que no afectan por tanto al tamaño y forma, y que se llevan a cabo para mantenimiento del hueso (10% de su masa anualmente) si se dan las adecuadas condiciones biomecánicas a lo largo de la vida. En dichos procesos participan todas las células óseas y lo hacen de manera coordinada en el tiempo y en el espacio, cooperando en equipos llamados unidades de remodelación ósea o unidad multicelular básica. En el caso del hueso cortical los osteoclastos, en número de 2-3, a modo de trépanos y a un ritmo de hasta 50 micras por día, avanzan horadando un túnel en el hueso compacto, seguidos de cerca por un conjunto de osteoblastos. Estos van depositando sustancia osteoide que se calcifica, recubriendo y estrechando el túnel con capas sucesivas. Queda finalmente formado un nuevo conducto de Havers, con su sistema de laminillas concéntricas. En el caso del hueso esponjoso la actividad clástica se limita a la superficie de la trabécula.

## Respuestas normales y patológicas del tejido óseo

En los individuos jóvenes se forma más hueso que aquel que se destruye hasta alcanzar el tamaño definitivo de los huesos finalizando el proceso de modelación. En el adulto el balance óseo del proceso de remodelación es equilibrado y en la etapa senil el balance es negativo, se pierde más hueso del que se alcanza a regenerar (osteoporosis) incrementándose el riesgo de fracturas. El equilibrio de las hormonas paratiroidea y calcitonina constituyen un importante mecanismo de regulación de la calcemia, pero no son las únicas que actúan sobre el hueso: la vitamina D y las hormonas sexuales (estrógenos en la mujer; andrógenos, en el hombre). De ahí la relación entre menopausia y osteoporosis.

En cualquier etapa de la vida pero incrementándose en la etapa senil por esas características típicas del hueso, las piezas óseas se afectan por la acción de traumatismos dando lugar a trazos de fractura, mas o menos amplios. La reparación de las mismas se produce por la formación de un

callo óseo, que es un tejido de granulación que une los fragmentos y forma el molde donde se constituirá el nuevo tejido óseo. Es imprescindible que el periostio mantenga su vitalidad para asegurar la reparación de la fractura, es decir, es necesario que el periostio quede adherido al hueso, a través del anclaje mecánico que brindan las fibras de Sharpey, pues a través de él llegan los vasos nutricios.

La transformación de la sustancia osteoide en tejido óseo depende en parte de la vitamina D. Su carencia puede llevar a una enfermedad llamada raquitismo. El aporte adecuado de calcio y de fósforo con la alimentación son imprescindibles para una adecuada acción de la vitamina D. La insuficiencia de vitamina C en la dieta es causa de escorbuto, perturbándose todas las variedades de tejido conjuntivo en general. Fibroblastos y osteoblastos requieren de ácido ascórbico para la síntesis de la hidroxiprolina y en su carencia no sintetizan colágeno adecuadamente. Las heridas no cicatrizan y el osteoide es defectuoso. Como también se alteran las membranas basales, se producen hemorragias.

Además los huesos se alteran en numerosas enfermedades por causas infecciosas (osteomielitis, tuberculosis) y tumores. El diagnóstico microscópico de estas afecciones requiere también un conocimiento preciso de la histología y del desarrollo del hueso.

## Características generales del hueso alveolar

La función primordial del hueso alveolar es albergar la porción radicular de las piezas dentarias y mantenerlas firmemente insertas en el cemento mediante las fibras del ligamento periodontal. Así, de esta manera, permite resistir las fuerzas que se producen ante los contactos con los elementos dentarios antagonistas y con la lengua, durante la masticación, la deglución y la fonación.

El hueso alveolar participa de otras actividades propias del tejido óseo ya descritas como ser un reservorio de calcio. Y al igual que otros tejidos óseos del organismo reacciona frente a un estrés mecánico con una remodelación que sigue las características anteriormente indicadas. Si bien con la edad las paredes alveolares se hacen irregulares y disminuye el número de células, y los procesos regenerativos se enlentecen. De igual manera durante la infancia la médula ósea de la esponjosa alveolar participa de la actividad hematopoyética del organismo, fundamental para la formación de los elementos de la sangre, y esta desaparece posteriormente.

Anatómicamente los procesos o apófisis alveolares se anclan, sin un límite bien definido a nivel macroscópico, en ambos huesos maxilares. Pero existen notables diferencias en cuanto al origen, función y estructura microscópica. A nivel de los procesos alveolares se delimitan unos espacios de aspecto cónico que se denominan alveolos dentarios y en los que se alojan, en condiciones normales, las raíces dentarias. Y tal como habíamos comentado esas apófisis óseas se desarrollan y modifican al mismo tiempo que los dientes.

