

El canal central y el hueso que lo rodea forman una columna cilíndrica ósea tan delgada como una mina de lápiz, llamada **osteona** (fig. 6-5, centro). El tejido óseo compacto de los huesos largos está compuesto por osteonas dispuestas en haces paralelos al eje longitudinal del hueso, que le dan fuerza y flexibilidad, como si fueran un manojo de ramas.

Sin embargo, el patrón microscópico de las laminillas del tejido esponjoso es irregular y carece de osteonas (fig. 6-5, parte inferior izquierda). Aunque las laminillas aún son visibles, no hay canales centrales porque los vasos pueden pasar libremente a través de los espacios abiertos del hueso esponjoso. A pesar de su aparente distribución aleatoria, los retículos de hueso esponjoso, llamados **trabéculas**, se orientan para maximizar la fuerza del tejido óseo. Los osteoblastos y los osteocitos recubren las trabéculas y participan activamente en la remodelación del tejido óseo.

¡Recuerde! Todos los tejidos óseos (esponjoso y compacto) están organizados en laminillas, pero sólo el compacto se organiza en osteonas.

El resultado final de esta organización macroscópica y microscópica del tejido óseo es que los huesos son sorprendentemente livianos y fuertes. Los innumerables espacios macroscópicos y microscópicos reducen su peso. Al mismo tiempo, los cristales minerales proporcionan una gran durabilidad y resistencia, a pesar de no ser ni siquiera tan duros como el esmalte dental. Aunque es duro, el tejido óseo no es quebradizo porque las propiedades elásticas de las fibras de colágeno que contiene le otorgan flexibilidad. Los huesos son difíciles de romper justo porque son rígidos y al mismo tiempo algo flexibles. Por ejemplo, la **osteopetrosis** es una enfermedad hereditaria caracterizada por unos huesos extremadamente densos, duros e inflexibles, y por la facilidad con que se fracturan.

Apuntes sobre el caso

6-5 La fractura de muñeca de Maggie se extendía por la diáfisis distal del radio. ¿La línea de fractura se encontrará con un canal medular, un canal central o ninguno de los dos?

La osificación consiste en la formación, el crecimiento, la remodelación y la reparación del hueso

La formación de hueso se denomina **osificación** y puede producirse en cuatro situaciones:

- La formación inicial de los huesos en el embrión y el feto.

- El crecimiento óseo de los niños y adolescentes.
- La remodelación (dar nueva forma) de los huesos en respuesta a tensiones prolongadas infrecuentes o a las normales de la vida diaria.
- La reparación del hueso dañado, normalmente por una fractura.

El hueso fetal se forma por la osificación endocondral o membranosa

El esqueleto fetal aparece por primera vez en el embrión a las 6 semanas de gestación. En el lugar donde se formarán las clavículas y el cráneo aparecen membranas fibrosas delgadas; en el resto del cuerpo, se observan islas de cartílago primitivo con la forma de los huesos. El tejido óseo que se desarrolla a partir del cartílago se llama **endocondral**, y el que proviene de las membranas fibrosas se llama **membranoso**.

Osificación endocondral

La mayoría de los huesos se forman por un proceso llamado **osificación endocondral**, que consiste en la formación del cartílago que luego es reemplazado por hueso (fig. 6-6). Como se comentó anteriormente al hablar de la anatomía ósea, los huesos largos son un buen ejemplo de crecimiento óseo por osificación endocondral. La síntesis de hueso comienza en medio de la diáfisis, el **centro primario de osificación**. La secuencia del proceso es la siguiente:

1. **Los condroblastos preparan un molde para el cartílago.** Como un artista prepara un vaciado de yeso antes de crear una estatua, la mayoría de los huesos necesitan un molde en cartílago que, como el yeso, es mucho más maleable que el hueso (¡o el mármol!). Este primer prototipo de cartílago está formado por células de tejido conectivo llamadas **condroblastos** (del griego *chondros* = «cartílago» y *blastós* = «germen»), que secretan la matriz extracelular fibrosa que proporciona resistencia y flexibilidad al cartílago. En el borde del molde se condensa una capa de células que forma un recubrimiento llamado **pericondrio**. Este cartílago, como todos los cartílagos, incluso en los adultos, es **avascular**, es decir, no tiene su propio suministro de sangre y obtiene el oxígeno por difusión desde los tejidos circundantes.
2. **Se forma un anillo óseo y el molde se agranda.** Los vasos invaden el pericondrio hasta la mitad de la diáfisis del molde. Esta súbita afluencia de nutrientes estimula la diferenciación de los citoblastos osteógenos en osteocitoblastos. Los osteoblastos forman un anillo de hueso esponjoso que estabiliza el molde, hasta que la formación del hueso avanza lo suficiente. La membrana que cubre el anillo óseo pasa de pericondrio (que recubre el cartílago) a periostio (que recubre el hueso).

