

Formación, crecimiento y desarrollo óseo en cintura escapular desde el embrión hasta el individuo adulto.

Revisión bibliográfica.

Karen Ceballos Yucumá

**Trabajo de grado presentado para optar el título de
Antropóloga**

Asesora: Natalia Andrea Restrepo Hernández

Magister en antropología



Universidad de Antioquia

Facultad de Ciencias Sociales y Humanas

Departamento de Antropología

Medellín

2019

Citar/How to cite	(Ceballos-Yucumá, K 2019).
Referencia/Reference	Ceballos-Yucumá, K. (2019). <i>Formación, crecimiento y desarrollo en cintura escapular desde el embrión hasta el individuo adulto: Revisión bibliográfica</i> . Trabajo de grado. Antropología, Universidad de Antioquia. Facultad de Ciencias Sociales y Humanas, Medellín, Colombia.
Estilo/Style: APA 6th ed. (2010)	

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer especialmente a mi asesora Natalia Restrepo Hernández, por su paciencia, apoyo y conocimientos brindados durante los últimos dos años de mi carrera, porque gracias a ella este trabajo de investigación fue posible.

Agradezco a mis padres Alberto y Rosmary por apoyarme incondicionalmente desde que emprendí este camino, por creer en mí, por su amor y sacrificio para poder cumplir mis sueños, gracias por ser los mejores padres. Finalmente quiero agradecer a mi hermana Estefanía, porque me ha acompañado en los momentos más difíciles, por estar siempre presente aunque se encuentre lejos.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como propósito explicar detalladamente los procesos de formación, desarrollo y crecimiento óseo en la cintura escapular, por lo tanto se documentan las etapas embriológica, fetal y posnatal (infancia, pubertad, adultez y vejez). En primer lugar se describen los procesos generales que ocurren desde la fecundación hasta el nacimiento, posteriormente se enfatiza en la osteogénesis, maduración y degeneración ósea de la cintura escapular. Todo ello se realiza por medio de fuentes bibliográficas, que posteriormente son empleadas para caracterizar aspectos referentes a las tendencias de publicación por año, país, técnica, hueso y etapa del ciclo vital. De acuerdo con los resultados, se evidencia que la etapa intrauterina y posnatal, específicamente la pubertad y adultez, se encuentran bien documentadas, a diferencia de las otras fases. Algunas de las técnicas empleadas para el estudio de los cambios óseos con la edad fueron la histológica, la cual consiste en el análisis de los tejidos a un nivel microscópico y la morfológica donde se observa a un nivel macro la estructura del hueso.

Palabras clave: Cintura escapular, clavícula, escápula, formación ósea, desarrollo óseo, degeneración ósea.

ABSTRACT

The purpose of this research work is to explain specifically the processes of formation, development and bone growth in the shoulder girdle, therefore the embryological, fetal and postnatal stages (childhood, puberty, adulthood and old age) are documented. First, the general processes that occur from fertilization to birth are described, later it is emphasized in osteogenesis, maturation and bone degeneration of the shoulder girdle. All this is done through bibliographic sources, which are subsequently used to characterize aspects related to publication trends by year, country, technique, bone and stage of the life cycle. According to the results, it is evident that the intrauterine and postnatal stage, specifically puberty and adulthood, are well documented, a difference from the other phases. Some of the techniques used to study bone changes with age were histological, which consists of the analysis of tissues at a microscopic level and the morphological where the bone structure is observed at a macro level.

Keywords: Shoulder girdle, clavicle, scapula, bone formation, bone development, bone degeneration.