En cada alveolo podemos distinguir dos tipos de paredes o bordes alveolares: las tablas alveolares libres (vestibular, palatina o lingual), y los tabiques alveolares, que se denominan interdentarios cuando separan los alveolos de dos dientes vecinos, e interradiculares si separan dos o más áreas cónicas de un mismo alveolo en donde irán alojadas las diferentes raíces de una misma pieza dentaria.

Si observamos las tablas alveolares presentan una forma triangular cuya base se continúa con el cuerpo del maxilar respectivo. El vértice superior corresponde a la cresta alveolar, la cual está ubicada 1-2 mm por debajo del cuello anatómico del diente. Se denomina compacta o cortical perióstica a la cara libre, mientras que la cara interna o alveolar se conoce como cortical o compacta periodóntica. Ambas están constituidas por

tejido óseo compacto la externa tapizada por periostio y la interna en continuidad con el ligamento periodontal. Ambas compactas se coniuan una con la otra a nivel de la cresta alveolar, mientras que en por debajo entre ambas encontramos tejido óseo esponjoso o trabecular. La cresta alveolar y la compacta perióstica están tapizadas por encía y la unión dentogingival.

En esta estructura general se observan pequeñas diferencias topográficas: en general, los rebordes alveolares son más potentes que los del maxilar superior; pero en la región molar mandibular la tabla alveolar es mas gruesa en vestibular, mientras que en el resto de las regiones, maxilares y mandibulares, esta tabla vestibular es mas fina que la palatina y lingual, respectivamente, en especial en la regiones anteriores (incisivas y caninas) en donde prácticamente solo encontramos hueso compacto. Sin embargo el tejido óseo esponjoso es muy abundante a nivel de los tabiques interradiculares e interdentarios de los alveolos, en donde esta revestido por dos corticales compactas, ambas periodónticas y que se unen en la cresta del tabique, que está tapizada por encía.

### Estructura microscópica del hueso alveolar

La compacta de origen periodóntico, llamada también lámina dura, es muy evidente a nivel radiográfico por su alta densidad y desde el punto de vista histológico está constituida por un tejido óseo de tipo laminar, maduro o secundario. Sus diferentes unidades o laminillas óseas corren paralelas a la superficie alveolar. Además de estas denominaciones se describe como lámina cribosa porque se encuentra perforada por múltiples pequeños forámenes (similares a los conductos de Volkmann descritos para el patrón general de hueso maduro) por las que entran vasos y nervios desde el conjuntivo periodontal. De este mismo ligamento periodontal numerosos haces de fibras intensamente calcificadas (fibras de Sharpey), se insertan en el hueso, por lo que también a este huso se le conoce como hueso fasciculado. Y por último con criterios funcionales se denomina hueso de inserción.

El resto del tejido óseo que compone el hueso alveolar, se les denomina hueso de sostén. Concretamente comprende:

-La compacta de origen perióstico está formada por tejido óseo laminar penetrado por una moderada cantidad de fibras del periostio y representa la continuación de la cortical del hueso maxilar. Ambas capas compactas, periodóntica y periostica, en su región interna presentan unas laminillas mas irregulares que se originan por aposición interna desde los espacios medulares constituidos por hueso esponjoso. En algunas zonas de mayor grosor podemos observar osteonas o sistemas de Havers, mientras que otras laminillas se continúan con las trabéculas del hueso esponjoso medular.

-El tejido óseo esponjoso o medular, que se encuentra muy desarrollado en los tabiques alveolares y se presenta también en algunas de las tablas, tal como hemos descrito previamente. Se trata de una estructura compleja constituida por trabéculas óseas anastomosadas que delimitan amplios espacios medulares. Las trabéculas se encuentran tapizadas, como en el resto de nuestros huesos esponjosos, por endosito. Y desde el punto de vista estructural se trata de un hueso de tipo laminar, que transcurren paralelas a la superficie de la trabécula y que solo en las de mayor grosor pueden contener sistemas de Havers. El distribución y grosor de las trabéculas, siguen un patrón genéticamente determinado, ya que están orientadas de manera que puedan soportar con garantías de éxito las fuerzas que impactan sobre los huesos maxilares. Los estudios radiográficos de estos huesos maxilares, definen dos patrones de trabéculas:

