

# **GUIA DE ESTUDIO DE LA UNIDAD II**

## **FUNDAMENTOS DEL HUESO HUMANO**

### **2.1. Aspectos fundamentales del hueso humano.**

El hueso es un tejido firme, duro y resistente que forma parte del endoesqueleto de los vertebrados. Está compuesto por tejidos duros y blandos. El principal tejido duro es el tejido óseo, un tipo especializado de tejido conectivo constituido por células (osteocitos) y componentes extracelulares calcificados.

Los huesos poseen una cubierta superficial de tejido conectivo fibroso llamado periostio y en sus superficies articulares están cubiertos por tejido conectivo cartilaginoso. Los componentes blandos incluyen a los tejidos conectivos mieloides, tejido hematopoyético y adiposo (grasa) la médula ósea. El hueso también cuenta con vasos y nervios que, respectivamente irrigan e inervan su estructura.

Los huesos poseen formas muy variadas y cumplen varias funciones. Con una estructura interna compleja pero muy funcional que determina su morfología, los huesos son livianos aunque muy resistentes y duros.

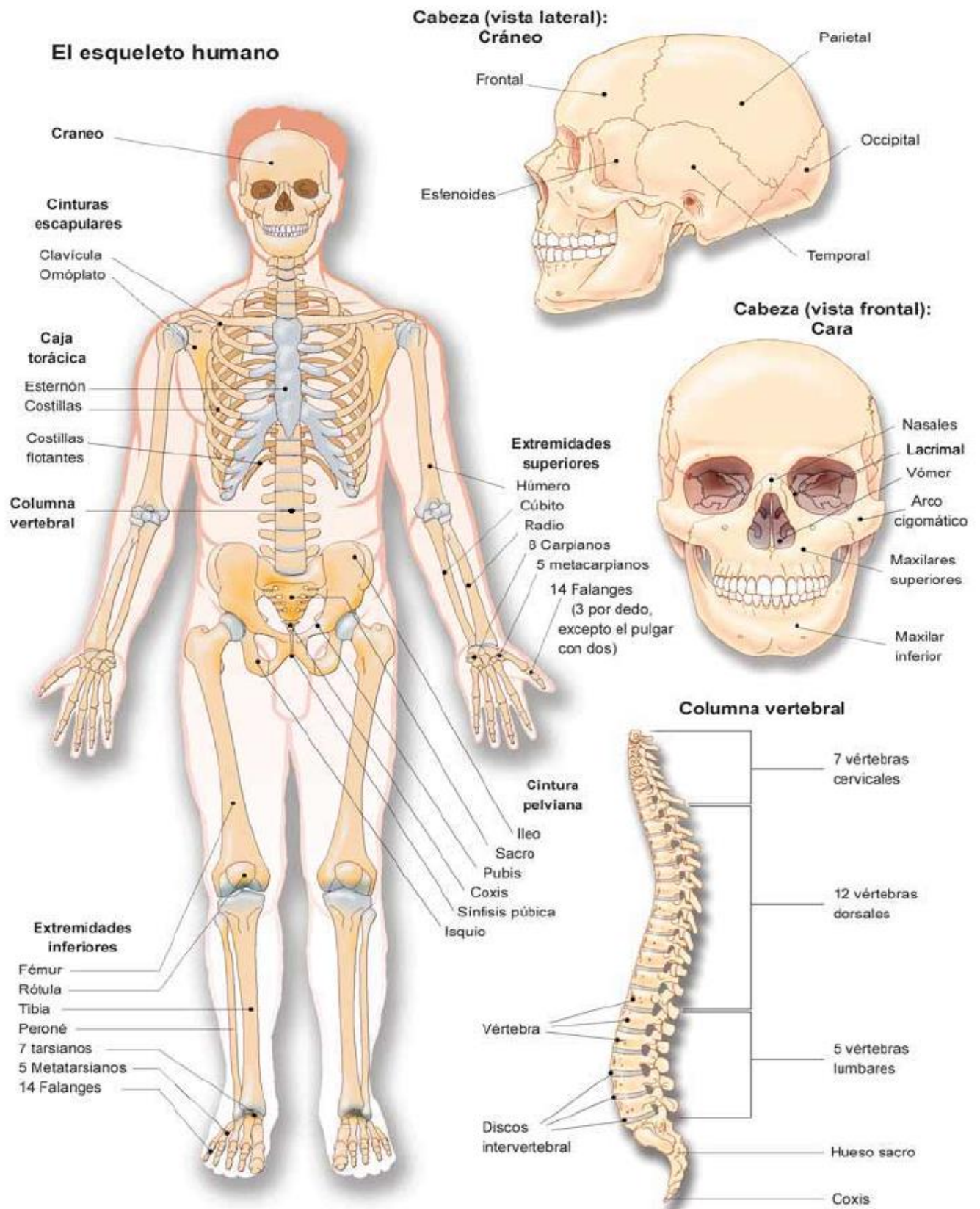
El conjunto total y organizado de las piezas óseas (huesos) conforma el esqueleto o sistema esquelético. Cada pieza cumple una función en particular y de conjunto en relación con las piezas próximas a las que está articulada.

Los huesos en el ser humano son órganos tan vitales como los músculos o el cerebro, con una amplia capacidad de regeneración y reconstitución. Sin embargo, vulgarmente se tiene una visión del hueso como una estructura inerte, puesto que lo que generalmente queda a la vista son las piezas óseas secas y libres de materia orgánica de los esqueletos tras la descomposición de los cadáveres.

El sistema óseo está formado por un conjunto de estructuras sólidas compuestas básicamente por tejido óseo, que se denominan huesos. Un esqueleto interno consiste en estructuras rígidas o semirrígidas dentro del cuerpo, que se mueven gracias al sistema muscular. Si tales estructuras están mineralizadas u osificadas, como en los humanos y otros mamíferos, se les llama huesos.

Otro componente del sistema esquelético son los cartílagos, que complementan su estructura. En los seres humanos, por ejemplo, la nariz y orejas están sustentadas por cartílago. Algunos organismos tienen un esqueleto interno compuesto enteramente de cartílago, sin huesos calcificados, como en el caso de los tiburones.

Los huesos y otras estructuras rígidas están conectadas por ligamentos y unidas al sistema muscular a través de tendones. El esqueleto humano es una forma de poder sumamente criticable ya que las diferencias entre las partes las llevan al enfrentamiento de los huesos coquitlicos.



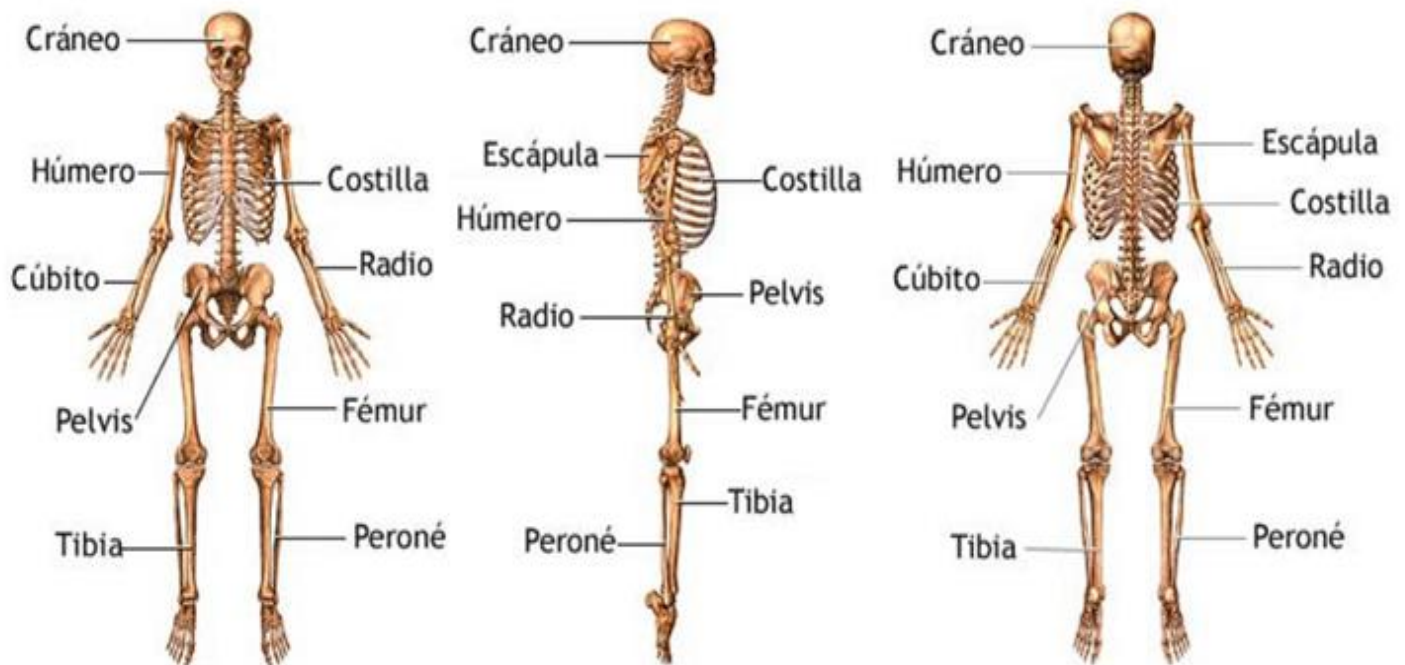
**Figura 2.1. Huesos de las diferentes regiones corporales.**

A excepción del hueso hioides que se halla separado del esqueleto, todos los huesos están articulados entre sí formando un continuum, soportados por estructuras conectivas complementarias como ligamentos, tendones, y cartílagos. El esqueleto de un ser humano adulto tiene, aproximadamente, 206 huesos, sin contar las piezas dentarias, los huesos sutúrales o wormianos (supernumerarios del cráneo) y los huesos sesamoideos.

El conjunto organizado de huesos u órganos esqueléticos— conforma el sistema esquelético, el cual concurre con otros sistemas orgánicos (sistema nervioso, sistema articular y sistema muscular) para formar el aparato locomotor.

El esqueleto óseo es una estructura propia de los vertebrados. En Biología, un esqueleto es toda estructura rígida o semirrígida que da sostén y proporciona la morfología básica del cuerpo, así, algunos cartílagos faciales (nasal, auricular, etc.) debieran ser considerados también formando parte del esqueleto.

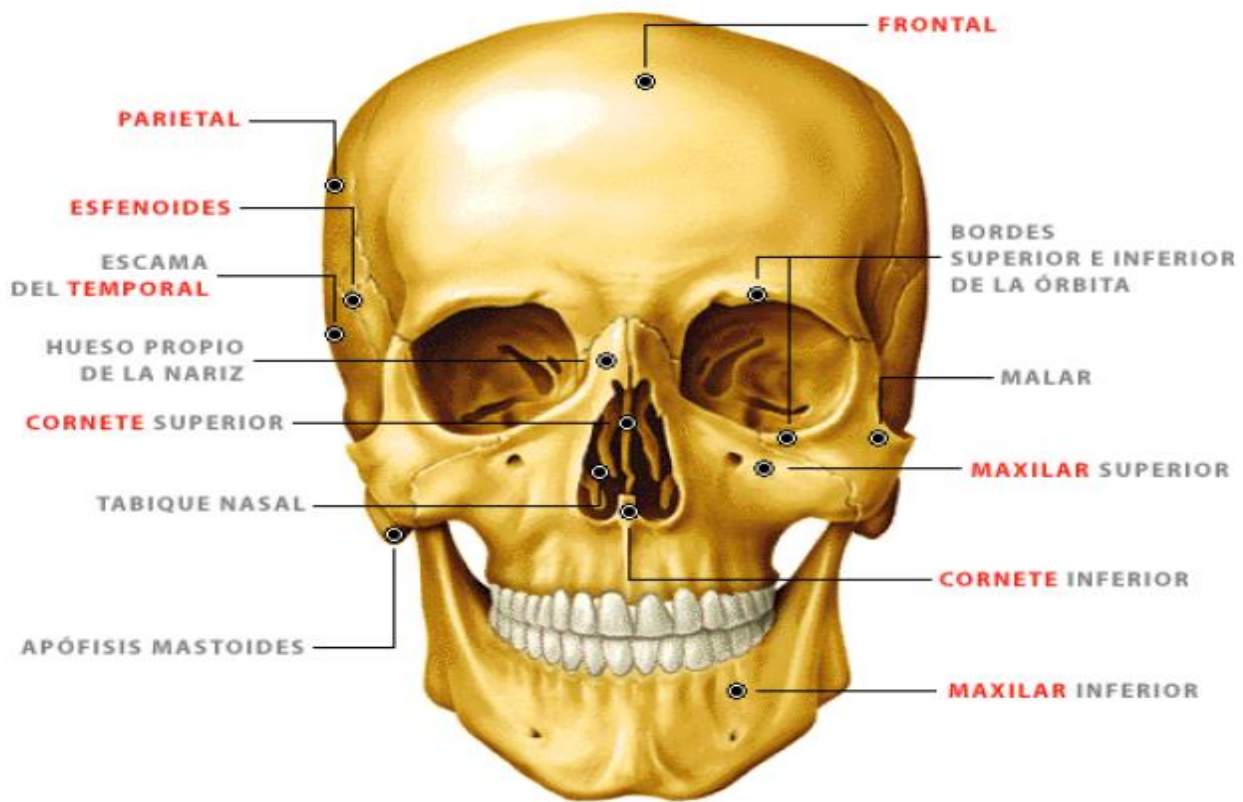
### Huesos de las diferentes regiones del cuerpo



**Figura 2.2. Esqueleto vista anterior, lateral y posterior.**

La constitución general del hueso es la del tejido óseo. Si bien no todos los huesos son iguales en tamaño y consistencia, en promedio, su composición química es de un 25% de agua, 45% de minerales como fosfato y carbonato de calcio y 30% de materia orgánica, principalmente colágeno y otras proteínas. Así, los componentes inorgánicos alcanzan aproximadamente 2/3 (65%) del peso óseo (y tan sólo un 35% es orgánico).





Huesos de la cabeza, vista anterior

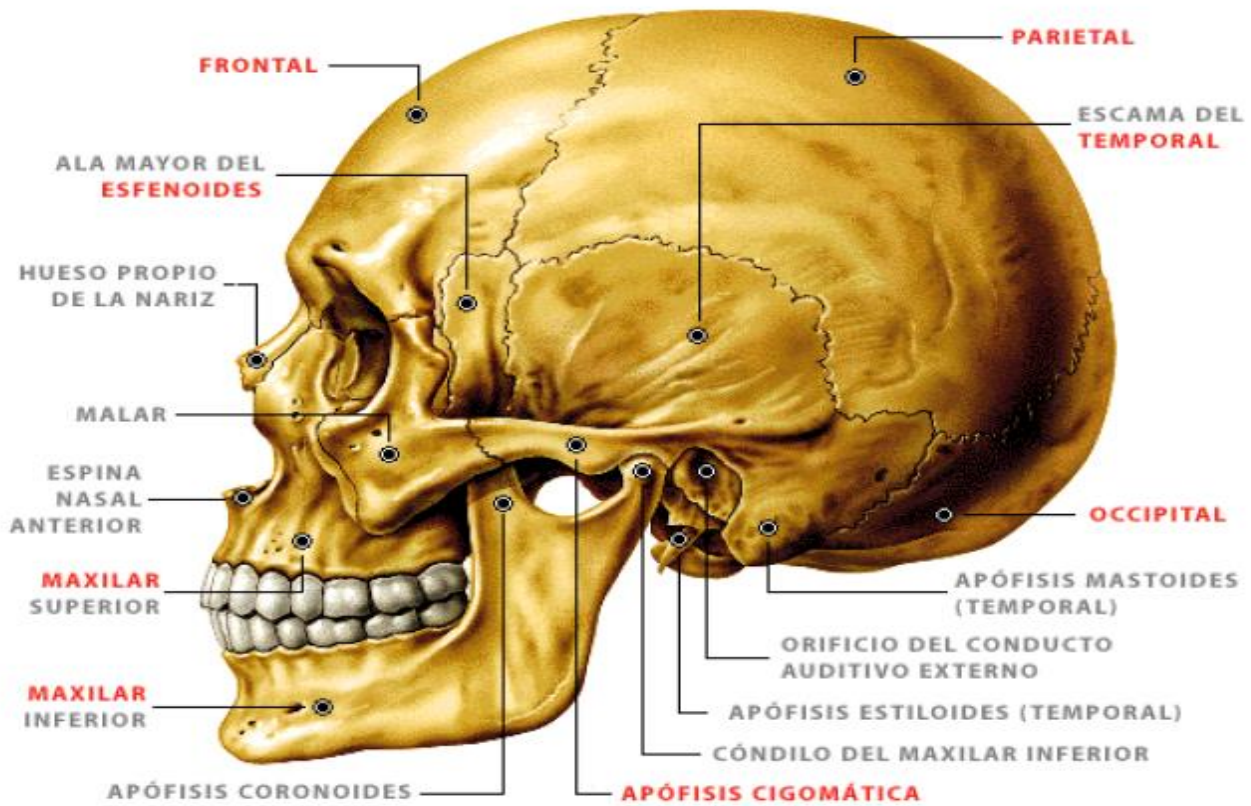
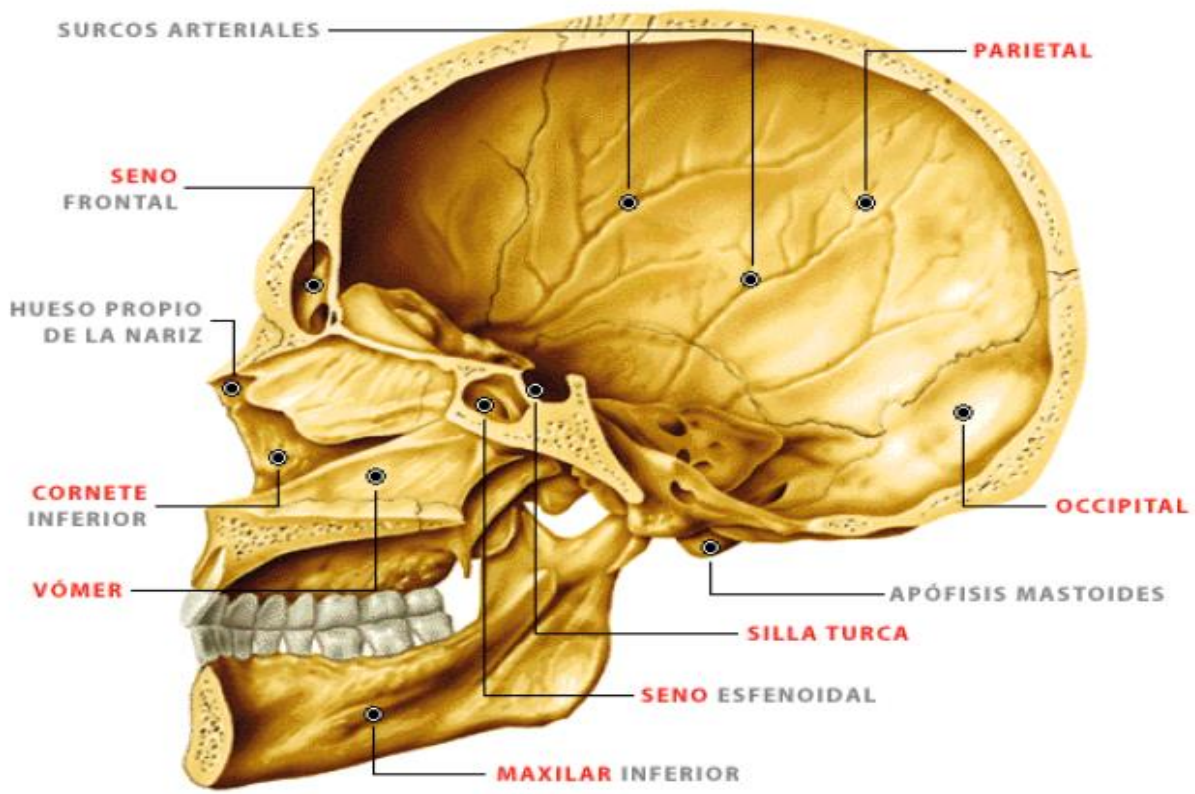