TABLA DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	3
RESUMEN	4
ABSTRACT	5
LISTA DE FIGURAS	8
LISTA DE GRÁFICAS	10
INTRODUCCIÓN	11
ANTECEDENTES	13
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	19
OBJETIVOS	20
JUSTIFICACIÓN	21
CAPÍTULO TEÓRICO	23
Etapa embrionaria	30
Primera semana	30
Fecundación	30
Segmentación	33
Segunda semana	35
Implantación	35
Disco germinativo bilaminar	35
Tercera semana	37
Disco embrionario trilaminar	37
Formación de la notocorda	39
Plan corporal básico del embrión	41
Ectodermo	41
Formación de la cresta neural	43
Mesodermo	47
Mesodermo paraaxial	49
Mesodermo intermedio	50
Mesodermo lateral	50
Endodermo	51
Cuarta semana	53
Quinta semana	55
Sexta semana	56

Séptima semana.....	57
Octava semana	58
Desarrollo fetal.....	59
Tercer mes.....	60
Cuarto mes	61
Quinto mes	62
Sexto mes.....	64
Séptimo mes.....	64
Octavo mes.....	65
Noveno mes.....	66
FORMACIÓN Y DESARROLLO DE LA CLAVÍCULA.....	67
Desarrollo embrionario de la clavícula	67
Desarrollo fetal de la clavícula.....	70
Desarrollo posnatal de la clavícula	74
Infancia	74
Pubertad y adultez	75
Vejez y degeneración ósea	81
FORMACIÓN Y DESARROLLO DE LA ESCÁPULA.....	83
Desarrollo embrionario.....	83
Desarrollo fetal de la escápula	87
Desarrollo posnatal de la escápula.....	92
Infancia	92
Pubertad	95
Adultez.....	101
Vejez y degeneración ósea	102
MATERIALES Y MÉTODOS	108
Muestra	108
Recolección y organización de la información	109
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	110
CONCLUSIONES	125
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	127
Anexos	138

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Vista superior de clavícula izquierda adulta.....	29
Figura 2. Vista inferior de clavícula izquierda adulta.....	29
Figura 3. Escápula adulta izquierda, vista lateral y posterior.....	30
Figura 4. A. Ovocito humano fecundado y cigoto humano en la fase bicelular.	32
Figura 5. Acontecimientos en la penetración del óvulo.....	33
Figura 6. Primeras fases de la segmentación en embriones humanos.	34
Figura 7. Formación del disco bilaminar	36
Figura 8. Formación de la línea primitiva y fosita primitiva en la tercera semana embrionaria.....	37
Figura 9. Formación del endodermo, ectodermo y mesodermo.....	38
Figura 10. Sección transversal a través de la región de la placa notocordal y notocorda definitiva.	40
Figura 11. Embrión de dieciocho días, placa neural, formación del surco y pliegues neurales.....	42
Figura 12. Embrión de veintidos días, cierre del tubo neural	43
Figura 13. Cortes transversales del tubo neural en formación	45
Figura 14. Derivados de las células de la cresta neural	47
Figura 15. Formación de la capa mesodérmica, mesodermo paraaxial y mesodermo intermedio.....	48
Figura 16. Formación y ubicación de los somitas	49
Figura 17. Desarrollo de los mesodermos y plegamiento del embrión.....	51
Figura 18. Plegamiento cefalocaudal del embrión por días.	52
Figura 19. Embrión de veintiseis a veintisiete días. Precursores de órganos.....	54
Figura 20. Embrión de treinta y un días a treinta y dos días. Desarrollo de los miembros.....	56
Figura 21. Embrión de cuarenta y un días a cuarenta y tres días. Formación de órganos sensoriales.....	57
Figura 22. Embrión de cuarenta y nueve días a cincuenta y un días. Distinción de los tres segmentos del miembro inferior y membrana interdigital.....	58
Figura 23. Embrión de cincuenta y seis días. Miembros inferiores formados. El embrión muestra características más humanas.	59
Figura 24. Embrión de once semanas. Crecimiento de los miembros superiores.	61
Figura 25. Feto de trece semanas. Fotografía de aumento de la cabeza y de la parte superior del tronco..	62
Figura 26. Feto de diecisiete semanas. Crecimiento longitudinal en las extremidades	63
Figura 27. Feto de siete meses. Mayor relleno en los depósitos de grasa subcutánea.....	65
Figura 28. Embrión de siete semanas. Puente óseo, que conecta los centros medial y lateral	69
Figura 29. Feto de nueve semanas. Desarrollo de la clavícula.....	72

