

15

OSIFICACIÓN ENDOCONDRALE. FORMACIÓN DE UN HUESO LARGO A PARTIR DE MOLDE CARTILAGINOSO

ESTRUCTURA DEL TEMA:

- 15.1 Generalidades.
- 15.2 Osificación endocondral.
- 15.3 Formación y crecimiento de un hueso largo.

15.1. GENERALIDADES

Dentro de la osificación primaria encontramos dos mecanismos de formación de hueso por primera vez:

- Endoconectiva (tema anterior).
- Endocondral.

Las diferencias entre las osificaciones endoconectiva y endocondral corresponden a las acciones que debe realizar el cartílago para pasar a hueso. En realidad, los procesos básicos son iguales.

Las vértebras, huesos de la bóveda craneal, pelvis y los huesos del esqueleto axial (huesos largos) se forman de esta forma.

15.2. OSIFICACIÓN ENDOCONDRALE

Se dispone de un molde de cartílago constituido por condrocitos y matriz condral. Por fuera se encontraría el pericondrio. En las diferentes partes del cartílago encontramos, antes de que aparezca el hueso, unos cambios (**cambios en los núcleos de osificación primaria endocondral**):

- Los condrocitos aumentan de tamaño, se hipertrofian y esto conlleva a que algunos núcleos se hinchen y a que otros se vuelvan pignóticos (pequeños). El citoplasma empieza a vacuolarse (vacuolas de glucógeno).
- Simultáneamente va a empezar a mineralizarse la matriz condral, en parte por la liberación de vesículas matriciales.
- Los condrocitos se hinchan porque la difusión de los nutrientes se ve dificultada por la presencia de cristales de hidroxapatita, intentando alimentarse mejor.
- Rápidamente la matriz se mineraliza y los condrocitos se atrofian, quedando las grandes lagunas de los condrocitos vacías (condrocele) y la matriz condral mineralizada. Es más basófila.
- Por acción lítica, parte de la matriz se destruye, quedando espacios relativamente grandes rodeados de **matriz condral mineralizada**. Desde el pericondrio empiezan a aparecer células mesenquimáticas indiferenciadas que se van a transformar en células osteoprogenitoras. Los vasos del pericondrio penetran aprovechando los huecos de la matriz al interior del hueso (**yemas vasculares**). Las yemas vasculares arrastran un tejido conjuntivo donde aparecen las células osteoprogenitoras. Las células osteoprogenitoras dan lugar a osteoblastos en el interior de los huecos. Estos

osteoblastos aprovechan la matriz condral mineralizada, se sitúan en los bordes y forman **osteoides**. Progresivamente, el osteoide:

- Aumenta de tamaño.
- Atrapa células en su interior (**osteocitos**).
- Se mineralizará.

Se forma hueso sobre una matriz condral mineralizada. Se forma una **esponjosa primaria** que tiene un eje de esta matriz condral mineralizada, diferente de la esponjosa primaria de osificación directa, que se forma sin estas **líneas directrices**.

El osteoide se mineraliza, y se observa al microscopio una esponjosa primaria desmineralizada. Se puede ver una matriz condral mineralizada más basófila y la matriz ósea desmineralizada artificialmente más eosinófila y con los osteocitos, rodeada de osteoblastos.

Simultáneamente aparecen osteoclastos que eliminan el hueso no laminar para formar posteriormente hueso laminar.