-Trabéculas de tipo I: regulares, gruesas y horizontales, típicas del ma-

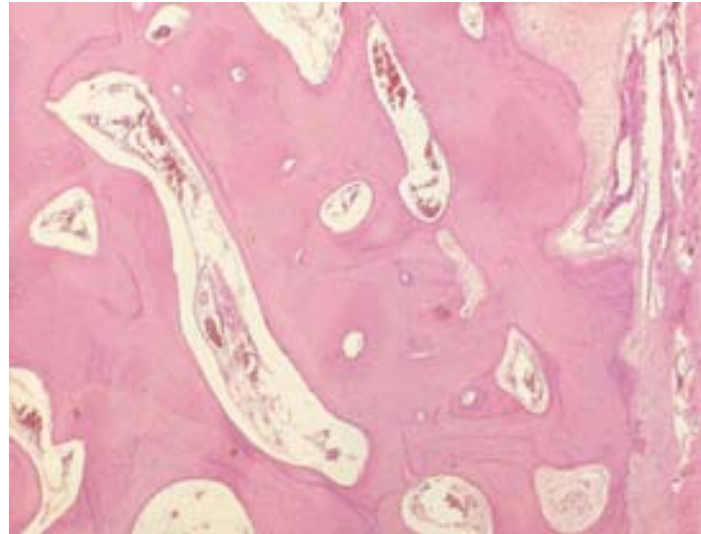


Figura 8. - Imagen a pequeños aumentos, teñido con hematoxilina-eosina, de una superficie dentaria y su periodonto de inserción: el cemento, el ligamento periodontario y el hueso alveolar. La porción más próxima al diente se corresponde con la compacta periodóntica y en el centro el hueso esponjoso con sus espacios medulares

xilar inferior.

-Trabéculas de tipo II: finas, delicadas y dispuestas irregularmente; son comunes en el maxilar superior. FIG.8

### Particularidades del proceso de formación del hueso alveolar

La formación del hueso mandibular se inicia alrededor de la séptima semana de vida intrauterina, y poco después lo hace el maxilar. El estímulo para la formación de los bordes alveolares a partir del ectomesénquima folicular lo proporcionan los dientes en crecimiento. La pared ósea de los alveolos, a modo de cestilla ósea, comienza a desarrollarse cuando se ha completado la corona y se inicia el crecimiento de la raíz de los folículos dentarios que se alojan en su interior.

El proceso de osificación es por tanto de tipo intramembranosa, originándose un tejido óseo inmaduro que más adelante es remodelado y sustituido por tejido óseo secundario o laminar. Las áreas mesenquimatosas que permanecen entre las trabéculas óseas se diferencian posteriormente en médula ósea. Todo ello ocurre en el caso de la mandíbula con una especificidad: existe un eje cartilaginoso que se denomina cartílago de Merkel, que ostenta un papel de tutor o director del proceso, sin participar activamente en la osificación. Este tipo de proceso se denomina yuxtaparacondral.

El área articular también tiene un patrón mas complejo de osificación: mientras que la superficie articular es de osificación endoconectiva, el área condilar es de osificación endocondral.

La actividad de modelación y remodelación es importante en los huesos maxilares y particularmente en el alveolar, siendo particularmente intenso en el período de reemplazo en que los dientes deciduos son sustituidos por los permanentes. Durante este proceso se produce la resorción de los bordes alveolares de los dientes primarios, alveolos mas pequeños, y se originan otros nuevos para alojar la o las raíces, siempre mayores, de los dientes secundarios. También el remodelado de los huesos maxilares y de sus procesos alveolares participa de las actividades de crecimiento y reacomodación de los maxilares a lo largo de la vida, en especial cuando adquieren su tamaño definitivo durante la adolescencia. Pero a esos procesos típicos de los primeros

años se le van añadiendo las modificaciones propias de la migración mesial que se produce con la edad, o las que comportan las pérdidas de hueso alveolar tras las pérdidas dentarias.

## Conclusiones

El mantenimiento del tejido óseo, maxilar, mandibular y alveolar y su sustitución o reparación, en caso de alteración patológica o pérdida, es imprescindible en el buen funcionamiento del sistema estomatognático, tanto por exigencias funcionales (masticatoria, deglutoria, fonatoria) como estéticas.