Figura 2.3. Huesos de la cabeza vista anterior y lateral.



Huesos de la cabeza, vista interna

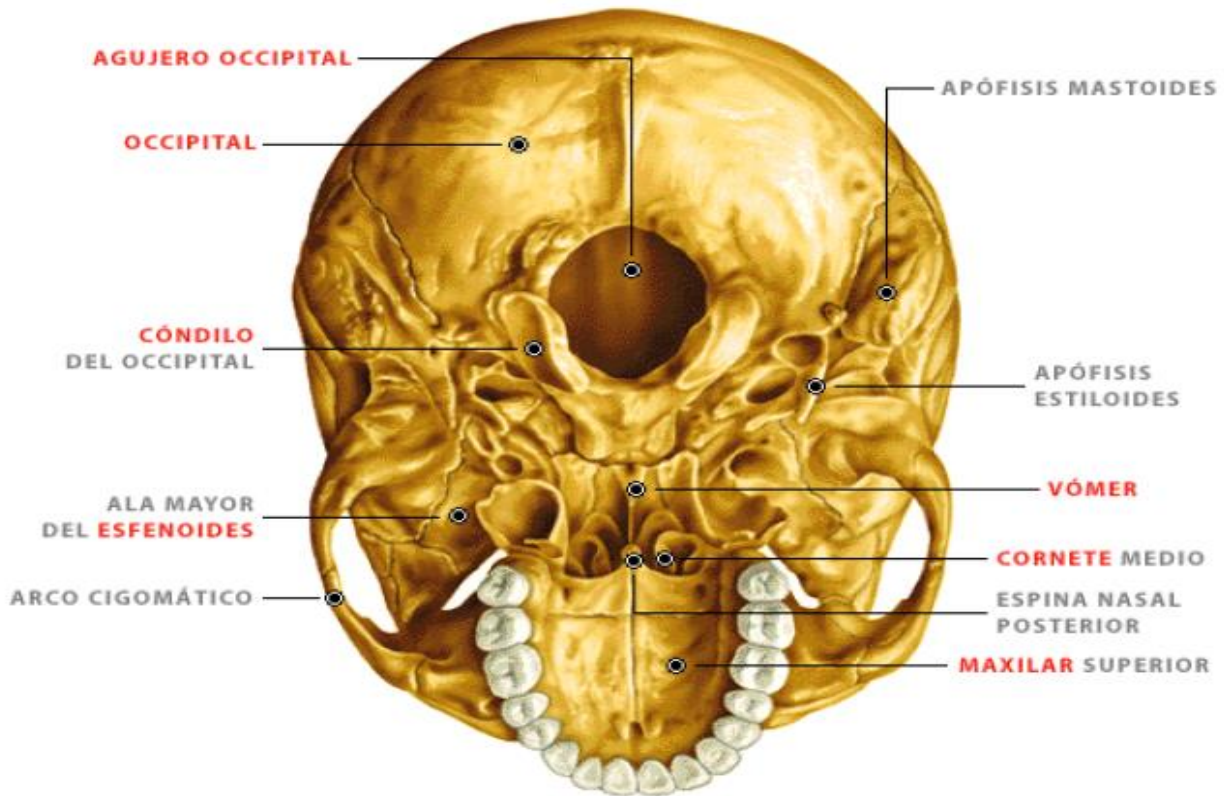
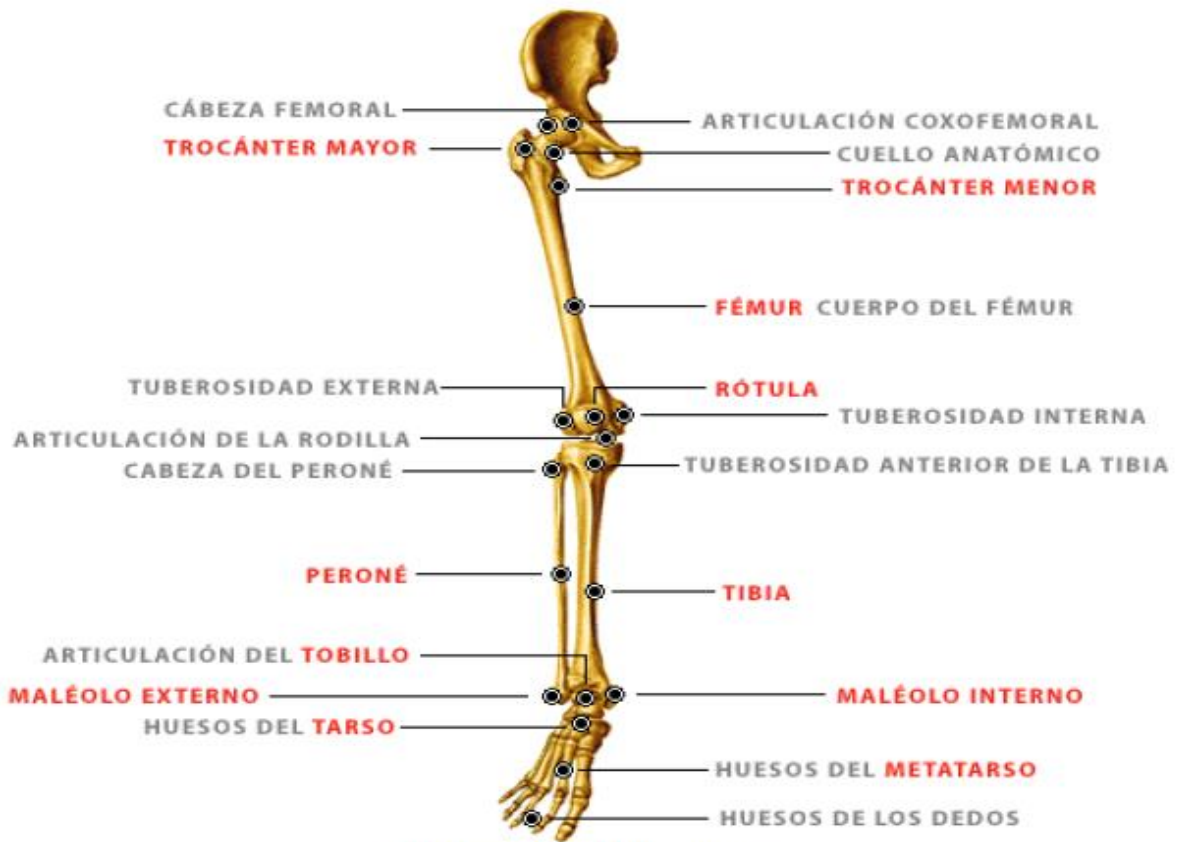


Figura 2.4. Huesos de la cabeza vista interior inferior.





Huesos del miembro inferior

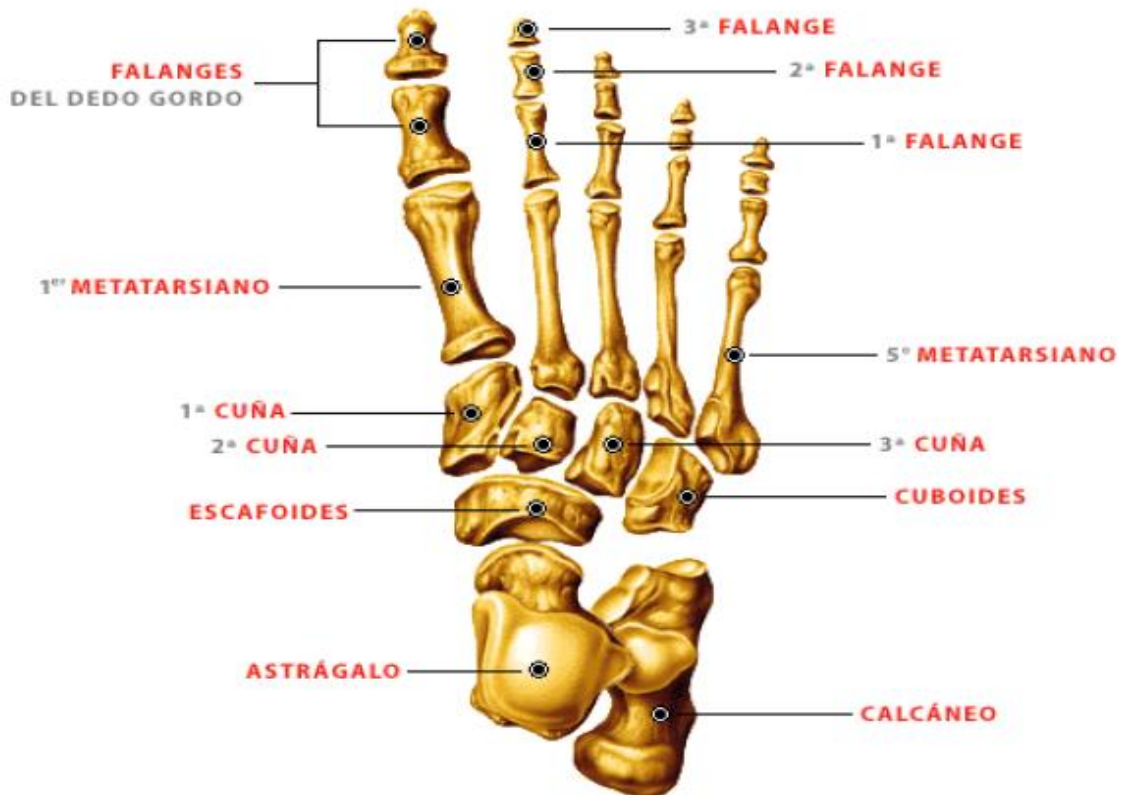
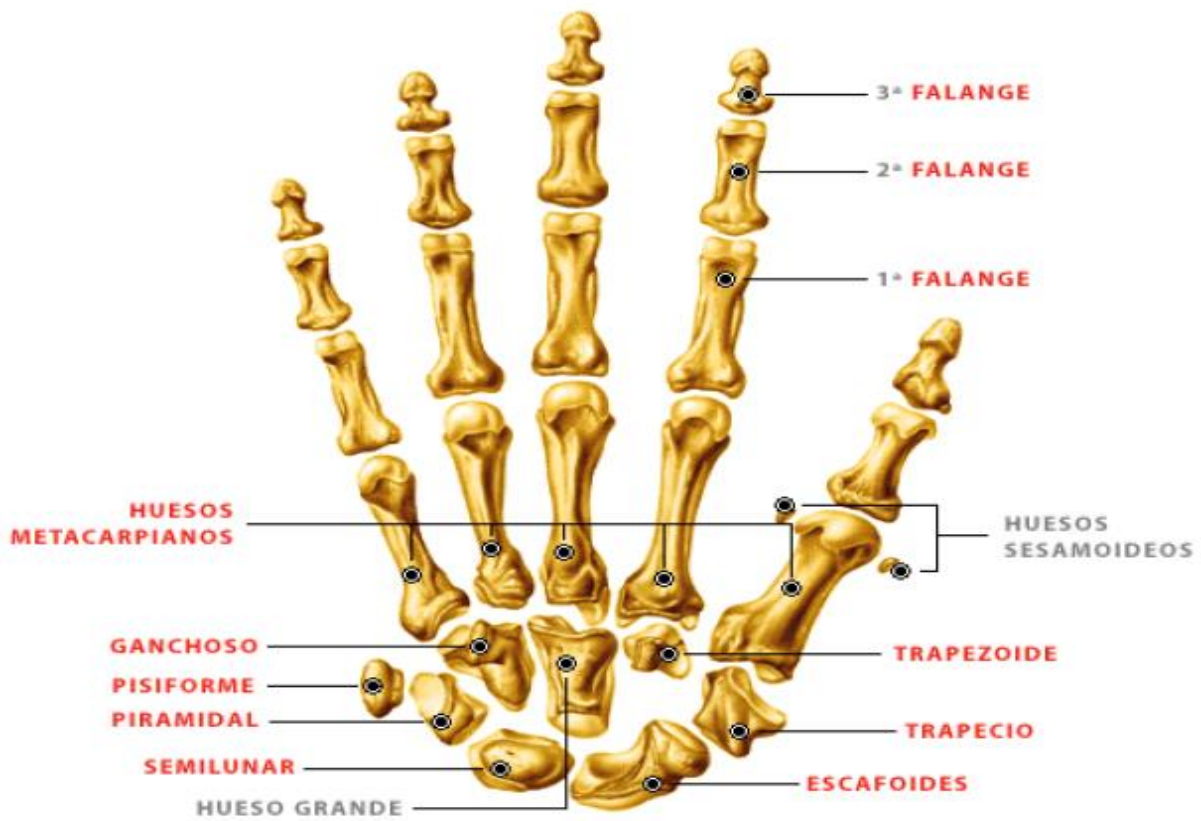


Figura 2.5. Huesos del pie vista inferior.