Figura 30. Feto de once semanas. La forma de la clavícula es similar a la de una clavícula en adultos. .	73
Figura 31. Medidas de la clavícula en el periodo fetal	74
Figura 32. Comparación del crecimiento de la clavícula en mujeres y hombres de <1 a 18 años	75
Figura 33. Fase 1. 14 a 17 años. Hembra.....	77
Figura 34. Fase 2. 15 a 18 años. Macho	77
Figura 35. Fase 4. 23 a 28 años. Hembra.....	78
Figura 36. Fase 4. 23 a 28. Hembra.....	78
Figura 37. Fase 5. 29 años o más. Macho.....	78
Figura 38. Cambios por la edad en la cavidad medular e la clavícula.....	80
Figura 39. Superficie esternoclavicular.	82
Figura 40. Embrión de cuarenta y cuatro a cuarenta y ocho días.....	84
Figura 41. Embrión de cincuenta y un días a cincuenta y tres días.	86
Figura 42. Patrón de osificación en la escápula	88
Figura 43. Corte coronal de la articulación del hombro en feto de diez a once semanas	89
Figura 44. Feto de once semanas. Osteogénesis de la escápula.....	90
Figura 45. Escápula de un feto de catorce semanas en proceso de osificación.....	91
Figura 46. Extensión de la osificación en la escápula hasta la base de acromion en feto de dieciséis semanas	92
Figura 47. Escápula derecha perinatal. Vista dorsal.....	93
Figura 48. Escápula derecha perinatal. Vista ventral.	93
Figura 49. Escápula derecha perinatal. Vista lateral.....	94
Figura 50. Centros de osificación de la escápula	96
Figura 51. Fusión del centro subcoracoideo derecho.	97
Figura 52. Epífisis acromial derecha sin fusionar.	98
Figura 53. Centros de osificación del acromion, edad de aparición y fusión.....	99
Figura 54. Proceso de aparición y fusión de los centros secundarios de osificación del acromion	100
Figura 55. Escápula derecha con perforación de la fosa infraespinosa cerca del margen lateral.....	102
Figura 56. Artrosis severa de la articulación acromioclavicular izquierda con osteofito que se proyecta hacia la salida del supraespinoso.....	103
Figura 57. Vista lateral de la cavidad glenoidea derecha (hembra, 86 años).	104
Figura 58. Diferencias en acromion horizontal y vertical relacionados con los procesos degenerativos .	106
Figura 59. Cambios degenerativos en acromion.	107
Figura 60. Osteología y disciplinas científicas asociadas.	119

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Frecuencia de publicación por país	110
Gráfica 2. Frecuencia de publicación por año.....	111
Gráfica 3. Tipo de fuente bibliográfica.....	112
Gráfica 4. Frecuencia de publicación por categoría	113
Gráfica 5. Frecuencia de publicación por temáticas según hueso. Clavícula.....	114
Gráfica 6. Frecuencia de publicación por temáticas según hueso: Escápula	115
Gráfica 7. Frecuencia de publicación por temáticas según hueso: Cintura escapular	116
Gráfica 8. Frecuencia de técnicas empleadas.....	117
Gráfica 9. Tendencias de publicación por rango de años según técnica empleada.	118

INTRODUCCIÓN

La osteología humana como parte de la anatomía descriptiva orienta sus conocimientos al estudio completo de los huesos, explora tanto el origen como la función de cada uno de ellos, extrayendo información acerca de los efectos del origen genético, edad, sexo, dieta, enfermedades, traumas y composición; la importancia de esta disciplina radica en que el esqueleto es el tejido que más subsiste del resto del cuerpo y con frecuencia es el único registro físico de lo humano (Ramey, 2008).

La cintura escapular es la región ósea del esqueleto humano que comprende una clavícula ventral y una escápula dorsal que se unen en la articulación acromioclavicular; en particular, la clavícula se articula con el manubrio medialmente y la escápula se articula con la cabeza del húmero lateralmente, conjuntamente su función principal es aumentar la movilidad de la extremidad superior a través de la reducción de las restricciones articulares y así liberarla para actividades prensiles y manipuladoras (Cunningham, et al., 2016).