Los condroblastos producen más cartílago, el cual a su vez agranda el molde. Las células ubicadas en el centro del molde, ahora llamadas **condrocitos**, agrandan y estimulan el depósito de sales de calcio en la matriz extracelular próxima. Los condrocitos quedan atrapados en la laguna calcificada y, aislados de su suministro de

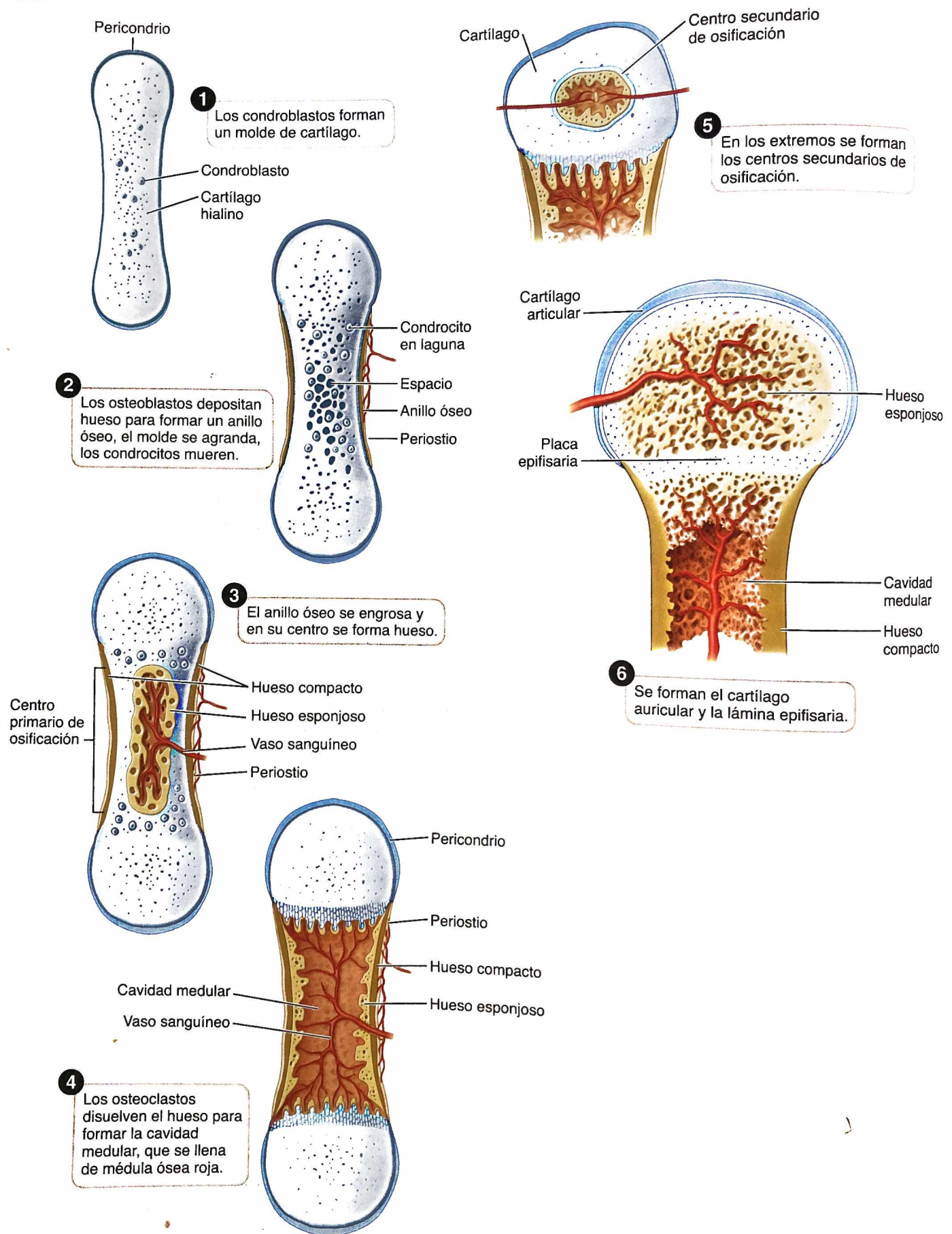


Figura 6-6. Osificación endocondral. ¿Dónde se encuentran los centros secundarios de osificación, en la epífisis o en la diáfisis?

nutrientes, acaban muriendo. Las lagunas se fusionan y forman pequeños espacios huecos.