Huesos de la mano

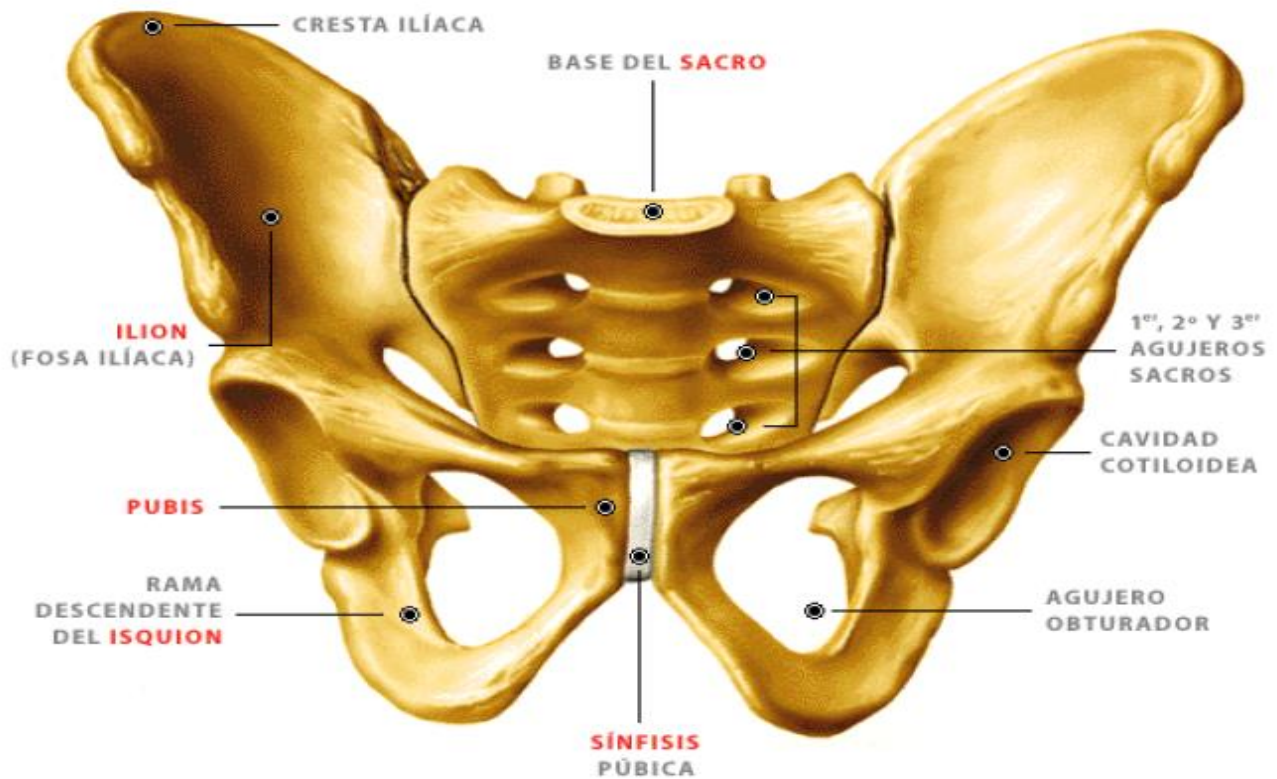


Figura 2.6. Huesos de la mano, coxal y sacro.

El esqueleto es una estructura dinámica, constituida por huesos. Cada hueso es un órgano ya que está formado por diversos tejidos: óseo, cartilaginoso, conectivo denso, epitelial, otros que generan sangre, adiposo y nervioso.

El hueso no es totalmente sólido sino que tiene pequeños espacios entre sus componentes, formando pequeños canales por donde circulan los vasos sanguíneos encargados del intercambio de nutrientes. En función del tamaño de estos espacios, el hueso se clasifica en compacto o esponjoso.

Las sales minerales más abundantes son la hidroxiapatita (fosfato tricálcico) y carbonato cálcico. En menores cantidades hay hidróxido de magnesio y cloruro y sulfato magnésicos. Estas sales minerales se depositan por cristalización en el entramado formado por las fibras de colágeno, durante el proceso de calcificación o mineralización.

La dureza del hueso depende de las sales minerales orgánicas cristalizadas que contiene, y su flexibilidad depende de las fibras colágenas. Los huesos no son completamente sólidos, ya que tienen muchos espacios. Según el tamaño y distribución de estos espacios, las regiones de un hueso se clasifican en compactas y esponjosas.

En general el hueso compacto constituye el 80% del esqueleto, y el esponjoso el 20% restante. Tiene una matriz abundante, y células muy separadas entre sí. La matriz está formada por:

- 25 % de agua
- 25 % de fibras proteínicas
- 50 % de sales minerales cristalizadas.

Los minerales de los huesos no son componentes inertes ni permanecen fijos sino que son constantemente intercambiados y reemplazados junto con los componentes orgánicos en un proceso que se conoce como remodelación ósea.

Su formación está regulada por las hormonas y los alimentos ingeridos, que aportan vitaminas de vital importancia para su correcto funcionamiento.

Es un tejido muy consistente, resistente a los golpes y presiones pero también elástico, protege órganos vitales como el corazón, pulmones, cerebro, etc., asimismo permite el movimiento en partes del cuerpo para la realización de trabajo o actividades estableciendo el desplazamiento de la persona. Forma el aparato locomotor originando la estructura ósea o esqueleto. Es también un depósito de almacenamiento de calcio y fósforo del cuerpo. Los huesos se componen de un tejido vivo llamado tejido conectivo.



## ✧ **Histología del Tejido Óseo**

El tejido óseo es un tipo especializado de tejido conectivo cuya matriz extracelular se halla mineralizada en su mayor parte. El tejido óseo se caracteriza por su gran dureza y consistencia. Consta de una sustancia fundamental y de células óseas, las cuales se alojan en las lagunas óseas que son cavidades existentes en la materia fundamental.

Esta última es rica en sustancias minerales (sales de calcio) que aumentan con la edad. La sustancia cementadora sirve de unión entre las fibrillas, las cuales forman laminillas óseas de aspecto estriado o punteado propia de los mamíferos adultos; y fibras gruesas y entrecruzadas, típica de huesos fetales.

Este tejido representa la parte más importante del esqueleto y a pesar de su dureza y resistencia posee cierta elasticidad. Al igual que el cartílago, el tejido es una forma especializada del tejido conectivo denso, además provee al esqueleto de la fortaleza de funcionar como sitio de inserción y sostén del peso para los músculos y le da rigidez al organismo para protegerlo de la fuerza de gravedad.

Las funciones más importantes del esqueleto son la de protección, rodeando al cerebro de la médula espinal y parte de los órganos del tórax y del abdomen. Una modificación especial del tejido óseo es el marfil, el cual posee un cemento de tejido óseo reticular. La células que componen el tejido óseo son: Osteoprogenitoras, osteoblastos, osteocitos, y osteoclastos.

### ✓ Célula osteoprogenitora:

Las células osteoprogenitoras o células madre ósea son células indiferenciadas con carácter de fibroblastos. Durante la formación de los huesos estas células sufren división y diferenciación a células formadoras de hueso (osteoblastos) mientras que los preosteoclastos darán origen a los osteoclastos.

### ✓ Osteoblasto:

Es una célula diferenciada formadora de hueso que secreta la matriz ósea. Se asemeja al fibroblasto y condroblasto con respecto a la capacidad de dividirse. Estas secretan el colágeno y la sustancia fundamental que constituyen el hueso inicial no mineralizado u osteoide.

### ✓ Osteocito

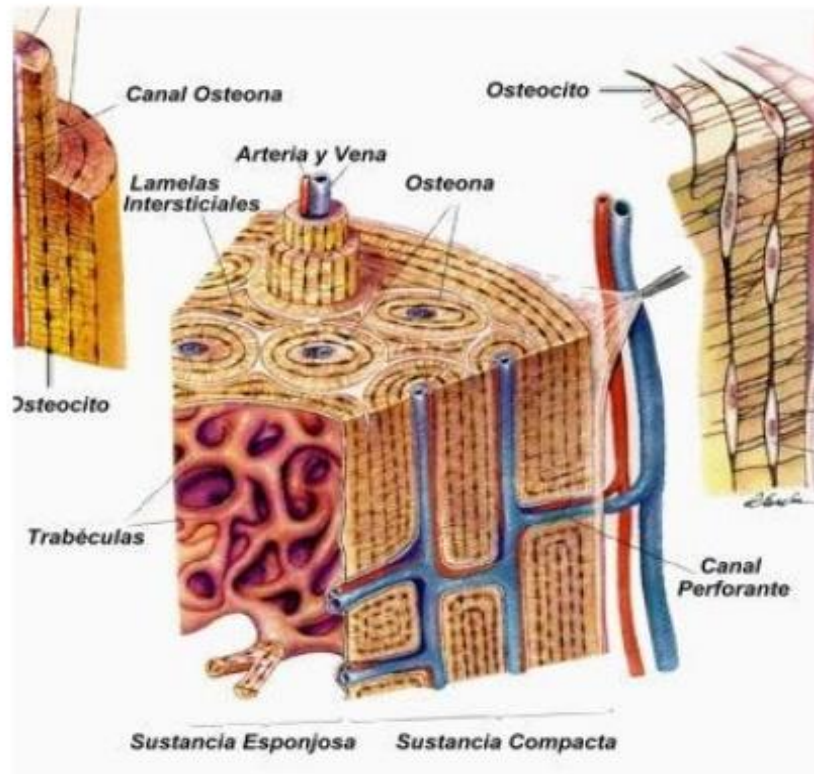
Es la célula ósea madura, es de forma aplanada como semilla de calabaza, está rodeado por la matriz ósea que secretó antes como osteoblasto. El osteocito es un osteoblasto diferenciado. Los osteocitos son responsables del mantenimiento de la matriz ósea.

### ✓ Osteoclasto

Esta es una célula multinucleada de gran tamaño, cuya función es de resorción ósea. Cuando el osteoclasto está en actividad, descansa directamente sobre la superficie ósea donde se producirá la resorción.



# Histología Hueso



## Células del Tejido óseo

- Osteoprogenitora
- Osteoblasto
- Osteocito
- Osteoclasto

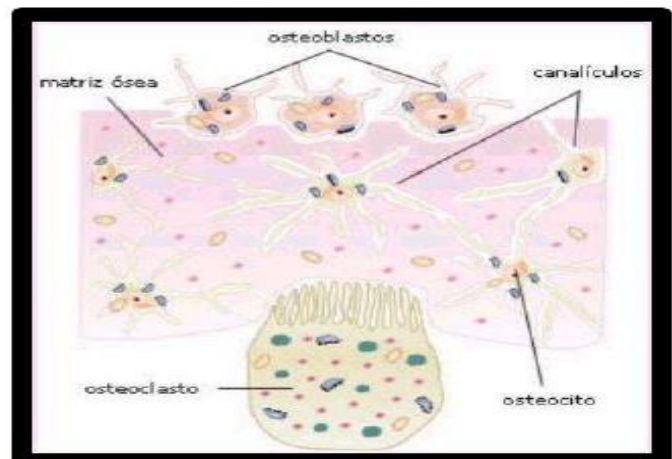


Figura 2.5. Histología del hueso humano.

## ❖ Funciones de los huesos

Los huesos del cuerpo humano, vistos tanto como unidad o conjunto, poseen las funciones siguientes:

- Estructural:** Los huesos dan estructura y forma al cuerpo, siendo el soporte principal de éste. Es la función más importante que poseen. Los huesos forman el esqueleto humano, el cuál aporta sostén, soporte y forma al cuerpo humano.
- Locomotor:** Resultado de la interacción de los huesos con los músculos y las articulaciones, permitiendo el movimiento. Los huesos tienen marcas óseas que sirven para la inserción de tendones, ligamentos y fascias. Gracias a estas marcas los huesos interaccionan con los músculos permitiendo el movimiento de las articulaciones. Los músculos proporcionan el poder motor mientras que el esqueleto funciona como un sistema de palancas que organiza el movimiento acorde con las necesidades del cuerpo humano.
- Hematopoyética:** Se encargan de la producción de ciertos componentes de la sangre, por medio de la médula ósea roja. La médula ósea roja que encontramos en huesos planos como las costillas, el esternón, la columna vertebral, el cráneo, la escápula o la pelvis, forma los eritrocitos, leucocitos y plaquetas a través de la hematopoyesis.
- Protección:** En el cuerpo humano nos encontramos con estructuras vitales, como el corazón, el cerebro, que necesitan protección. Los huesos realizan esta función protectora creando paredes rígidas alrededor de estos órganos.
- Homeostasis de minerales:** Los huesos son un almacén de minerales en el organismo especialmente de calcio y fósforo. Hay un intercambio casi constante al torrente sanguíneo para mantener un equilibrio y distribuir a otros órganos según sus necesidades.
- Almacenamiento de triglicéridos:** La médula ósea roja es reemplazada paulatinamente en los adultos por médula ósea amarilla. Esta médula ósea amarilla está constituida por adipocitos que almacenan triglicéridos, los cuales constituyen una reserva energética.





# FUNCIONES DE LOS HUESOS

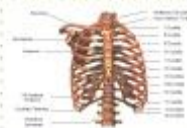
- Movimiento del cuerpo junto con el sistema muscular, formando el aparato locomotor.
- Soporte o sostén del cuerpo.
- Protección de los órganos internos.
- Almacenamiento, ya que constituyen la reserva de calcio.
- Hematopoyesis o formación de las células sanguíneas en la médula ósea.

## Funciones de los huesos

Los huesos planos de la cabeza que forman el cráneo, protegen el cerebro y otros órganos del sistema nervioso.



Las costillas y el esternón forman la caja torácica, que resguarda los pulmones y el corazón.



Las vértebras rodean a la médula espinal, protegiéndola de los golpes. Además, la columna vertebral nos permite mantener el cuerpo erguido.



Los huesos de la cadera protegen los órganos de la parte inferior del tronco, como la vejiga y los del sistema reproductor.



Figura 2.6. Funciones de los huesos humano.

## 2.2. Estructura y partes del hueso.

Estructuralmente, el esqueleto consiste en unos 200 huesos formados por tejido óseo, cartílagos, médula ósea y el periostio o membrana que rodea los huesos. Los huesos se clasifican según si forma en huesos largos, huesos cortos, huesos planos y huesos irregulares. pero también según el tipo de tejido que los componen: el tejido compacto tiene un aspecto macizo, mientras que el tejido esponjoso o trabeculado se caracteriza por los espacios abiertos parcialmente rellenos

El hueso es tejido duro que constituye la mayor parte del esqueleto y consta de elementos orgánicos (células y matriz) e inorgánicos (minerales).

Los huesos poseen zonas con diferente densidad de tejido óseo que se diferencian macroscópicamente y microscópicamente en áreas de hueso compacto y áreas de hueso esponjoso, sin límites netos que las separen, se continúan una con la otra. Sus componentes son:

- a) Cartílago. Tejido firme, pero flexible, que cubre los extremos de los huesos en una articulación.
- b) Disco epifisiario. Se sitúa en los huesos largos e indica el sitio de unión entre epífisis (extremo del hueso) y diáfisis (porción cilíndrica), y está presente sólo en los huesos en crecimiento.
- c) Endostio. Tejido que cubre la pared interna de la cavidad medular del hueso.
- d) Periostio. Membrana externa que contiene nervios y vasos sanguíneos que nutren al hueso.
- e) Trabecular o plexiforme: Tejido óseo sin un orden específico, siendo considerado tejido inmaduro. Se encuentra en el feto, y con el tiempo se reemplaza por tejido laminar maduro.
- f) Laminar: Tejido óseo formado por láminas ordenadas. Reemplaza al trabecular, siendo un tipo de tejido maduro. En los huesos se encuentran de dos formas:
- g) Esponjoso, tejido óseo que deja espacios entre sus láminas, para permitir espacio a la médula ósea. Se sitúa en la zona más profunda del hueso.
- h) Compacto, tejido óseo que posee láminas muy compactas entre sí. Se encuentra superficialmente, y está cubierto por el periostio osteogénico.
- i) Cavidad medular. Espacio que contiene la médula ósea en la diáfisis de un hueso largo.
- j) Médula ósea. Sustancia espesa cuya función consiste en producir células sanguíneas.
- k) Abertura. Permite la entrada de vasos nutrientes.
- l) Vasos nutrientes. Conducen sustancias al interior del hueso para proporcionar nutrientes y permite la salida de las células que se forman en él.

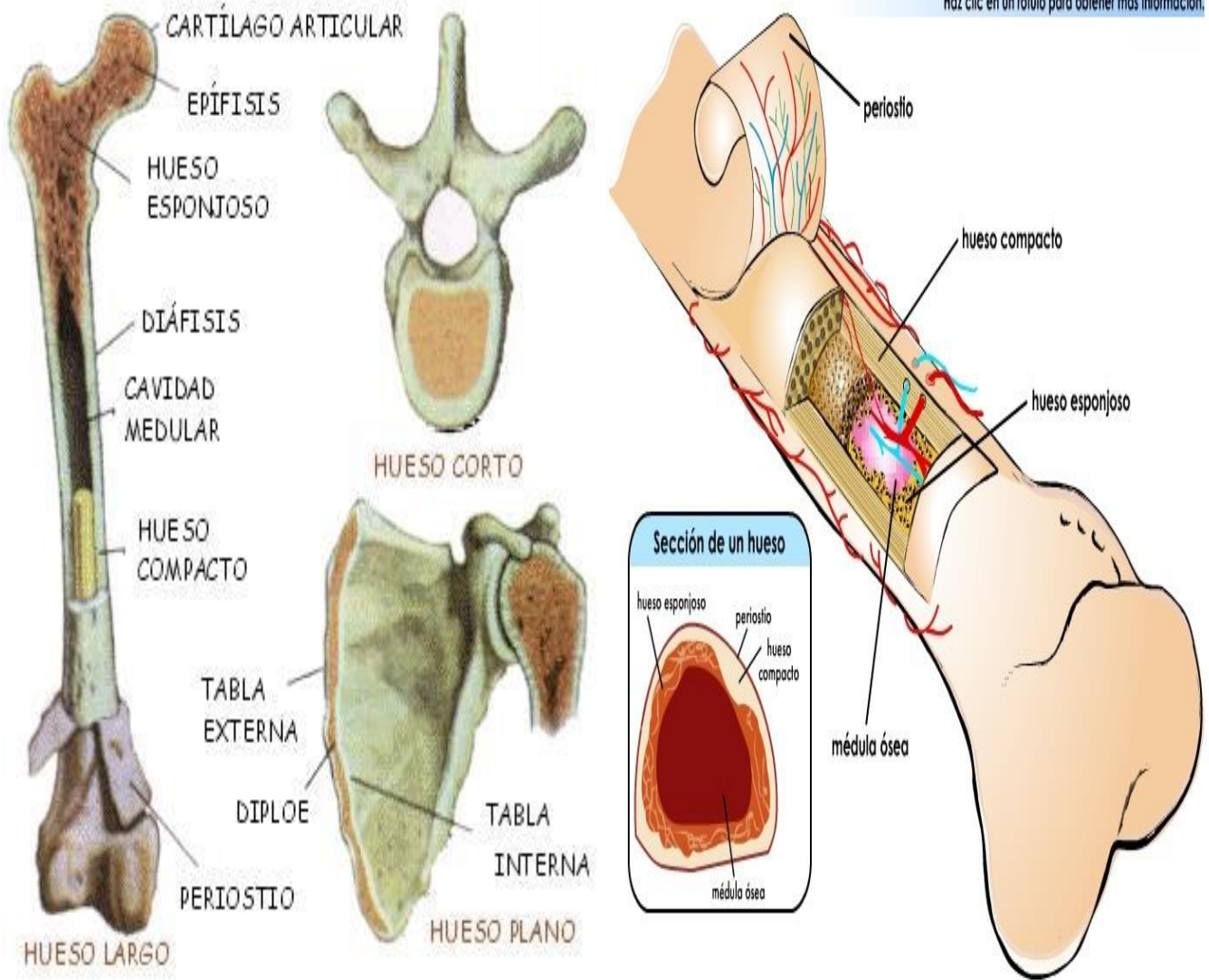


Figura 2.7. Tipos de huesos humanos según su estructura.