El presente trabajo estudia dicha región ósea, con el objetivo de realizar una descripción detallada de la formación y desarrollo de clavícula y escápula, por medio del compendio de investigaciones y estudios que se hayan realizado sobre estos ejes, con el fin de lograr una mayor comprensión de estos huesos y así recopilar en un sólo trabajo los procesos que ocurren en las diferentes etapas del ciclo vital en los huesos de la cintura escapular, ya que tanto clavícula como escápula poseen características únicas en el esqueleto humano, por ello puede ser útil tener una mayor comprensión de estos elementos óseos y así poder contribuir de alguna manera en investigaciones que estudien esta región ósea.

El trabajo se divide en cuatro apartados. El primero contiene los antecedentes, el planteamiento del problema, objetivos y justificación. El segundo apartado hace referencia al capítulo teórico, donde se introducen los procesos generales que ocurren en la creación de un individuo, la cual comprende la etapa embrionaria, que se extiende desde la primera hasta la octava semana, posteriormente se detalla la etapa fetal, que va desde el tercer hasta el noveno mes. Seguidamente, se realiza una descripción detallada de los procesos embrionarios, fetales y posnatales (infancia, pubertad, adultez y vejez) primero de la clavícula y posteriormente de la escápula.

El tercer apartado se refiere al capítulo metodológico, donde se explican los procedimientos empleados para la búsqueda de fuentes bibliográficas, ya que estas debían centrarse en una o más etapas, tanto intrauterinas como posnatales de la cintura escapular. En total se registraron treinta y cuatro textos de diversas bases de datos, las cuales se compilaron en una tabla bibliográfica organizada por: autor, año, título, temática y técnica.

El cuarto apartado comprende los resultados y discusión. Para la realización de los resultados se empleó el programa Excel, con el fin de observar cuales eran los países con mayor número de publicaciones en este tema, asimismo se observó la frecuencia de publicación por año y por hueso (clavícula, escápula y cintura escapular), además en cada hueso se discriminaron las diferentes etapas de desarrollo (osteogénesis, desarrollo posnatal y degeneración ósea), asimismo se analizó la frecuencia de las técnicas empleadas. Por último, se encuentran las conclusiones del proyecto, referencias bibliográficas y anexos (tabla bibliográfica).

ANTECEDENTES

La región de la cintura escapular ha sido un tema de investigación para la medicina y anatomía clínica orientando sus estudios a todo el complejo que lo compone desde los huesos, articulaciones y los músculos que en ellos se insertan debido a su aplicación en diagnósticos de patologías. En áreas como la osteología ha sido abordado desde la etapa prenatal, aunque con mayor proporción en la edad postnatal, observando la osteogénesis del hueso y los cambios ocurridos en el ciclo vital, ya que este tipo de información puede ser aplicado para caracterizar en términos forenses el perfil biológico de un individuo.

Los estudios de formación en la cintura escapular realizados por Gardner & Gray en 1953, orientan su investigación a la descripción de las etapas de desarrollo del hombro y la articulación acromioclavicular. En este estudio los autores muestran cómo se desarrolla la región del hombro comparándola con el desarrollo en rodilla, codo y cadera. Encuentran que las articulaciones y huesos de esta zona (hombro) se desarrollan de manera rápida en el feto en la séptima u octava semana, presentando en etapas tan tempranas la forma característica de adulto. Esta conclusión está ampliamente documentada en investigaciones recientes (Scheuer & Black, 2004; White, et al., 2011).

También los autores observaron que el desarrollo de las articulaciones, desde una etapa blastemal morfológicamente simple hasta una con características adultas, se da durante un aumento de longitud céfalo caudal desde los 10 milímetros (mm) hasta 30 mm, es decir, estos cambios se producen en etapas muy tempranas del desarrollo fetal. Los autores no encontraron fibrocartílago en las articulaciones y el hombro, rechazando las afirmaciones de Brodie realizadas en 1890. En otras investigaciones posteriores como la de Haines en 1947, se consideraba que el fibrocartílago

estaba presente en la articulación acromioclavicular a los 61 mm y en la escápula a los 66 mm. En contraste con el anterior estudio, han surgido otras investigaciones en las que retoman el análisis de la composición de las articulaciones esternoclavicular y acromioclavicular con resultados en los que observan revestimiento de capa fibrosa de tejido conectivo (Montenegro, et al., 2004; Calixto, et al., 2015).