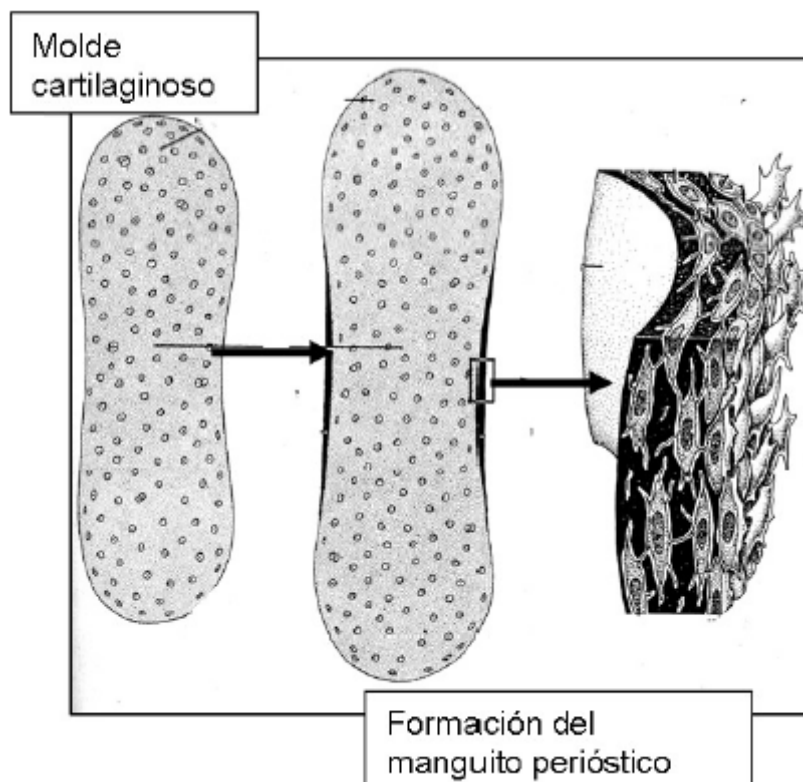
Si debe compactarse el hueso todas las células osteoprogenitoras se transformarán en osteoblastos y estos en osteocitos.

15.3. FORMACIÓN Y CRECIMIENTO DE UN HUESO LARGO

En el embrión aparece inicialmente un molde cartilaginoso (condrocitos, matriz condral... rodeado de pericondrio) a los 2 ó 3. Pero... ¿por qué el molde inicial es de cartílago? Porque es un tejido que crece intersticial y aposicionalmente manteniendo la forma y dichas formas de crecimiento suceden de forma rápida.

Tras ese molde cartilaginoso, aparece un molde cartilaginoso más grande. En dicho molde...¿qué parte se osifica en primer lugar? Lo que se denomina **núcleo de osificación primaria** o **diafisiario**. Conlleva dos procesos diferentes:

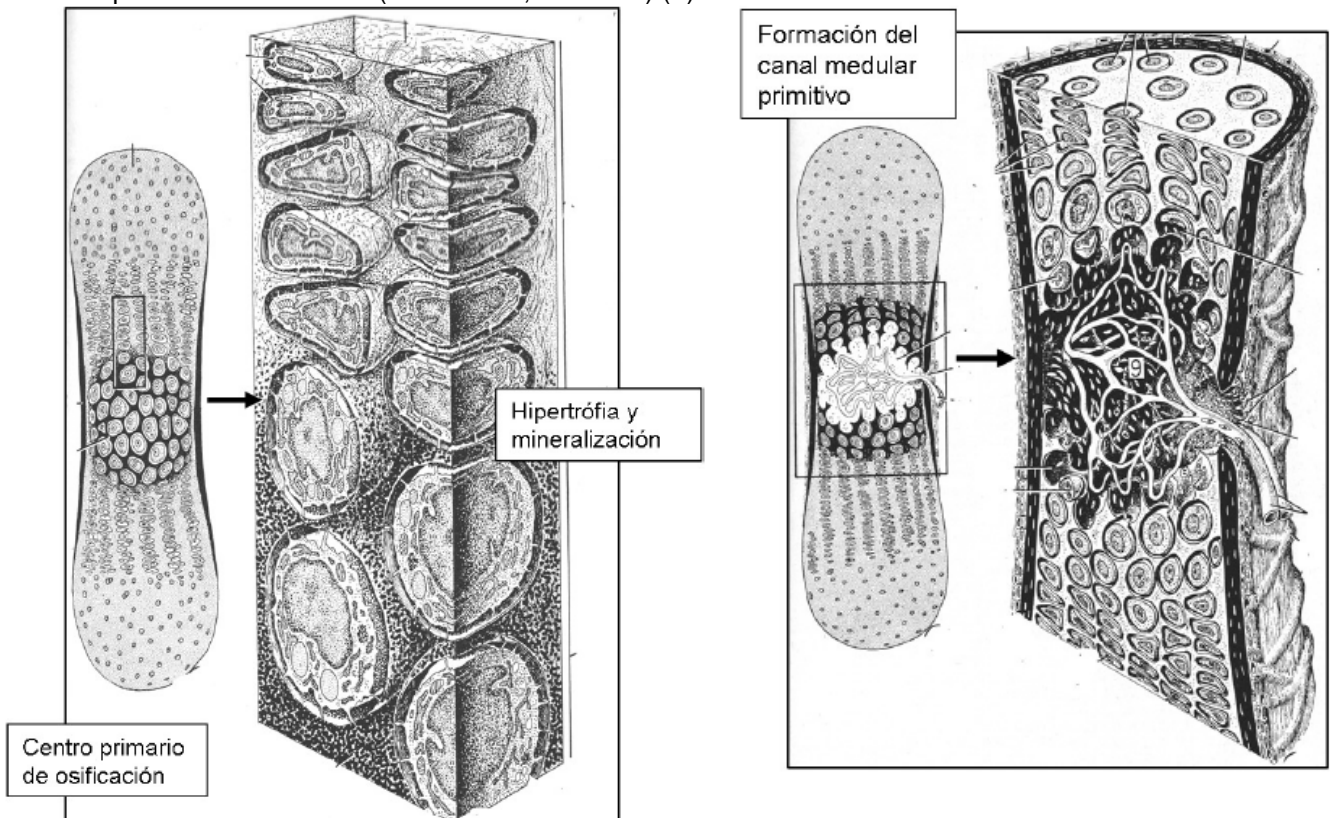
- En la mesodiáfisis (porción central de la diáfisis) empieza a formarse por osificación primaria directa (endoconectiva) el **manguito perióstico** o collar diafisiario. Desde este pericondrio, células mesenquimáticas adquieren la potencialidad de transformarse en osteoprogenitoras, estas en osteoblastos y estos en osteocitos cuando se rodean de osteoide, para formar hueso primario (no laminar). El tejido que recubre el manguito perióstico ya no sería pericondrio, sino periostio.