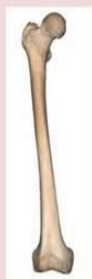
## ❖ Clasificación de los huesos

Los minerales de los huesos no son componentes inertes ni permanecen fijos sino que son constantemente intercambiados y reemplazados junto con los componentes orgánicos en un proceso que se conoce como remodelación ósea. Su formación y mantenimiento está regulada por las hormonas y los alimentos ingeridos, que aportan vitaminas de vital importancia para su correcto funcionamiento.

Sin embargo, no todas las partes del cuerpo tienen este tipo de tejido, como el pene, orejas, senos y nariz. Es un tejido muy consistente, resistente a los golpes y presiones pero también elástico, protege órganos vitales como el corazón, pulmones, cerebro, etc., asimismo permite el movimiento en partes del cuerpo para la realización de trabajo o actividades estableciendo el desplazamiento de la persona. Forma el aparato locomotor originando la estructura ósea o esqueleto. Es también un depósito de almacenamiento de calcio y fósforo del cuerpo.

Los huesos se componen de un tejido vivo llamado tejido conectivo. Los huesos se clasifican como huesos cortos, largos, planos o irregulares. Ejemplo: Los huesos de las piernas y brazos son huesos largos; los de la cara y vertebras son huesos cortos y los del cráneo son huesos planos o irregulares.

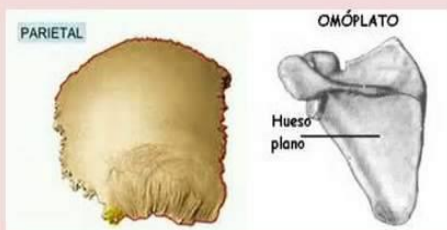
## Clasificación estructural de los huesos



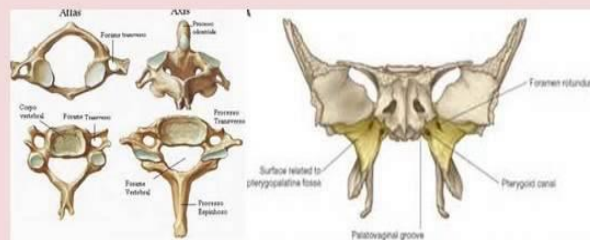
**Largos**



**Cortos**



**Planos**



**Irregulares**

Figura 2.8. Clasificación de los huesos humanos según su estructura.

## ✧ Tipos de huesos (forma y dimensiones)

- a) **Huesos Largos:** Tipo de hueso en el que predomina la longitud por sobre sus otras dimensiones. Este posee dos extremos o epífisis, donde suelen conectarse con otros huesos en articulaciones; un cuerpo o diáfisis, compuesto sólo por tejido óseo compacto, presentado en su interior sólo un canal llamado conducto medular, relleno de médula ósea amarilla; y la zona de unión o límite entre epífisis y diáfisis, conocida como metáfisis, formada por un disco cartilaginoso que permite el alargamiento del hueso.

Este tipo de hueso se encuentra en las extremidades superiores e inferiores. Los huesos largos son huesos duros y densos que brindan resistencia, estructura y movilidad, como el fémur (hueso del muslo). Un hueso largo tiene una diáfisis y dos extremos.

Asimismo, hay huesos en los dedos de las manos que se clasifican como "huesos largos", aunque sean cortos en longitud, lo cual se debe a la forma y no al tamaño real. Los huesos largos contienen médula ósea amarilla y médula ósea roja.

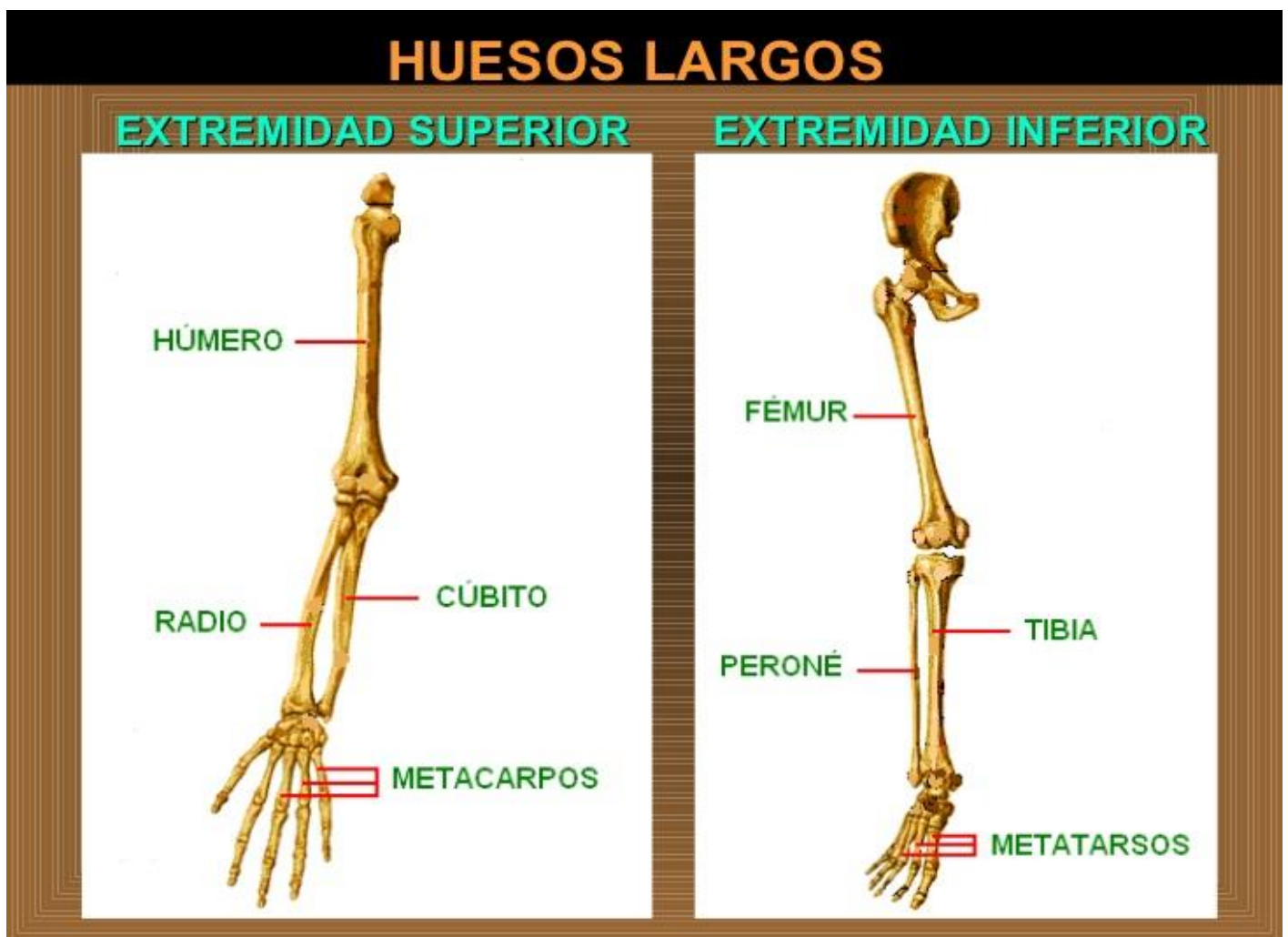


Figura 2.9. Ejemplos de los huesos largos.

b) **Huesos Cortos:** Los huesos cortos en el cuerpo humano son similares a un cubo, con mediciones de largo, ancho y alto aproximadamente iguales. Estos huesos abarcan los huesos carpianos (manos, muñeca) y los huesos tarsianos (pies, tobillos).

Además tipo de hueso pequeño donde no predomina ninguna de sus dimensiones. Están formados por tejido laminar compacto por fuera, y tejido laminar esponjoso en el centro. A éste tipo de huesos pertenecen los carpos y tarsos.

Además, se establecen en dos subclasificaciones:

- Huesos Sesamoides, un tipo de hueso corto que es encontrado en relación a un tendón, con la función de mejorar la mecánica articular. El ejemplo más claro es la rótula o patela.
- Huesos Supernumerarios, tipo de hueso corto que no se encuentra en todas las personas.

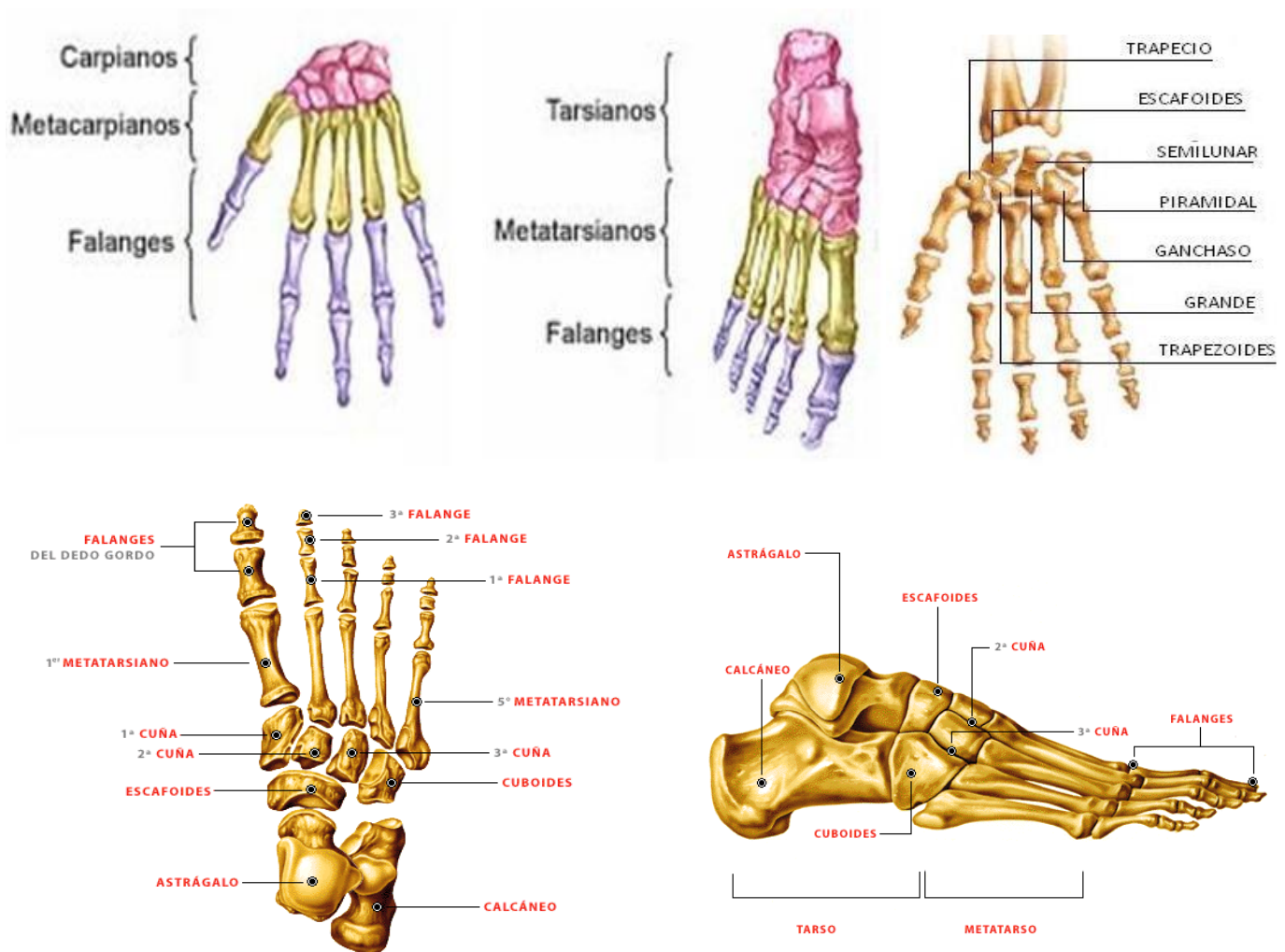


Figura 2.10. Ejemplos de los huesos cortos.



c) **Huesos Planos:** Tipo de hueso donde predominan la longitud y el ancho sobre su espesor. Están formados por tejido laminar compacto por fuera, denominado *áploe*, y tejido laminar esponjoso en el centro, denominado *díploe*. Este tipo de huesos se encuentra formando cavidades en el cuerpo, como los huesos del cráneo, de la caja torácica, entre otros.

## HUESOS PLANOS

- Los huesos planos, como los del cráneo, el esternón, las costillas o los huesos iliacos, son **delgados, planos y anchos**
- Cuentan con una capa externa de tejido óseo compacto, y están rellenos de tejido óseo esponjoso.

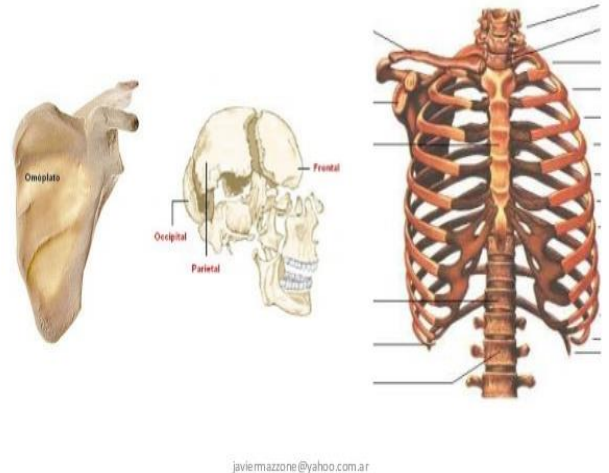
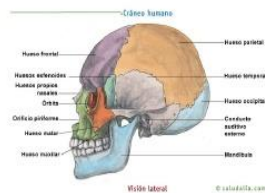


Figura 2.8. Ejemplos de los huesos planos.

d) **Huesos Irregulares:** Todos aquellos huesos que por su forma no se pueden clasificar en otro tipo. A éste tipo de huesos pertenecen las vértebras. Además, dentro de esta clasificación se encuentran los huesos neumáticos, que poseen cavidades llenas de aire. Los huesos que forman la cara tienen esta característica.

## CONFIGURACIÓN EXTERNA DE LOS HUESOS

- **HUESOS IRREGULARES:** forma diferente a los anteriores.
- Ejemplos:
  - Huesos de la cara.
  - Vértebras.

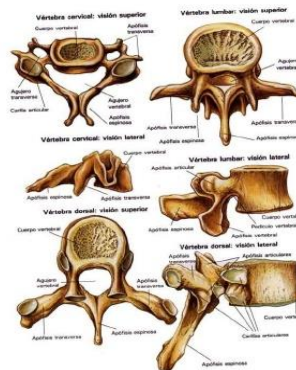


Figura 2.11. Ejemplos de los huesos planos.

## 2.3. Mecanismos de regeneración y regulación de resorción ósea

### ✧ Desarrollo del Hueso

Los primeros huesos son originados a nivel embrionario por medio de membranas. Además, en ciertos puntos del cuerpo el cartílago existente se transformará en hueso a medida que crecemos, proceso conocido como osificación.

La osificación consiste en la incorporación de sales minerales al cartílago, reemplazando su conformación original de sustancias orgánicas como el mucopolisacárido por sales de calcio y magnesio.

El lugar donde se produce este proceso en un hueso es conocido como centro de osificación. Se pueden distinguir dos tipos de desarrollo en un hueso: el crecimiento y el alargamiento. En el crecimiento de un hueso, la capa de periostio osteogénico crece alrededor del hueso, permitiendo su expansión en volumen.

El crecimiento ocurre durante toda la vida, siendo más lento al alcanzar la adultez, donde sólo sirve como renovador de tejidos. En el alargamiento de un hueso, el cartílago de crecimiento o metáfisis osifica el hueso, expandiéndolo hacia la epífisis y hacia la diáfisis, lo que provoca un alargamiento y por consiguiente un aumento de la estatura del individuo.