Otros estudios han orientado sus investigaciones al analizar la formación de un hueso que simultáneamente posee dos tipos de osificación como es la clavícula, apoyando su evidencia en estudios histológicos, observan el desarrollo embrionario, identificando el momento en que inicia la osificación, alrededor de la quinta semana con la aparición de dos centros primarios de osificación, un centro medial y un centro lateral en el eje de la clavícula y se fusionan alrededor de la sexta semana. Después el cartílago secundario se desarrolla a partir del tejido mesenquimal en los extremos esternal y acromial. Estas masas cartilagosas permiten el crecimiento por osificación endocondral. El crecimiento longitudinal se sostiene principalmente de la masa del cartílago medial en el extremo esternal de la clavícula por osificación endocondral y el aumento en el diámetro se da por la osificación intramembranosa del periostio (Scheuer & Black, 2004; White, et al., 2011).

No obstante, algunas investigaciones pretenden dar otras respuestas al proceso complejo de formación de la clavícula, con una perspectiva matemática de los mecanismos de eventos biológicos, tales como los efectos moleculares y mecánicos. Estos estudios presentan una hipótesis sobre la diferenciación de células blastema que resultan en la osificación, la cual se basa en tres factores fundamentales: factores sistémicos, factores bioquímicos localizados y factores mecánicos. Como resultado, los centros de osificación primaria se ubican en el borde del centro

del blastema. Después sucede la expansión de núcleos para formar un puente osificado. Así, la capa osteoblástica está rodeada por un borde de preosteoblastos (Garzón, et al., 2014).

La hipótesis que proponen es que debido a las altas concentraciones de genes relacionados como el BMP2 (Bone Morphogenetic Protein 2) el cual se encarga de estimular la producción de tejido óseo y el Runx2 con osteoblastos, osteocalcina, osteopontina, fosfatasa alcalina que se expresan contribuyendo a la diferenciación de células mesenquimales en osteoblastos. Por lo tanto, el BMP2 actúa como un morfógeno determinante de la célula de acuerdo a su concentración. Estos eventos contribuyen a la difusión del fenotipo de matriz calcificada. Finalmente, estas matrices de osteoides se extienden hacia ambos extremos, hasta que se encuentran con un área de mayor tensión octaédrica que promueve la diferenciación mesenquimal en condrocitos. Este resultado anula el efecto de factores bioquímicos locales, donde la concentración de BMP2 estaba en una alta concentración (Garzón, et al., 2014).

Por su parte, la escápula también ha sido objeto de investigaciones en el campo de la formación temprana. Huang y colegas (2006) retoman las distintas teorías acerca de su posible origen, entre las que centran su origen en el mesodermo de la placa lateral y las teorías sobre un posible origen somítico. Los autores se orientan por la segunda teoría apoyándose en los resultados del estudio que realizaron para determinar el origen de la escápula en pollo, sus resultados confirman que la cabeza y la columna se originaron a partir del mesodermo de la placa lateral, mientras que la lámina de la escápula se hizo a partir de células que se desarrollaron en somitas 17 a la 24. La contribución de cada somita reveló las siguientes características: (1) El orden anteroposterior de somitas se mantuvo en la escápula. Las células somitas 17 se encontraron sólo en la parte anterior de la escápula, mientras que las células de somitas 24 se localizaron en el

ángulo posterior. (2) Las contribuciones de cada somita no se mezclaron con las somitas cercanas, es decir, la lámina de la escápula tiene una organización segmentaria y cada segmento de la lámina del omóplato y su músculo esquelético asociado y tejido conjuntivo se originaron de la misma somita.