- Simultáneamente a este proceso, en el centro de la mesodiáfisis empiezan a hipertrofiarse los condrocitos, debido a la mineralización de la matriz, para morir posteriormente. Se digiere por acción lítica parte de la matriz condral mineralizada. Desde el periostio, una yema vascular rellena los huecos que se forman y debido a la migración de células osteoprogenitoras inmersas en la capa conjuntiva perivascular de esas yemas vasculares, se comienza a formar hueso inmaduro por parte de dichas células osteoprogenitoras: → osteoblastos → osteoide → osteocitos → mineralización. Se forma por tanto, hueso, a partir de un molde de cartílago: osificación endocondral.

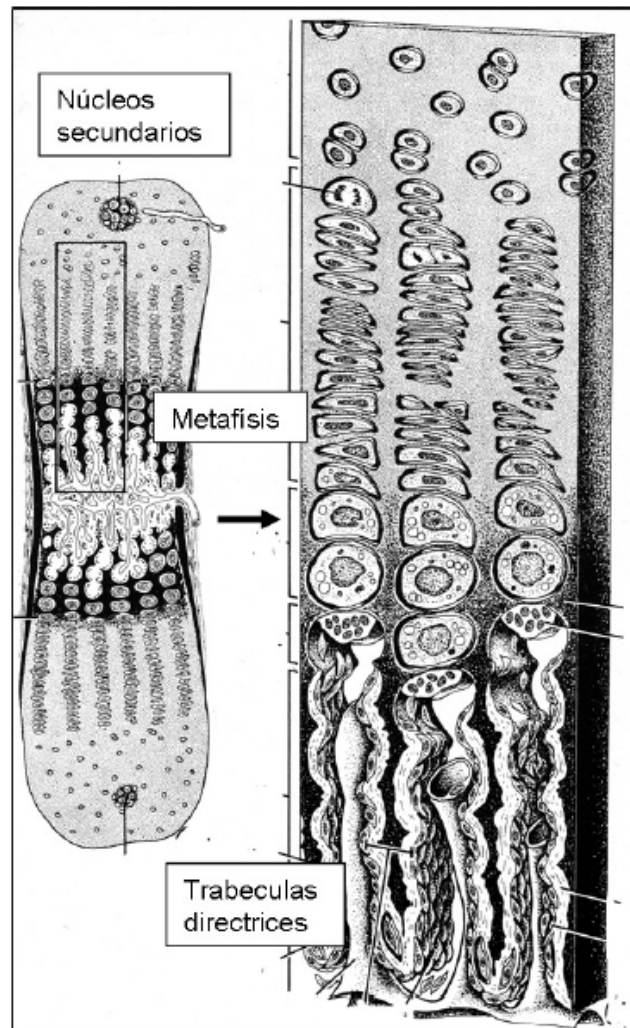
A continuación, el proceso descrito anteriormente se expande de forma lineal ascendente y descendente. El manguito perióstico crece en longitud. Las yemas vasculares siguen penetrando en el cartílago y a través de ellas migran las células osteoprogenitoras que madurarán a células productoras de hueso (osteoblasto, osteocito) (↓).