## DESARROLLO EMBRIONARIO DEL CARTILAGO Y EL HUESO

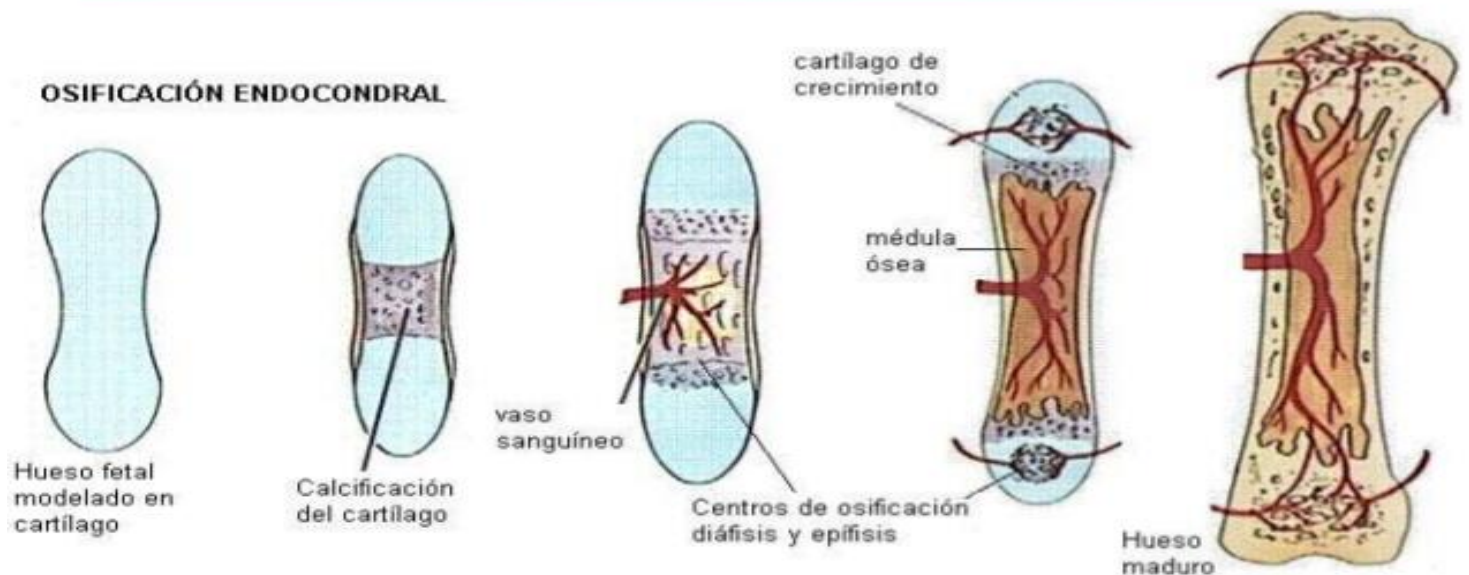


Figura 2.12. Desarrollo embrionario del hueso.

## ✧ **Formación del tejido óseo**

El hueso se forma por sustitución de un tejido conectivo preexistente (el cartílago). Dos tipos de osificación: intramembranosa (o directa) y endocondral (o indirecta).

Osificación intramembranosa (o directa). Tiene lugar directamente en el tejido conectivo. Por este proceso se forman los huesos planos de la bóveda del cráneo: hueso frontal, hueso occipital, hueso parietal y hueso temporal.

El mensénquima se condensa en conjuntivo vascularizado en el cuál las células están unidas por largas prolongaciones y en los espacios intercelulares se depositan haces de colágeno orientados al azar que quedan incluidos en la matriz (gel poco denso).

La primera señal de formación ósea es la aparición de bandas de matriz eosinófila más densas que se depositan equidistantemente de los vasos sanguíneos que forman la red. Las células se agrandan y se reúnen sobre las trabéculas, adquieren forma cuboidea o cilíndrica y permanecen unidas por prolongaciones cortas, se hacen más basófilas transformándose en osteoblastos que depositan matriz osteoide no calcificada.

Las trabéculas se hacen más gruesas, se secreta colágeno que forma fibras orientadas al azar formando hueso reticular (colágeno corre en todas las direcciones). Se depositan sales de calcio sobre la matriz (calcificación).

Debido al engrosamiento trabecular los osteoblastos quedan atrapados en lagunas y se convierten en osteocitos que se conectan con los osteoblastos de la superficie por medio de los canalículos. El número de osteoblastos se mantiene por la diferenciación de células primitivas del tejido conjuntivo laxo.

### INTRODUCCIÓN

- **La regeneración ósea se basa en:**
  - Existencia de células competentes
  - Presencia de matriz celular insoluble
  - Moléculas reguladoras de la función celular
- **Mecanismos de regeneración ósea:**
  - Osteogénesis → Osteoblastos
  - Osteoconducción → Matriz celular insoluble
  - Osteoinducción → Moléculas reguladoras del metabolismo óseo (BMP, Factores de crecimiento)

**Figura 2.13. Regeneración ósea.**

En las áreas de esponjosa que debe convertirse en hueso compacto las trabéculas siguen engrosándose hasta que desaparecen los espacios que rodean los vasos sanguíneos. Las fibras de colágeno se vuelven más ordenadas y llegan a parecerse al hueso laminar pero no lo son.

Donde persiste el esponjoso termina el engrosamiento trabecular y el tejido vascular interpuestos se transforma en tejido hematopoyético. El tejido conjuntivo se transforma en el periostio.

Los osteoblastos superficiales se transforman en células de aspecto fibroblástico que persisten como elementos osteoprogenitores en reposo ubicados en el endostio o el periostio pudiéndose transformar de vuelta en osteoblastos si son provocados.

Osificación endocondral (o indirecta). La sustitución de cartílago por hueso se denomina osificación endocondral. Aunque la mayoría de los huesos del cuerpo se forman de esta manera, el proceso se puede apreciar mejor en los huesos más largos, lo que se lleva a cabo de la manera siguiente:

Desarrollo del modelo cartilaginoso: En el sitio donde se formará el hueso, las células mesenquimatosas se agrupan según la forma que tendrá el futuro hueso. Dichas células se diferencian en condroblastos, que producen una matriz cartilaginosa, de tal suerte que el modelo se compone de cartílago hialino. Además se desarrolla una membrana llamada pericondrio, alrededor del modelo cartilaginoso.

Crecimiento del modelo cartilaginoso: Cuando los condroblastos quedan ubicados en las capas profundas de la matriz cartilaginosa, se les llama condrocitos. El modelo cartilaginoso crece en sentido longitudinal por división celular continua de los condrocitos, acompañada de secreción adicional de matriz cartilaginosa. Este proceso genera un aumento de longitud que se llama crecimiento intersticial (o sea, desde dentro).

En contraste, el incremento en el grosor del cartílago se debe principalmente a la adición de matriz en la periferia del modelo por nuevos condroblastos, los cuales evolucionan a partir del pericondrio.

Desarrollo del centro de osificación primario: Una arteria nutricia penetra en el pericondrio y en el modelo cartilaginoso en calcificación a través de un agujero nutricio en la región central del modelo cartilaginoso, lo cual estimula que las células osteógenas del pericondrio se diferencien en osteoblastos.

Estas células secretan, bajo el pericondrio, una lámina delgada de hueso compacto, llamada collar de matriz ósea. Cuando el pericondrio empieza a formar tejido óseo, se le conoce como periostio. Cerca del centro del modelo crecen capilares periósticos en el cartílago calcificado en desintegración.



El remodelado óseo es un proceso por el que el hueso repara su desgaste y atiende a necesidades metabólicas como el aporte de calcio y fósforo a otros tejidos. Este proceso se lleva a cabo en unidades básicas multicelulares, donde los osteoclastos se encargan de eliminar la porción de hueso "gastado" y, a continuación, los osteoblastos forman una matriz que posteriormente mineralizan para rellenar con hueso nuevo la cavidad producida por los osteoclastos.

El remodelado óseo está finamente regulado por una serie de factores, tanto sistémicos como locales, que mantienen la masa ósea en condiciones normales. El hueso es un tejido dinámico y metabólicamente activo que sufre un continuo proceso de remodelado, lo que confiere al esqueleto su capacidad regenerativa y de adaptación funcional. El remodelado óseo existe toda la vida, pero sólo hasta la tercera década el balance es positivo (predomina la formación frente a la resorción).

Este proceso tiene lugar en las llamadas unidades básicas de remodelado, formadas por diferentes tipos celulares. En un primer frente se encuentran los osteoclastos, seguidos de un frente de osteoblastos, un aporte vascular y nervioso, y tejido conectivo.

La regulación del proceso es compleja, ya que están implicados multitud de componentes que incluyen factores genéticos, mecánicos, vasculares, hormonales y locales. Además, algunos de estos factores también ejercen efectos directos sobre los osteoblastos y los osteoclastos.

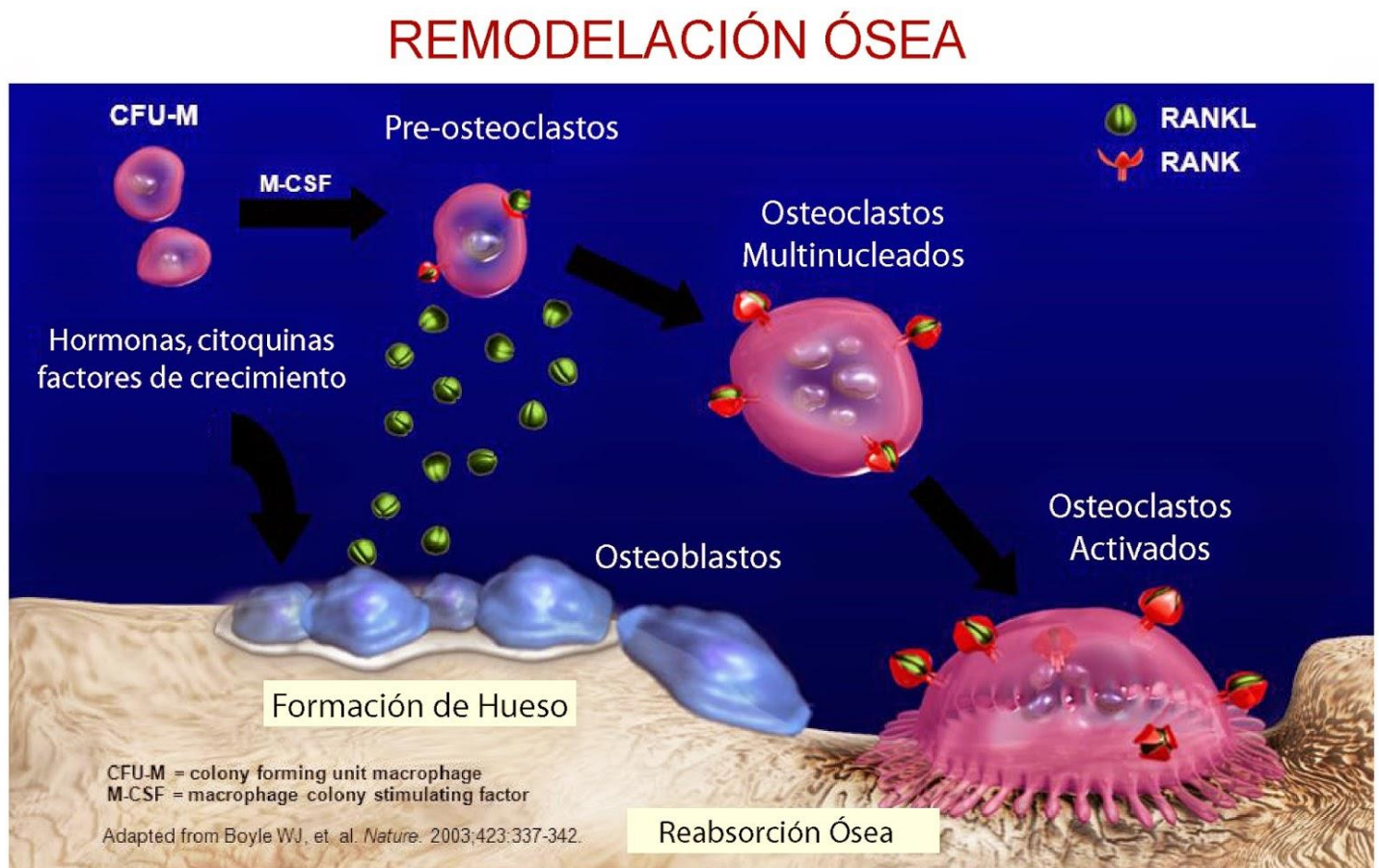


Figura 2.14. Remodelación ósea.

✓ Factores reguladores del remodelado óseo:

1. Factores genéticos: son determinantes ya que entre el 60 y el 80% de la masa ósea se encuentra determinada genéticamente.
2. Factores mecánicos: la actividad física es fundamental para el desarrollo del hueso. Así, la acción muscular transmite tensión al hueso, activando osteocitos y osteoblastos para estimular la formación ósea. Por el contrario, la falta de actividad muscular tiene un efecto deletéreo sobre el hueso y acelera la reabsorción ósea.
3. Factores vasculares: la vascularización es fundamental para el remodelado óseo ya que permite el acceso de células sanguíneas, oxígeno, minerales, iones, glucosa, hormonas y factores de crecimiento al entorno óseo.
4. Factores hormonales: el desarrollo normal del esqueleto está condicionado por el correcto funcionamiento del sistema endocrino, fundamentalmente de la hormona somatotropa (hormona de crecimiento) y las hormonas calciotropas, entre ellas la parathormona (PTH), la calcitonina y los metabolitos de la vitamina D. Estas hormonas actúan a distancia de su lugar de producción (efectos endocrinos), pero también regulan la síntesis y acción de factores locales que intervienen directamente en el metabolismo óseo (efectos autocrinos y paracrinos).
5. Factores locales: el remodelado óseo está regulado por multitud de factores locales, entre los que destacan los factores de crecimiento, las citoquinas y las proteínas de la matriz ósea, como moduladores de la acción de hormonas calciotropas entre otros factores que afectan al metabolismo óseo.

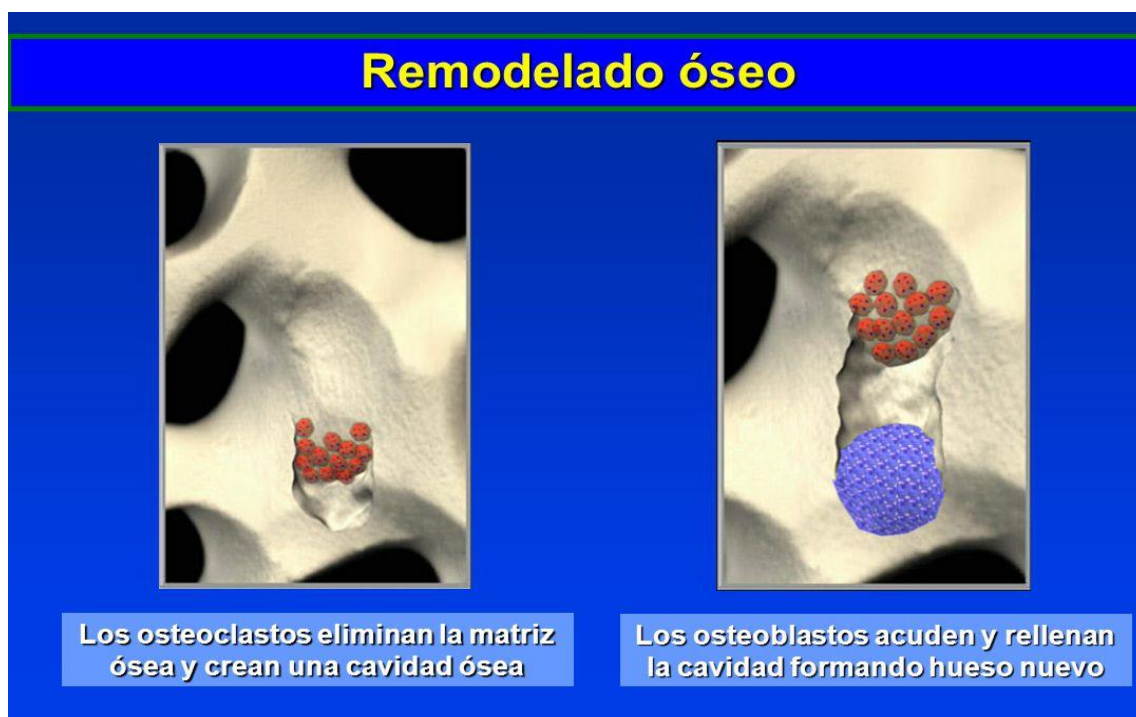


Figura 2.15. Ejemplo del Remodelado óseo.

✓ Fases del remodelado óseo:

El remodelado óseo se puede dividir en diferentes fases (Figura 2.16).