3. **Comienza la osificación.** Los vasos que provienen del periostio invaden el centro primario de osificación. Estos vasos sanguíneos van acompañados de osteoclastos y osteoblastos. Los osteoclastos descomponen el cartílago calcificado y los osteoblastos depositan nuevo tejido óseo esponjoso.
4. **El espacio medular se agranda y aparece la médula ósea.** Los osteoclastos continúan su destrucción constructiva descomponiendo parte del nuevo hueso esponjoso para crear la cavidad medular. La médula ósea roja, que llega al centro de osificación junto con los vasos y los osteocitos, rellena el espacio. Los osteoclastos y los osteoblastos continúan su remodelación y sustituyen gran parte del remanente de tejido óseo esponjoso por hueso compacto.
5. **Aparecen los centros secundarios de osificación (en cada extremo de los huesos largos).** Poco después del nacimiento, los vasos invaden las epífisis óseas y aparecen otros centros (secundarios) de osificación. Estas regiones de crecimiento son semejantes al centro primario de osificación; la única excepción es que el tejido esponjoso de reciente formación no se degrada para crear el espacio medular. Además, gran parte de ese tejido se mantiene esponjoso y no se convierte en hueso compacto.
6. **Se forman el cartílago auricular y la lámina epifisaria.** En los extremos de los huesos que constituyen las articulaciones con otros huesos, el pericondrio se transforma en cartílago articular. Como ya se ha comentado, los centros primarios y secundarios de osificación permanecen separados por cartílago hasta la edad adulta. Este remanente de cartílago es el único lugar donde puede producirse crecimiento óseo, y se denomina *lámina de crecimiento epifisario*. El crecimiento óseo y la placa epifisaria siguen los mismos principios de crecimiento que el cartílago, seguido de la sustitución por hueso, según se explica más adelante.

Apuntes sobre el caso

6-6 ¿Mediante qué proceso se formó la tibia de Maggie?

Osificación intramembranosa

Los huesos planos del cráneo, las clavículas y la mandíbula se forman a partir de membranas de tejido fibroso por medio de la **osificación intramembranosa**. No obstante, el producto final es semejante al hueso formado por osificación endocondral: una capa externa de tejido óseo denso y compacto, y una capa interna de hueso esponjoso.

Al principio aparece una membrana fibrosa con forma de hueso. En su interior, los fibroblastos y los osteoblastos comienzan a depositar un retículo desordenado de fibras de colágeno y tejido óseo, respectivamente. Este tipo de tejido óseo provisional se denomina **hueso trabecular**, y destaca su fuerte contraste con la estructura microscópicamente ordenada del hueso compacto. A medida que el

crecimiento avanza, el hueso compacto se desarrolla en las superficies de la membrana y el hueso esponjoso en el centro. El resultado es una capa de hueso esponjoso entre dos capas de hueso compacto.

La formación de nuevo tejido óseo por osificación intramembranosa difiere de la osificación endocondral en dos aspectos: a) no incluye una etapa de cartílago intermedio y b) la osificación intramembranosa pasa por una etapa caracterizada por la presencia de hueso trabecular. El desarrollo fetal de los huesos planos es la única circunstancia de *salud* en que aparece hueso trabecular. En todos los otros casos, este tipo de hueso se produce como reacción reparadora ante una lesión o una enfermedad ósea.

Apuntes sobre el caso

6-7 ¿Qué hueso de Maggie se habrá desarrollado primero como membrana fibrosa? ¿Los huesos faciales que se lesionó o el radio que se fracturó?

Los huesos crecen hasta principios de la edad adulta

Bajo la influencia de la somatotropina, del factor de crecimiento similar a la insulina y de otras hormonas (tabla 6-2), los huesos del recién nacido continúan su crecimiento durante la infancia y la adolescencia. Algunos, como los de la pelvis, alcanzan su desarrollo completo al llegar a la edad adulta.

Crecimiento longitudinal de los huesos largos

Desde el nacimiento hasta que alcanzan el tamaño adulto, los huesos largos crecen a lo largo (crecimiento longitudinal) y a lo ancho (crecimiento aposicional) (fig. 6-7).

El crecimiento longitudinal se produce en las láminas epifisarias, de forma semejante a una multitud que marcha por una avenida y aumenta a medida que se suman nuevos manifestantes. Continuando con el proceso que comienza en el feto, los condrocitos siguen multiplicándose y añaden más cartílago al lado de la lámina epifisaria, cerca del extremo del hueso, con lo que aumentan su longitud. Mientras tanto, en el lado diafisario de la lámina los osteoblastos sustituyen el nuevo cartílago por hueso y dejan atrás algunos miembros de la multitud, que son retenidos por el tejido óseo y se convierten en osteocitos. Antes de la pubertad, los osteoblastos no pueden alcanzar a los condrocitos; por eso, el hueso continúa alargándose y la lámina epifisaria es impulsada hacia fuera. Sin embargo, la actividad osteoblástica es estimulada por las hormonas puberales, de modo que cuando se inicia la pubertad los osteoblastos sustituyen a las células del cartílago más rápidamente.

Al final, aproximadamente entre los 17 y los 21 años de edad (antes en las mujeres que en los hombres), los osteoblastos superan a los condrocitos y reemplazan todo el cartílago por hueso, por lo que el crecimiento óseo se detiene. Todo lo que queda de la lámina epifisaria es la *línea epifi-*