La mayoría de este hueso formado en el centro se reabsorbe y no se vuelve a formar, para formar el canal medular que será rellenado por la médula ósea sanguínea (↓).



En el 9º mes aparece el núcleo de **osificación secundario** o **epifisiario**, y suele aparecer el superior antes que el inferior (si posee dos epífisis). ¿En que consiste? Se osifica endocondralmente y de forma radialmente, no ascendente. Los condrocitos del centro de la epífisis se hipertrofian, se atrofian, entran los vasos y se forma el osteoide y se mineraliza. El hueso se expande de forma radial hasta dejar la zona superior y/o inferior cubierta de cartílago que dará origen al cartílago articular.

También deja una zona de cartílago que separará el hueso diafisiario del epifisiario. Esta es la denominada región metafisiaria o **metáfisis**. Las **metáfisis** serán las zonas de crecimiento del hueso en longitud a lo largo de nuestra vida hasta los 20 – 25 años. Primero se cierra la metáfisis inferior y posteriormente la superior.



En las metáfisis aparece una formación de hueso por osificación endocondral de crecimiento en longitud. Suponen una serie de zonas en la metáfisis.

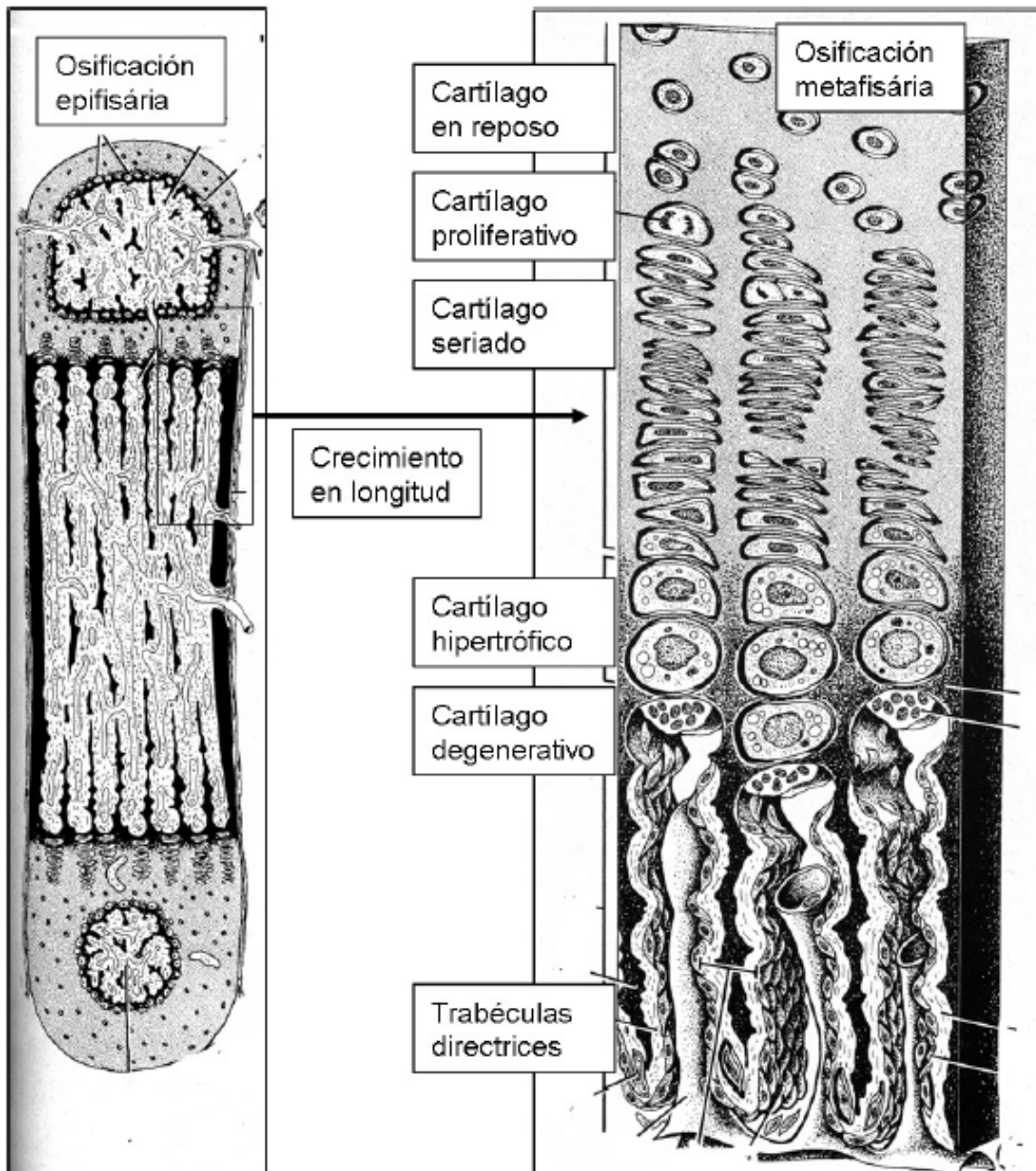
- En la parte superior hay una *zona de reposo* compuesta por matriz condral y condrocitos en reposo.
- Bajo esta capa hay una capa de *cartílago proliferativo, seriado o en pila de monedas*. Se observan grupos isogénicos lineales longitudinales. Entre estos grupos hay matriz condral.
- Por debajo se encuentra la *zona de cartílago maduro o activo*, donde hay unos pocos condrocitos que sintetizan la matriz alrededor de ellos.