- A. Fase quiescente: el hueso se encuentra en condiciones de reposo.
- B. Fase de activación: esta fase comienza gracias a la retracción de los osteoblastos maduros elongados existentes en la superficie endostal y la digestión de la membrana en dicha superficie por la acción de las colagenasas. Al quedar así expuesta la superficie mineralizada se produce la atracción de células osteoclasticas y sus precursores desde los vasos próximos.
- C. Fase de resorción: en esta fase los osteoclastos comienzan a disolver la matriz mineral y a descomponer la matriz osteoide. Este proceso finaliza por la actividad "carroñera" de los macrófagos y permite la liberación de los factores de crecimiento contenidos en la matriz.
- D. Fase de nueva formación: simultáneamente en las zonas reabsorbidas se produce el fenómeno de agrupamiento de preosteoblastos, atraídos por los factores de crecimiento liberados de la matriz ósea que actúan como quimiotácticos y estimulan su proliferación.
- E. Fase de mineralización: el osteoide comienza a mineralizarse en esta fase, seguida de nuevo por una fase quiescente o de descanso. Cuando este proceso se desequilibra por diversos factores (déficit de estrógenos, envejecimiento,...) aparece la patología ósea, como ocurre en la osteoporosis.

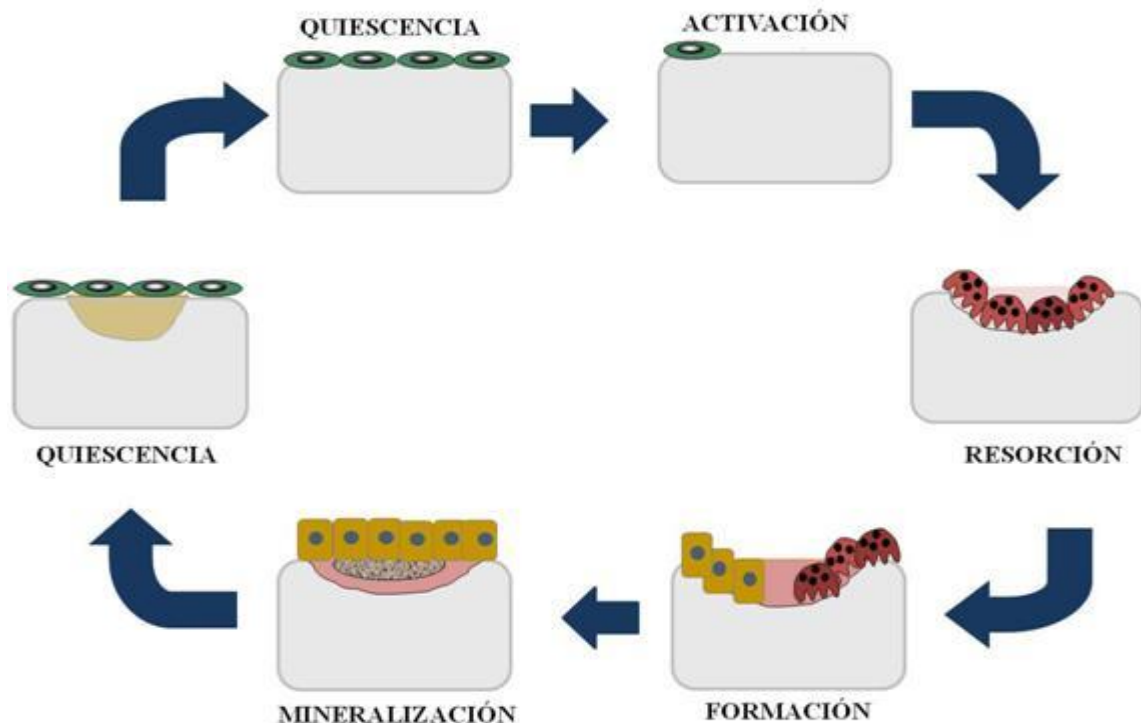


Figura 2.16. Diferentes fases del remodelado óseo.

## **Alteraciones de los huesos**

El sistema esquelético está expuesto a patologías de naturaleza circulatoria, inflamatoria, neoplásica, metabólica y congénita, tal como los otros órganos del cuerpo. Aunque no existe un sistema estandarizado de clasificación, los trastornos de los huesos son numerosos y variados.

### *a) Deformaciones*

Las malformaciones congénitas de los huesos no son muy frecuentes, y por lo general incluyen la ausencia de algún hueso tal como una falange o la formación de huesos adicionales como una costilla. Otras deformaciones incluyen el sindactilismo, que es la fusión de dos dedos adyacentes; o el aracnodactilismo, en la que aparecen dedos con la apariencia de una araña, asociado con el síndrome de Marfan. La acondroplasia es el trastorno del crecimiento óseo más frecuente y la principal causa de enanismo.

### *b) Fracturas*

Una de las afecciones óseas más comunes es la fractura. Estas se resuelven por procesos naturales, tras la alineación e inmovilización de los huesos afectados. En el proceso de cura, los vasos sanguíneos dañados desarrollan una especie de hematoma óseo que servirá como adhesivo y posteriormente se irá formando un tejido fibroso o conjuntivo compuesto por células llamadas osteoblastos, las cuales crearán un callo óseo que unirá las partes separadas.

Sin embargo, la falta de tratamiento o inmovilización puede ocasionar un crecimiento anormal. Los métodos para acelerar la recuperación de un hueso incluyen la estimulación eléctrica, ultrasonido, injertos óseos y sustitutos orgánicos con compuestos cálcicos, tales como huesos de cadáveres, coral y cerámicas biodegradables.

### *c) Osteogénesis imperfecta*

La osteogénesis imperfecta es más conocida como la enfermedad de los huesos de vidrio. Es una enfermedad congénita que se caracteriza porque los huesos de las personas que la padecen se parten muy fácilmente, con frecuencia tras un traumatismo o a veces sin causa aparente. Esta enfermedad es causada por la falta o insuficiencia del colágeno, por causa de un problema genético.

### *d) Osteoporosis*

La osteoporosis es el término general para definir la porosidad del esqueleto causada por una reducción de la densidad ósea. La osteoporosis secundaria es la más frecuente y asociada con la tercera edad, la menopausia y la actividad física reducida.



## 2.4. Relaciones estructura-propiedades de materiales biológicos

Debido a que los biomateriales restauran funciones de tejidos vivos y órganos en el cuerpo, es esencial entender las relaciones existentes entre las propiedades, funciones y estructuras de los materiales biológicos, por lo que son estudiados bajo tres aspectos fundamentales: materiales biológicos, materiales de implante y la interacción existente entre ellos dentro del cuerpo. Dispositivos como miembros artificiales, amplificadores de sonido para el oído y prótesis faciales externas, no son considerados como implantes.

La biomecánica se encarga de estudiar la mecánica y la dinámica de los tejidos y las relaciones que existen entre ellos; esto es muy importante en el diseño y el injerto de los implantes. Después de realizado un injerto, no se puede hablar del éxito de un implante, este se debe considerar en términos de la rehabilitación del paciente; por ejemplo, en el implante de cadera se presentan cuatro factores independientes: fractura, uso, infección y desprendimiento del mismo.

La caracterización física de las propiedades requeridas de un material para aplicaciones médicas, varía de acuerdo con la aplicación particular. Debemos considerar que las pruebas fisicoquímicas de los materiales para implante in vivo son difíciles, si no imposibles. Las pruebas in vitro deben ser realizadas antes del implante. La fabricación y el uso de los materiales depende de sus propiedades mecánicas, tales como resistencia, dureza, ductilidad, etcétera. Las propiedades elásticas y viscoelásticas serán caracterizadas antes que las estáticas y dinámicas.

La naturaleza (iónico, covalente y metálico), y la fuerza de los enlaces atómicos determinan qué tan estable es el material cuando se le aplica una carga, es decir, cuando se le somete a un esfuerzo de tipo mecánico; este tipo de propiedades son conocidas como mecánicas. Cuando se determina la estabilidad del material en función de cambios en la temperatura, se habla de propiedades térmicas.

Hoy en día, el área médica demanda materiales con apropiadas **propiedades mecánicas, biocompatibles** y, en algunos casos, de **alta bioactividad** al estar en contacto con ambientes biológicos.

Las demandas de este tipo de materiales va cada vez mas demandante acorde a los **avances de la tecnología y la cirugía medica.**



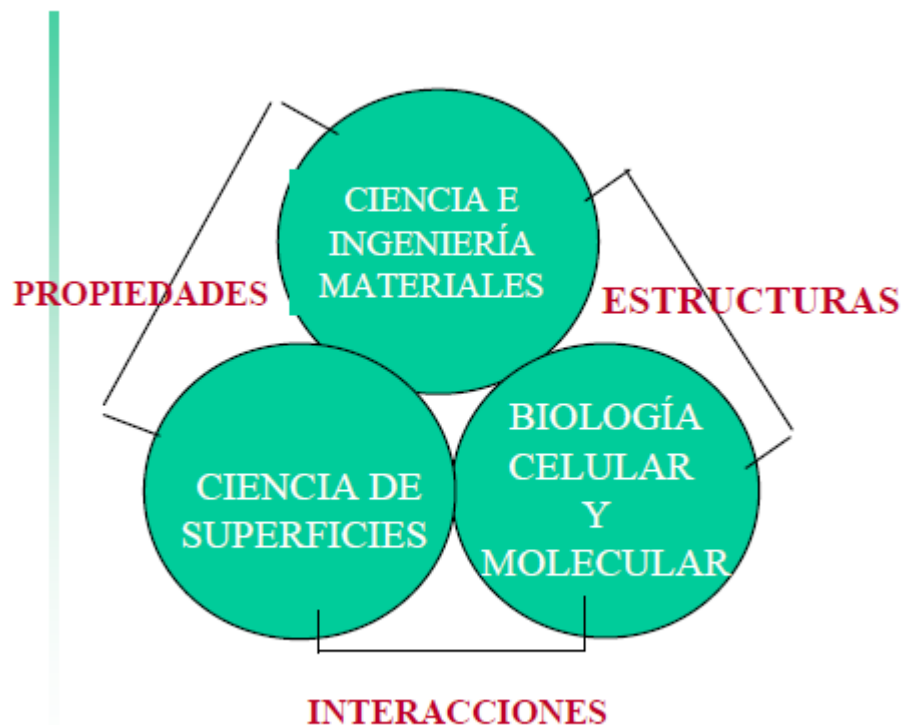
Figura 2.17. Relaciones estructura-propiedades de materiales biológicos.

Las proteínas, ácidos nucleicos y los complejos macromoleculares que forman orquestan todos los procesos celulares. El mecanismo de actuación de las macromoléculas está íntimamente ligado a la disposición de las cadenas de aminoácidos y nucleótidos: la forma de la molécula determina qué compuestos (hormonas, toxinas, nutrientes, etc) pueden unirse a ella y qué reacciones químicas es capaz de realizar o catalizar; el conocimiento de la estructura tridimensional de estas macromoléculas no solo arroja información sobre los procesos biológicos, sino que también tiene importantes aplicaciones prácticas.

La gran cantidad de datos biológicos obtenidos mediante las diversas técnicas experimentales han resultado en el desarrollo de métodos computacionales para buscar y analizar secuencias de ADN que dan lugar a configuraciones similares en proteínas y para la predicción de la estructura secundaria y terciaria de estas.

Aunque la predicción estructural no ha alcanzado aún resultados con el grado de exactitud de las estructuras cristalográficas, es una fuente de información valiosa para las secuencias cuya estructura no se puede determinar experimentalmente.

La predicción de la estructura se puede llevar a cabo ab initio, utilizando principios de mecánica molecular combinados con dinámica molecular, simulaciones Monte Carlo o fragmentos de elementos de estructura secundaria estándar; estas técnicas son efectivas para polipéptidos de un tamaño menor de 150 aminoácidos. En el caso de moléculas más grandes, se recurre a la comparación con estructuras previamente conocidas, o modelado por homología



**Figura 2.17.Bis Relaciones estructura-propiedades de materiales biológicos.**

## **2.5. Tipos de biomateriales:**

### **Biocompatibles, bioactivos, biodegradables, osteointegración, biodegradación.**

Como se ha dicho en la definición de biomaterial, el fin de éste será entrar en contacto con un sistema biológico por lo que debe poseer unas propiedades características tanto mecánicas como biológicas. La característica esencial y que deben cumplir todos los biomateriales es la biocompatibilidad, la cual se entiende como “la cualidad de no inducir efectos tóxicos o dañinos sobre los sistemas biológicos donde actúan, devolviendo una respuesta apropiada por parte del receptor y con un fin específico”.

Debido a las características del sistema inmunológico cuando se introduce un cuerpo extraño en el organismo éste tiende a rechazarlo o incluso a atacarlo, generando dolores, inflamaciones, que pueden provocar la retirada de dicho material.

Por lo tanto, se debe garantizar la biocompatibilidad antes de proceder a la intervención, y aún así, esperar un cierto tiempo después de la operación a que el cuerpo extraño no produzca efecto dañino en el organismo.

La biocompatibilidad no es blanco o negro, existe un índice de compatibilidad, el cual nos indica lo adecuado o no de ese material, para ser utilizado como biomaterial en un ser vivo, teniendo en cuenta su aplicación.

Otra característica a tener en cuenta en la gran mayoría de biomateriales es su biodegradabilidad. Esta propiedad también está presente en todos los materiales convencionales como plásticos, vidrios, o incluso calcetines de lana. Todo es biodegradable, aunque el tiempo en que su descomposición ocurra no sea el mismo.

Se define biodegradabilidad como la resistencia de una sustancia a ser descompuesta en los elementos químicos que la componen por la acción de organismos vivos, normalmente microorganismos, bajo condiciones ambientales. A mayor biodegradabilidad; más fácil su descomposición.

Un ejemplo claro se puede encontrar en la ingeniería de tejidos, donde gracias a esta propiedad se puede implantar un material que se comporte como sustituto temporal del tejido dañado, mientras éste se regenera.

Progresivamente la masa del biomaterial irá disminuyendo por acción propia de las células del organismo, metabolismo, y por mecanismos físico-químicos, como la hidrólisis, de forma controlada hasta desaparecer completamente en el tiempo adecuado.

A veces los términos reabsorbible y degradable se utilizan en la bibliografía como sinónimos, si bien habría que destacar un matiz entre reabsorbible, que el organismo es capaz de metabolizar; y degradable, que se descompone después de un periodo de tiempo.

En el caso de los implantes, la biodegradabilidad es muy importante ya que evita una segunda cirugía para eliminar el implante. Se debe garantizar también en el biomaterial que será químicamente estable y que tendrá un comportamiento eléctrico adecuado para su aplicación.

Además, debido a la progresiva pérdida de masa, las propiedades mecánicas se verán afectadas. Por lo tanto otro aspecto a tener en cuenta a la hora de diseñar un biomaterial serán sus propiedades mecánicas, como la resistencia mecánica y a fatiga, que dependerán de su aplicación.

Otra propiedad muy importante de un biomaterial a tener en cuenta es que no sea tóxico ni cancerígeno, ya que estará en contacto con seres vivos. Se podría continuar citando propiedades, pero éstas parecen suficientes para describir lo que es un biomaterial de forma general.

A continuación, se citan algunas formas de clasificación de los biomateriales, teniendo presente la cantidad de posibles clasificaciones que existen:

☆ Según su origen:

- ▲ Natural, por ejemplo seda, lana, colágeno.
- ▲ Sintético, comúnmente denominados materiales biomédicos.

☆ Dentro de los sintéticos y según su naturaleza:

- ▲ Polímeros. Tienen propiedades cercanas a los tejidos vivos. Son los biomateriales más usados en implantes e ingeniería de tejidos.
- ▲ Metales. Poseen buenas propiedades mecánicas. Usados, por ejemplo, en prótesis ortopédicas, implantes dentales.
- ▲ Cerámicos. Son químicamente inertes y estables. Usados, por ejemplo, en prótesis óseas, válvulas de corazón.
- ▲ Compuestos. Sus propiedades son muy variadas según los elementos que los constituyan. Usados en todos los campos de la bioingeniería.

☆ En función de la respuesta del propio organismo: o Inertes

- ▲ Bioactivos
- ▲ Reimplantados
- ▲ Biodegradables
- ▲ No degradables



# Clasificación de los Biomateriales



Cuando un material no es biocompatible su introducción en el organismo genera:



Inflamación



Granulomas



Rechazo



Necrosis

Figura 2.18. Clasificación de los biomateriales.

## Biocompatibles

La biocompatibilidad se refiere a la capacidad de un biomaterial para desempeñar la función deseada de acuerdo con el tratamiento médico, sin provocar ningún efecto indeseable local o sistémico en el beneficiario de la terapia, pero al mismo tiempo generando la mejor respuesta celular o del tejido en esa situación específica. Existen diversos materiales utilizados en ingeniería de tejidos, los cuales se pueden subdividir en materiales naturales y materiales sintéticos. Dentro de los naturales se incluyen, por ejemplo, el colágeno, los glicosaminoglicanos (GAGs), quitosano y alginatos.

Las ventajas de estos es que poseen una baja toxicidad y una baja respuesta inflamatoria crónica. Sin embargo, dentro de sus desventajas se encuentran las pobres propiedades mecánicas, así como estructuras complejas, que pueden dificultar su manipulación. Es por ello que tienen la posibilidad de combinarse con otros materiales naturales o sintéticos, con el fin de mejorar las propiedades mecánicas manteniendo la biocompatibilidad. Los materiales biocompatibles son llamados biomateriales.