El hueso es una estructura sujeta a un continuo proceso de renovación, de manera que la neoformación ósea sustitutiva o incrementada con respecto a las pérdidas resulta necesaria, pudiendo no ser suficiente la producida por mecanismos fisiológicos y ser conveniente una estimulación exógena. A este respecto existe una amplia serie de materiales, mecanismos y técnicas terapéuticas, capaces de determinar un incremento del proceso de osificación. Así en estos momentos se plantean distintos sistemas estimuladores de la formación de nuevo hueso: utilización de materiales bioactivos, capaces de inducir una respuesta biológica en el tejido vivo adyacente (osteoconductores y osteoinductores); acción de los factores generales y locales (hormonas y citocinas); y la acción mecánica por tratamientos quirúrgicos de regeneración tisular guiada y ortodóncicos-quirúrgicos. Todos estos sistemas de modificación de la respuesta ósea para determinar un incremento del hueso formado, en particular en el área oral, se deben basar en un buen conocimiento del tejido óseo y se deben además contrastar con un análisis estructural del hueso neoformado, su nivel de organización tanto a microscopía óptica como electrónica, su gra-

do de mineralización así como en la valoración comparativa de los distintos procedimientos en relación con su utilidad en la práctica clínica para determinar su efectividad.

Preguntas para obtención de créditos de Formación Continuada "Actividad acreditada con 0,5 créditos" (INSERTAR LOGO ESORIB)

DIRIGIRSE A: [www.esorib.com](http://www.esorib.com)

Artículo: "Aspectos estructurales del Periodónto de Inserción: Estudio del tejido óseo"

**1. Defina el concepto de osteoide y describa las células implicadas en su proceso formativo**

**2. Origen, morfología y significado funcional de las células de las bordeantes del hueso**

**3. Características estructurales y funcionales de las unidades de remodelación ósea**

**4. Concepto de osificación secundaria**

**5. Defina el proceso de osificación endocondral y el tipo de hueso resultante**

**6. Estructura microscópica de la osteona**

**7. Compacta periodóntica: concepto, estructura y localización**

**8. Tipos de trabéculas del hueso esponjoso alveolar**

**9. Estructura del periostio y su papel en los procesos de formación de hueso**

**10. Principales glicoproteínas del tejido óseo y su significado funcional**

## Bibliografía

1. Aynard A y Carda C. Tejido óseo. En: Aynard, Rovasio y Valentich. Histología y embriología del ser humano: bases celulares y moleculares. Editorial medica Panamericana. 2008.
2. Boyle WJ, Simonet WS, Lacey DL. Osteoclast differentiation and activation. Nature 2003; 423: 337-342.
3. Carda C, et al. Osteoprotegerin (OPG) and RANKL expression and distribution in developing human craniomandibular joint. Tissue & Cell 2005;14: 134-139.
4. Di A Brown ME et al. CFTR regulates phagosome acidification in macrophages and alters bactericidal activity. Nat Cell Biol 2006;8: 933-944.
5. Ducy P, Schinke T y Karsenty G. The osteoblast: A sophisticated fibroblast under central surveillance. Science 2000; 289:1501-1504.
6. Gómez de Ferraris ME y Campos Muñoz A Histología y embriología Bucodental. Editorial medica Panamericana. 2008.
7. Hadjidakis DJ, Androulakis II. Bone remodeling. Ann NY Acad Sci 2006; 1092:385-396.
8. Harada S, Rodan GA. Control of osteoblast function and regulation of bone mass. Nature 2003; 423: 349-355.
9. Huiskes R. If bone is the answer, then what is the question? J. Anat 2000; 297: 145-156.
10. Linkhart TA, Mohan S, Baylink DJ. Growth factors for bone growth and repair: IGF, TGF and BMP. Bone 1996; 19: 1-12.
11. Manolagas SC. Birth and death of bone cells: basic regulatory mechanisms and implications for the pathogenesis and treatment of osteoporosis. Endocr Rev 2000; 21: 115-117.
12. Patel MS, Karsenty G. Regulation of bone formation and vision by LRP5. N Engl J Med 2002; 346: 1572-1574.
13. Rodan GA. Introduction to bone biology. Bone 1992; 13: 3-6.
14. Rodan GA. Osteopontin overview. Ann. N.Y. Acad. Sci 1995; 760: 1-5.
15. Sodek J et al. Novel functions of the matricellular proteins osteopontin and osteonectin/ SPARC. Connect Tissue Res 2002; 43: 308-319.
16. Teitelbaum SL. Bone resorption by osteoclasts. Science 2000; 289: 1504-1508.
17. Young MF et al. Structure, expression and regulation of the major noncollagenous matrix protein of bone. Clin orthop 1992; 281: 275-294.