- Rápidamente nos encontramos la *zona de cartílago hipertrófico*, donde se está mineralizando la matriz condral, y los condrocitos mueren por la falta de nutrición.
- *Zona de cartílago atrófico*. Los condrocitos se han atrofiado totalmente y mueren, dejando sus huecos y las líneas directrices. Es en esta zona donde los osteoblastos comienzan a sintetizar osteoide.

Desde la diáfisis van a ascender yemas vasculares con tejido conjuntivo perivascular que aportarán células osteoprogenitoras que desencadenarán la formación de osteoide.

Todas estas capas se denominan **placa de crecimiento cartilaginosa, o placa epifisaria cartilaginosa**. A partir de la aparición de la serie ósea es **tejido óseo recién formado**, las trabéculas primaria o la esponjosa primaria. Por tanto, la metáfisis está formada tanto por las trabéculas óseas recién formadas, como por la placa cartilaginosa.

Hay que decir que la dirección real del crecimiento del hueso es desde la epífisis hacia la metáfisis, ya que las células epifisarias van madurando y pasando por los distintos estadios, siendo los más maduros los de la metáfisis (zona de osificación endocondral).

Aparecerán osteoclastos procedentes de la sangre que destruyen estas trabéculas no laminares para empezar la construcción de hueso laminar.



En anchura el hueso crece desde el periostio y el endostio. El hueso se irá compactando. La reabsorción del hueso es más rápida desde el endostio, por lo que se forma el canal medular más ancho y más rápidamente.

¿Cuándo se produce el cierre de las metáfisis? Hacia los 25 años de edad, cuando ya no hay condrocitos y se comunican la epífisis y la diáfisis.

Osificación endoconectiva vs. Osificación endocondral