El término biocompatibilidad se aplica principalmente a los materiales médicos en contacto directo, breve o prolongado, con los tejidos y fluidos internos del cuerpo como las sondas, las jeringuillas, las prótesis, etc.

- ✓ Si se trata de un contacto breve intervienen la posible toxicidad o no del material, y el que pueda producir una reacción alérgica en el individuo.
- ✓ Si se trata de un contacto prolongado interesa además cual debe ser la reacción deseada del tejido receptor:
- ✓ Que no reaccione con el huésped (materiales bioinertes), como el caso de la sutura de una herida con seda.
- ✓ Que se degrade o se reabsorba para ser reemplazado por el tejido del huésped (materiales bio-reabsorbibles o biodegradables), como el caso de una sutura interna con catgut.
- ✓ Que reaccione con el tejido en que se implanta dando lugar a una fuerte unión entre ambos (materiales bioactivos), como el caso de los implantes dentales o los implantes ortopédicos.



Figura 2.19. Ejemplos de materiales biocompatibles.

# BIOCOMPATIBILIDAD



## BIOCOMPATIBILIDAD

## REQUISITOS DE LA BIOCOMPATIBILIDAD

1. No deben ser peligrosos para la pulpa y tejidos blandos.
2. No deben contener sustancias tóxicas que puedan ser liberadas y absorbidas en el sistema circulatorio y causar respuesta tóxica generalizada.



Figura 2.20. Ejemplos de materiales biocompatibles y requisitos.



## Bioactivos

El concepto de material bioactivo es intermedio entre reabsorbible y bioinerte. Un material bioactivo es aquel que promueve una respuesta biológica específica en la interacción del material que conduce a la formación de un enlace entre los tejidos y el material. Este concepto ha sido hoy expandido e incluye un gran número de materiales bioactivos con un amplio espectro de tasas de enlace y de espesor de capa de enlace interfacial. Se incluyen: vidrios bioactivos, vitrocerámicas bioactivas, hidroxiapatita y composites.

Todos ellos forman un enlace con el tejido adyacente. Sin embargo, el tiempo de formación, la resistencia, el mecanismo y el espesor de la zona de enlace difiere entre los distintos materiales. Debe tenerse en cuenta que pequeñas variaciones de composición pueden tener un gran efecto dado que el material puede resultar bioinerte, reabsorbible o bioactivo. El proceso bioactivo es producir un material susceptible de desarrollar enlaces fuertes y duraderos con el tejido vivo. Este mecanismo se caracteriza por una modificación de la superficie del material, dependiente del tiempo de contacto con el fluido fisiológico, que ocurre durante la implantación.

Los mecanismos involucrados en la respuesta de los tejidos a los biomateriales presentan una elevada complejidad debido a la gran variedad de factores relacionados con la naturaleza del material, especialmente la topografía superficial y la estructura matricial, y con el medio fisiológico circundante. Estos mecanismos no se han dilucidado completamente y siguen siendo motivo de estudio e investigación en el ámbito de los biomateriales.

Desde un punto de vista experimental, existen diversos métodos para evaluar la bioactividad de un material. Uno de los más utilizados actualmente por la comunidad científica es el ensayo in vitro que consiste en sumergir el vidrio en un fluido corporal simulado (Simulated Body Fluid, SBF) que es un fluido con las concentraciones de iones similares a las del plasma sanguíneo humano.

### Ejemplos de Biomateriales activos

**Hidroxiapatita (HAP):** cuya fórmula empírica es  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ , es el mineral principal de los huesos, representando alrededor del 43 % en peso. También aparece en los dientes: en esmaltes y dentina (tejido intermedio, más blando que el esmalte). Es el segundo tejido más duro del cuerpo. Es amarillento, y su alto grado de elasticidad protege al esmalte suprayacente contra las fracturas. Sus ventajas son que es estable y biocompatible.

**Fosfato de calcio (TCP):** También llamado fosfato tricálcico (de allí lo de TCP). Fue usado como biocerámica en los años 20, su fórmula molecular es  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ , y hoy día solo se usa combinado con HAP. Ambos compuestos tienen estructura cristalina hexagonal y su relación Ca/P no es muy diferente. Se considera una biocerámica bioactiva porque se vio que, igual que la HAP, produce osteogénesis.



**Vitrocerámicas:** Todas son vidrios, cuya composición hace que tengan en común un bloque de construcción básico: el  $\text{SiO}_4^{4-}$ . Hay dos vitrocerámicas que se han desarrollado mucho como biomateriales: Bioglass® y Ceravital®. El uso de éstos se debe más a sus propiedades químicas que físicas: tienen una baja expansión térmica, pero sus propiedades mecánicas son inferiores a las que proporciona la alúmina u otras cerámicas bioinertes.

**Composites:** Los materiales compuestos (composites en inglés), contienen 2 o más materiales constituyentes diferentes o fases, que son capaces de actuar de manera sinérgica para dar propiedades superiores a las establecidas por cada componente por separado. Los materiales biológicos naturales tienden a ser composites (por ejemplo: los huesos, madera, dentina, cartílago, piel...). Cada constituyente del material compuesto debe ser biocompatible, y la interfase entre los constituyentes no debe ser degradada una vez incorporada al paciente por su organismo.

**Nanocomposites:** Es un material multifase sólido donde una de las fases tiene una, dos o tres dimensiones de menos de 100 nm. En el sentido más amplio, esta definición puede incluir medios porosos, coloides, geles y copolímeros. Las propiedades electroquímicas, mecánicas, eléctricas, térmicas... de los nanocomposites difieren notablemente de la de los materiales constituyentes.

**SUPERFICIE BIOACTIVAS**

Bioactivo son materiales "promueven una respuesta específica en la interfaz del material, lo cual resulta en la formación de un enlace químico entre los tejidos y el material".

Hench 1996, 1972, Kokubo 1990

Forman Uniones con los tejidos vivos, Osteoconductores facilita la colonización sobre su superficie de las células Osteogénica y posteriormente su crecimiento y maduración.

Lbrektsen 2004, Ellingsen 2006, Miradian-Oldak 2006

Figura 2.21. Definición de materiales bioactivos y ejemplos.

## Biodegradables

El campo de los biomateriales ha experimentado un importante cambio de mentalidad durante los últimos años, viéndose impulsada la investigación en nuevos materiales biodegradables y reabsorbibles para la sustitución y regeneración de tejidos.

Así, si bien hasta el momento se trataba de sustituir el tejido dañado por un biomaterial que cumpliera con las exigencias del tejido sustituido, actualmente se persigue el desarrollo de nuevos materiales capaces de interactuar con el tejido dañado mediante la estimulación de diferentes respuestas celulares en función de las características superficiales de los mismos, a la vez que son lentamente degradados y reabsorbidos por caminos metabólicos hasta su total desaparición en el organismo, una vez restablecida la función del tejido.

La biodegradabilidad de un biomaterial es cuando puede descomponerse en los elementos químicos que lo conforman, debido a la acción de agentes biológicos, como microorganismos bacterias o procesos metabólicos, bajo condiciones del cuerpo humano.

Se define como biodegradación la ruptura gradual de un material mediado en o por un sistema biológico, siendo o no éste último la causa del proceso de degradación. Los fragmentos resultantes pueden ser desplazados de su lugar de implantación, pero no necesariamente fuera del organismo, en particular si pueden ser depositados en algún otro tejido del receptor.

Se reserva el término de biorreabsorbible para aquellos sistemas poliméricos capaces de degradarse en componentes de menor peso molecular incluidos normalmente en vías metabólicas, o eliminados al menos a través de las vías naturales del organismo. El concepto de bioabsorbible hace referencia a la eliminación del lugar de implantación, sin degradación previa de macromoléculas, como el caso de la lenta disolución de implantes hidrosolubles en los fluidos corporales



**Figura 2.22. Ejemplos de materiales biodegradables.**

## Osteointegración

El proceso de osteointegración se define como una conexión directa, estructural y funcional entre el hueso vivo, ordenado, y la superficie de un implante sometido a carga funcional. El uso de esta técnica quirúrgica moderna permite al paciente que ha sufrido una pérdida dental, o que requiere un reemplazo protésico articular o segmentario, una recuperación plena de la función.

La elección del titanio se debe a que este metal en contacto con la atmósfera se oxida en milisegundos transformándose su superficie en óxido de titanio.

Dicho óxido se comporta como un material bioinerte, es decir que no produce rechazo, reacción natural del organismo ante la presencia de un cuerpo extraño que deriva habitualmente en complicaciones clínicas.

Además, el titanio presenta unas características mecánicas muy adecuadas, ya que su dureza permite soportar cargas oclusales elevadas, y su módulo elástico es muy parecido al del hueso.

Para que se produzca la osteointegración, hay que realizar una correcta técnica quirúrgica, dependiendo el éxito de la presencia o ausencia de procesos inflamatorios, del diseño del implante y del tiempo en el que el implante se mantenga libre de cargas, que debe ser alrededor de 6 meses.

En la actualidad, las técnicas más avanzadas permiten proporcionar una prótesis con dientes fijos sobre implantes dentales a los pocos días o incluso a las horas de su colocación. Empezando un proceso de osteointegración dinámica ya que el implante recibe la carga mientras se produce la osteointegración.

Un problema que debe tenerse en cuenta antes de realizar la técnica de implantes, es el relativo a las bocas que sufren un encogimiento excesivo o irreversible del hueso alveolar debido a factores como la edad, el sexo o los componentes metabólicos.

La osteointegración es el proceso mediante el cual el implante se integra con el hueso alveolar, hueso que sostiene la porción de diente natural. Para que dicha osteointegración se produzca es necesario que se den ciertas condiciones:

- ✓ La zona donde se va a realizar el implante debe encontrarse absolutamente estéril.
- ✓ El implante debe realizarse entrando en contacto directo con el hueso, para que se produzca el proceso de osteointegración de manera natural.
- ✓ El hueso debe conseguir integrarse incluso en las ranuras del implante colocado.
- ✓ Se debe respetar un tiempo de curación de 3 a 4 meses para el maxilar inferior y de 4 a 6 meses para el maxilar superior.



**LA OSTEointegración**

CLÍNICA  
dental  
NAVARRO

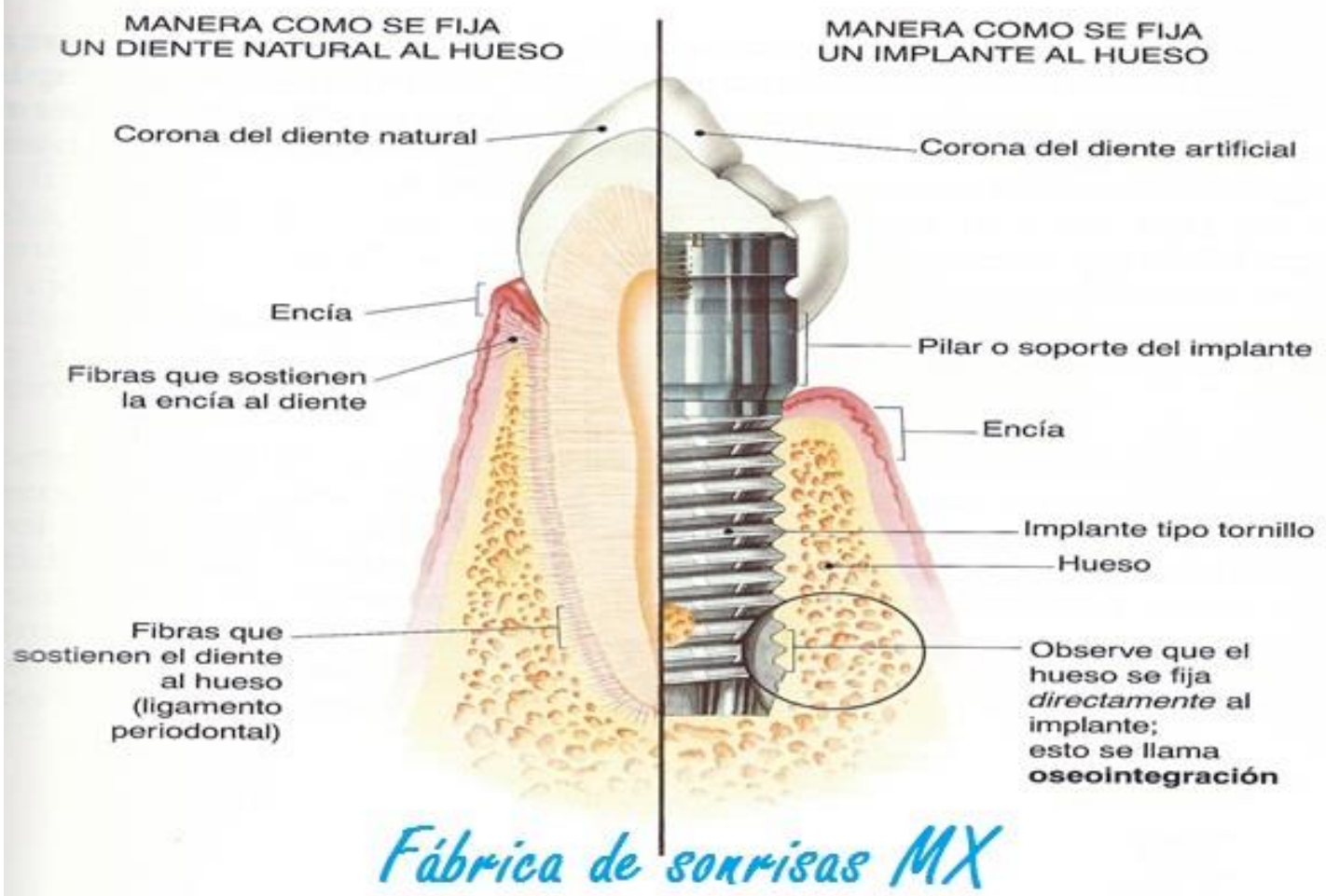


Figura 2.22. Ejemplos de osteointegración.



## Biodegradación

Actualmente existen numerosos polímeros utilizados en el campo biomédico. Algunos de ellos son estables, y son utilizados para aplicaciones permanentes, como el poli(metilmacrilato) (PMMA), o el polietileno (PE). En los últimos años se han ido introduciendo los polímeros biodegradables, para aplicaciones temporales. Kulkarni et al. Introdujeron en los años 60, el concepto de material bioabsorbible.

Estos materiales tienen la capacidad de ser compatibles con el tejido y de degradarse cierto tiempo después de ser implantados dando lugar a productos que no son tóxicos y pueden ser eliminados por el organismo o metabolizados por éste. Generalmente, este grupo está representado por los polímeros biodegradables, aunque existen ciertos materiales cerámicos los cuales también son reabsorbibles.

Existen algunas características que deben presentar los materiales biodegradables para poder ser utilizados como implantes en el organismo humano, por ejemplo, los materiales y sus sub-productos no deben ser mutagénicos, carcinogénicos, antigénicos, tóxicos y, lógicamente deben ser antisépticos, esterilizables, compatibles con el tejido receptor, de fácil procesado y capaz de conformarse en distintas formas entre otros requisitos.

Hoy en día, una gran parte de la investigación en el área de los polímeros para aplicaciones biomédicas se encuentra dirigida sobre todo al desarrollo de polímeros sintéticos. Respecto a la naturaleza de estos polímeros, podemos decir que existen dos grandes familias, los polímeros de origen sintético, como por ejemplo el polímero láctico, y los de origen natural, como el colágeno o dextrano.

Los primeros polímeros degradables desarrollados y los más comúnmente utilizados son los obtenidos a partir del ácido poliglicólico (PGA) y del ácido poliláctico (PLA), los cuales han encontrado una multitud de usos en la industria médica, comenzando con las suturas biodegradables que fueron aprobadas en 1960.

Desde entonces numerosos dispositivos basados en PGA y PLA han sido desarrollados, así como también otros materiales, como la polidioxanona, polimetileno-carbonato en forma de copolímeros y homopolímeros y copolímeros de poli( $\epsilon$ -caprolactona), los cuales han sido aceptados como materiales de uso biomédico. Adicionalmente a estos materiales, se encuentran los polianhídridos, los poliortoésteres y otros que actualmente se encuentran bajo investigación.

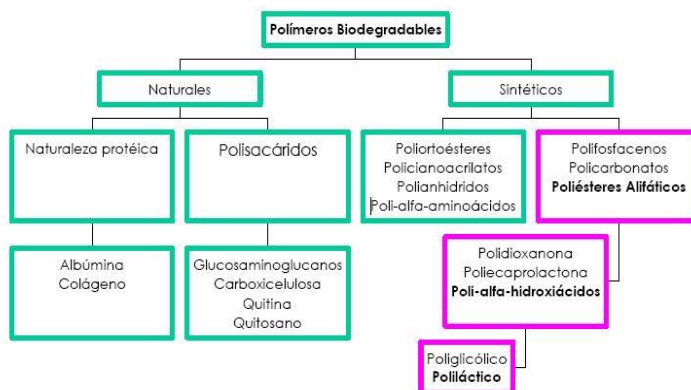


Figura 2.23. Clasificación de los polímeros biodegradables.