Otros estudios han analizado la formación de la escápula y sus fases de crecimientos posnatal desde la perspectiva de la antropología forense con colecciones documentadas, para estimar la edad de muerte por medio de los cambios característicos observables y medibles en colecciones documentadas y el dimorfismo sexual presente en este hueso. Para la estimación de edad en escápula, Risech y Black (2007) encuentran que a medida que el individuo crece, la escápula aumenta su tamaño en mayor proporción en anchura que en longitud, igualmente la altura infraescapular aumenta más rápido que la altura supraescapular y la longitud máxima de la superficie glenoidal crece más rápido que el diámetro medio. Los autores confirmaron que todas las mediciones de la escápula resultaron ser valiosas en la determinación de la edad de la muerte en subadultos, aunque las mediciones más útiles fueron el ancho del acromion, el ancho escapular y la altura supraescapular. Las mediciones de los diámetros máximo y medio de la superficie glenoidal, la longitud máxima de la masa glenoidal, la longitud del borde vertebral y la longitud escapular tiene un período de tiempo de aplicación más restringido, siendo valioso hasta los 16 años (Ibíd. 2007).

En otras investigaciones toman como método las ecografías o radiografías para la estimación de edad en clavícula y escápula, observando en la primera cambios morfológicos a nivel del sistema trabecular, las variaciones en el diámetro de las trabéculas, la reducción de grosor y densidad de la cortical tanto en la región anterior como en la posterior y en la segunda las posibles

variaciones morfológicas que aparecen como consecuencia de la edad a nivel trabecular en dos regiones anatómicas: el cuello de la escápula y el borde axilar o lateral (Benito, 2015; Benito, et al., 2013). Estas regiones son útiles para la estimación de edad dado que los cambios se producen en la arquitectura del sistema trabecular, por consiguiente se produce una pérdida de estructura, densidad y compactación con el paso del tiempo.

Por otra parte, los estudios de anatomía en cintura escapular u hombro en su conjunto se basan en la descripción y función de los elementos que lo componen, como son ligamentos, músculos y articulaciones (Cuéllar y Cuéllar, 2015; Muriel, 2016). Otros estudios incorporan estas descripciones con el fin de relacionarlas a diversas patologías, entre ellas la tendinopatía calcificada del manguito rotador (Chico, 2015). Otros se orientan al diagnóstico de las causas del hombro doloroso en general y así inferir la posible osteopatía y sus tratamientos (Arenas, 2017; Suárez y Osorio, 2013).

En los análisis de la biomecánica de la cintura escapular se describen los tipos de articulaciones y los movimientos que esta región ósea puede realizar, algunas de ellas son: la abducción se realiza con una orientación del brazo hacia delante, alrededor de 30° , debido a la orientación de la glena. En la abducción del brazo intervienen todos los componentes de la cintura escapular. La aducción no puede realizarse ni en el plano de la escápula ni en el plano frontal estricto. Si tenemos en cuenta los 30° de orientación de la glena, es posible realizar una aducción del húmero de 45° , pero asociada a una antepulsión, ésta es la elevación del húmero en un plano perpendicular a la escápula, a su vez, la retropulsión o extensión se produce al llevar hacia atrás el húmero en un plano perpendicular a la escápula (Navarro, et al., 2005; Suárez y Osorio, 2013).

En resumen, los estudios en la región ósea cintura escapular han tomado diversos cursos, unos centrados en el análisis de la formación temprana hasta el adulto, los cuales son retomados para la investigación forense, otros por su parte se orientan a la descripción anatómica para el estudio médico.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La antropología física ha enfocado el estudio del tejido óseo desde una perspectiva morfológica o anatómica (Desántolo y Bernal, 2016), es decir, sus estudios se han basado en un carácter macroscópico de los huesos observando su desarrollo y función, específicamente desde el nacimiento hasta la vida adulta, en ocasiones omitiendo los procesos de formación que se llevan a cabo desde el embrión. Este tema ha sido investigado desde la embriología, la cual ofrece información acerca de los factores celulares y estructurales para la formación de los tejidos (Langman, 2001). Pocos estudios desde la antropología reúnen su atención en analizar y conocer el desarrollo del tejido óseo embrionario, dado que es de suma importancia comprender cuáles son las etapas y procesos de crecimiento y maduración del hueso.