## 2.6. Necesidades de fabricación de sustitutos óseos

La necesidad de tratar defectos óseos de diferente etiología, magnitud y localización ha estimulado enormemente la búsqueda y desarrollo de materiales capaces de sustituir al hueso. El autoinjerto, pese a ser el injerto ideal por su comportamiento en la mayoría de las situaciones, presenta una morbilidad intrínseca en su obtención, una limitación en cuanto a la cantidad y morfología del mismo, y un coste económico no desdeñable.

Los bancos de huesos permiten resolver gran parte de las necesidades actuales, pero se acompañan de una problemática específica de tipo económico, de infraestructura y médico-legal entre otras.

El sustituto óseo ideal debería ser osteogénico, biocompatible, bioabsorbible, capaz de proporcionar soporte estructural y de vehicular otras sustancias, fácilmente utilizable en clínica y con una adecuada proporción coste-beneficio. Por otra parte, sería deseable que en determinadas aplicaciones una o varias de dichas características predominasen sobre otras en función de la necesidad del caso a tratar

### SUSTITUTOS ÓSEOS

- ▶ Son estructuras porosas que, implantadas en el hueso, sirven como puente para la formación de hueso.
- ▶ Evitan dejar espacios vacíos u ocupados por tejidos blandos. Los sustitutos óseos están indicados para el relleno de cavidades, no para estabilidad mecánica.
- ▶ Entre sus contraindicaciones figuran la infección y la osteomielitis.

### SUSTITUTOS ÓSEOS

#### Características generales

- ▶ Todo material a emplear como sustituto óseo debe cumplir una serie de requisitos:
  - ❖ Bioabsorción
  - ❖ Biocompatibilidad
  - ❖ Osteoconducción / Osteoinducción
  - ❖ Estructuralmente similar al hueso
  - ❖ Fácil manejo
  - ❖ Relación coste / efectividad adecuada

PROPIEDAD	
Osteogénesis	Contiene células capaces de generar hueso
Osteoconducción	Promueve la formación ósea por aposición, sirve como matriz para facilitar la formación ósea
Osteoinducción	Da estímulo biológico para diferenciar células del medio de osteoblastos

Figura 2.24. Descripción, características generales y propiedades de los sustitutos óseos.

En los últimos años, la idea de contar con materiales capaces de sustituir al hueso se ha desarrollado progresivamente. Entre otras razones, se argumenta que la obtención de un autoinjerto no está exenta de morbilidad, existe una limitación en cuanto a la cantidad a obtener y a la morfología anatómica del mismo, pese a ser el injerto ideal por su comportamiento en la mayoría de las necesidades. Por otra parte, se ha calculado que el coste económico de la obtención de un autoinjerto de cresta ilíaca y el tratamiento de su morbilidad puede exceder de los \$ 5.000 por caso.

El sustituto óseo ideal debería ser osteogénico, biocompatible, bioabsorbible, capaz de proporcionar soporte estructural y de vehiculizar otras sustancias, fácilmente utilizable en clínica y con una adecuada proporción coste-beneficio. En la práctica sería deseable que en determinadas aplicaciones una o varias de dichas características predominasen sobre otras en función de la necesidad del caso a tratar.

Los sustitutos óseos pueden emplearse en el relleno de pequeñas cavidades, o mezclados con el autoinjerto óseo con la finalidad de incrementar el volumen del mismo, permitiendo su aplicación en situaciones en las que se requiere un gran volumen de injerto, tales como el tratamiento quirúrgico de la escoliosis, la cirugía de revisión de prótesis articulares o la cirugía ortopédica oncológica

El hueso es una estructura compuesta de células, agua, matriz orgánica y sales inorgánicas. El componente inorgánico del hueso representa aproximadamente el 70% de su peso seco, es biocompatible, no es inmunogénico y está constituido por sales de calcio, fundamentalmente fosfato de calcio, junto con pequeñas cantidades de sodio y magnesio.

<b>Materiales de Injerto Óseo</b>	
<b><u>Hueso Humano</u></b>	<b>Injertos Autógenos (Autoinjertos)</b> Intraoral Extraoral
	<b>Injertos Alógenos (Aloinjertos)</b> Hueso fresco congelado Hueso liofilizado Hueso liofilizado desmineralizado
<b><u>Sustitutos Óseos</u></b>	<b>Injertos Xenógenos</b> Hidroxiapatita derivada de hueso bovino Carbonato de Calcio Coralino
	<b>Injertos Aloplásticos</b> Polímeros Biocerámicas Fosfato Tricálcico Hidroxiapatita Vidrios Bioactivos

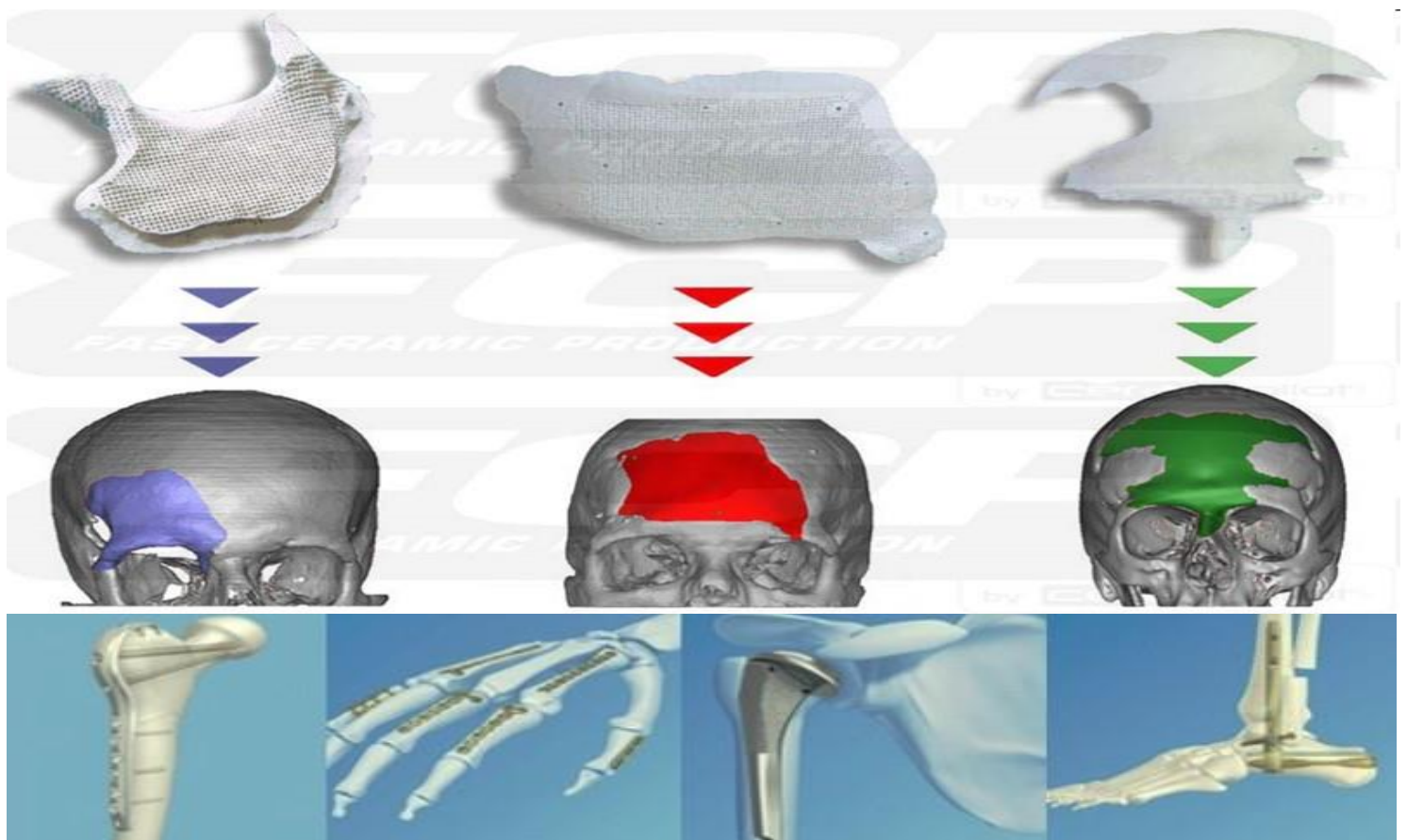
Figura 2.25. Ejemplos de materiales de injertos óseos.

De estas sales, la hidroxiapatita, un fosfato de calcio pobremente cristalizado, es el mayor constituyente del componente inorgánico, mientras que otras sales de calcio, como el carbonato de calcio, están presentes en mucha menor proporción. Las sales de calcio, y en particular la hidroxiapatita y el carbonato de calcio, son bioactivas y osteoconductoras.

El mayor constituyente de la fase orgánica es el colágeno tipo I, con elementos celulares que integran el resto de la matriz orgánica. El reto investigador se ha planteado a la hora de dar una adecuada forma tridimensional a las sales de calcio para que el crecimiento óseo se desarrolle en una determinada localización y dirección.

Sobre la base del conocimiento de la incorporación de los injertos óseos se ha propuesto la porosidad del material como cualidad necesaria para el crecimiento del tejido blando y posterior regeneración ósea tras la implantación. Sin embargo, la porosidad por sí sola no es suficiente para el crecimiento óseo, y resulta indispensable que esté asociada a interconexión de los poros.

Por otra parte, se acepta que el tamaño de los poros para el crecimiento óseo en los implantes porosos, debe oscilar entre 100 y 500  $\mu\text{m}$ . Además, el diámetro de la interconexión entre poros condiciona el tipo de tejido que crece en el implante, y se considera que debe ser mayor de 100  $\mu\text{m}$  para que se regenere hueso mineralizado, entre 40 y 100  $\mu\text{m}$  para el crecimiento de formas osteoides y entre 10 y 40  $\mu\text{m}$  para el tejido fibrovascular.

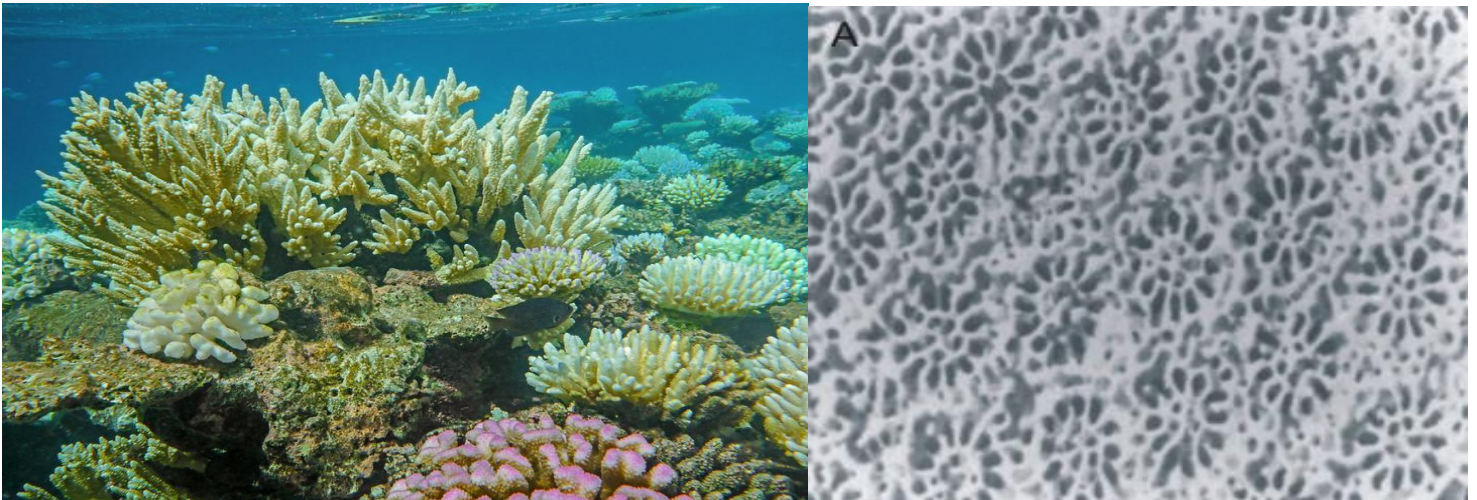


**Figura 2.26. Ejemplos de sustitutos óseos.**



## 2.1. Sustitutos óseos coralinos

Algunos corales marinos presentan esqueletos con porosidad e interconexión entre los poros. Además, están compuestos fundamentalmente de carbonato de calcio en la forma cristalina de aragonita, que es relativamente inestable y que sometida a calor, tiende a convertirse en una forma termodinámicamente más estable como la calcita (65, 75). Este hecho dio paso a la utilización de estos esqueletos de coral como modelos de sustitutos de injertos óseos.



**Figura 2.27. Sustitutos óseos a partir de especímenes marinos como el coral.**

## 2.2. Sustitutos óseos a partir de sulfato de calcio y fosfato de calcio

La formación ósea requiere una estructura física a la que los osteoblastos puedan adherirse, por lo que se ha desarrollado la idea de diseñar implantes porosos compuestos de materiales biocompatibles (63, 65-67, 76, 77). Así, se ha trabajado con cerámicas como el óxido de aluminio y con metales inertes como el cromo-cobalto y aleaciones de titanio, que aunque presentan una estructura tridimensional favorable para la incorporación ósea, no han logrado un crecimiento satisfactorio del tejido sobre su superficie.



**Figura 2.28. Ejemplos de sustitutos óseos a partir de sulfato de calcio y fosfato de calcio.**

Sólo algunas cerámicas han demostrado ser bioactivas y con capacidad osteoconductiva, sobre las que el hueso crece y se une químicamente a su superficie de forma tridimensional (6, 65, 75, 76). Las cerámicas pueden ser clasificadas en cuatro tipos fundamentales.

El tratamiento genético es una atractiva posibilidad para estimular o mejorar la formación y reparación ósea puesto que los genes pueden ser implantados dentro de su vehículo en una localización anatómica precisa. Por otra parte, la duración de su efecto puede modularse mediante la selección del material que les sirve de vehículo para alcanzar el lecho receptor, aunque sin poder precisarse con exactitud.

Existen diferentes opciones terapéuticas. En primer lugar, el tratamiento genético puede ser sistémico o regional. El tratamiento sistémico se indicaría fundamentalmente en situaciones en las que todas las células del receptor presentan el gen defectuoso, mientras que el tratamiento regional tendría su indicación preferente en la reparación de un defecto óseo segmentario o de una fractura.



**Figura 2.29. Tratamiento genético de sustitutos óseos.**

Además, el gen puede ser introducido directamente en un lugar anatómico in vivo, o bien puede hacerse una manipulación genética ex vivo de células extraídas del propio individuo que son reimplantadas posteriormente. Los métodos ex vivo ofrecen la ventaja respecto a los in vivo de evitar la transferencia de partículas virales o de complejos de ácido desoxirribonucleico, son más seguros y eficaces, y por otra parte permiten la reimplantación selectiva de las células productoras de la proteína de interés a altos niveles.

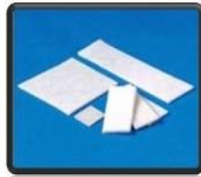


**Figura 2.30. Ejemplos de sustitutos óseos comerciales.**



## FLEX

Flex es una lámina flexible que se moldea y acopla al sitio quirúrgico, fácil de adaptar a las necesidades de cada paciente, puede aplicarse en forma íntegra, o cortarse y adaptarse a la forma requerida en tiras o piezas más pequeñas, ideal para cirugía de columna.



## PUTTY

- ❖ Fácilmente Moldeable
- ❖ Matriz ósea y osteoinductiva, muy versátil su consistencia permite ser utilizado en una gran variedad de aplicaciones.



## DBX

- ▶ DBX está elaborado con matriz ósea desmineralizada (DBM), procedente de donantes, en un excipiente biocompatible.
- ▶ DBX está compuesto de colágeno y factores de crecimiento óseo como proteínas óseas morfogénicas (BMP).
- ▶ Los factores de crecimiento óseo presentes y activos son responsables de sus propiedades osteoinductoras, y estimulan activamente la formación y la regeneración óseas.



## ORTHOBLEND LARGE

- ▶ Matriz ósea Osteoinductiva y Osteoconductiva.
- ▶ Contiene cubos óseos esponjosos.
- ▶ Elimina la necesidad de añadir fragmentos óseos adicionales,
- ▶ Permite ser utilizado en una gran variedad de aplicaciones,
- ▶ Utilizado en defectos grandes, brinda mayor volumen por su combinación con chips esponjosos.
- ▶ Presentación en frasco de 5cc y 15cc



## GRAFTON

▶ Es un producto procesado por OSTEOTECH, INC empresa líder mundial en el procesamiento de hueso y tejido humano.

Origen 100% cadavérico.

- ❖ Tienen propiedades osteoconductivas y osteoinductivas
- ❖ Listo para usar
- ❖ Biocompatible
- ❖ Inactivación vírica, ante Hepatitis B y C, VIH, Sífilis.



## MIMIX & MIMIX QS

- ▶ Un sistema de reemplazo de hueso basado en hidroxapatita (HA), (fosfato tetracalcico y fosfato (a)-tricalcico alfa, ideal para la reparación de defectos craneofaciales.
- ▶ Mimix está compuesto de un polvo blanco, estéril, el cual es mezclado con una solución de ácido cítrico diluido para así formar una pasta.
- ▶ MIMIX es fácil de moldear y se puede trabajar encima de la duramadre si quemarla.

Figura 2.30.Bis Ejemplos de sustitutos óseos comerciales.