El eje de investigación del siguiente texto aborda el problema desde la pregunta de investigación ¿cómo es el proceso de formación y maduración ósea de la cintura escapular desde el desarrollo embrionario hasta su maduración ósea?

OBJETIVOS

Objetivo general: Documentar el proceso de formación y maduración del tejido óseo de la clavícula y escápula desde la etapa embrionaria hasta la maduración.

Objetivos específicos:

- Describir la composición del tejido óseo inmaduro y maduro.
- Identificar tipos de crecimiento endocondral e intramembranoso en cintura escapular.
- Registrar las etapas de formación ósea de la clavícula y escápula durante la vida del individuo.

JUSTIFICACIÓN

La cintura escapular es una estructura anatómica compleja, ya que en ella hay múltiples elementos (huesos, articulaciones, músculos, tendones, cápsulas sinoviales, arterias, venas y nervios entre otros) que confluyen en él, además de ser un complejo de gran movilidad (Arenas, 2017). Está compuesta por clavícula y escápula las cuales se unen por medio de la articulación acromioclavicular (Muriel, 2016).

Las características generales que presenta la clavícula son: hueso par alargado en forma de S, tiene dos caras superior e inferior, presenta un tubérculo costal y un tubérculo conoide y la línea trapezoidal para la fijación de ligamentos. Por su parte, la escápula es un hueso par, plano y triangular, conformado por tres bordes: superior, medial y axilar, dos caras anterior y posterior. Entre sus características topográficas se encuentran apófisis prominentes ubicadas en el borde lateral (apófisis coracoides y apófisis espinosa) además de otros elementos (Chico, 2015). Se ubica en la parte anteroposterior del tórax a ambos lados de la columna vertebral.

Respecto a los estudios en cintura escapular, se encuentran investigaciones enfocadas en la biomecánica del hombro (Calvo, et al., 2005); otras se desarrollan de acuerdo con las patologías que se presentan en el hombro (Muriel, 2016); otros estudios diseñan recursos digitales para la enseñanza morfológica de la cintura escapular (Arenas, 2017). En vista a la poca información respecto a los procesos histológicos que forman la clavícula y escápula, se considera relevante realizar una revisión bibliográfica en la cual se describa en qué consisten los componentes de formación del tejido óseo con el fin de explicar detalladamente la formación temprana de la cintura escapular, describiendo las etapas desde el embrión hasta la formación completa en individuo

adulto. Por consiguiente, la presente investigación permitirá documentar y describir los estudios anteriores a cerca de dichos procesos enfocados a la cintura escapular, que posteriormente podrá ser empleada para futuras investigaciones.

CAPÍTULO TEÓRICO

La osteología como rama de la anatomía descriptiva estudia los componentes estructurales del esqueleto (sexo, edad, dieta, traumas y enfermedades), incluidos los dientes (Ramey, 2008). El esqueleto forma el marco para el cuerpo, mientras que los dientes forman una interfaz directa entre el organismo y su entorno. Asimismo, estos tejidos forman el registro más duradero de la existencia de un individuo. El estudio osteológico hace un puente hacia otras ciencias, como la arqueología, la antropología física, antropología forense y paleoantropología estas disciplinas emplean los restos óseos para sus respectivos análisis y enfoques (White, et al., 2011).

Para comprender la formación y crecimiento de la cintura escapular, es necesario explicar brevemente algunos conceptos empleados en el estudio osteológico y en la biología humana en general. El tejido esquelético es uno de los materiales biológicos más resistentes, ya que es el principal tejido de soporte del cuerpo. Debe resistir rutinariamente la compresión, tensión, flexión y torsión durante la vida del individuo, estas funciones mecánicas contribuyen en el desarrollo óseo en general (White, et al., 2011).

Concretamente, el tejido óseo es un tejido conjuntivo altamente especializado el cual se compone de una sustancia orgánica mineralizada y posee fibras de colágeno tipo I, las cuales están asociadas a los glucosaminoglucanos y a proteínas no colágenas (Thomas, et al., 2011). Las fibras de colágeno tipo I constituyen alrededor del 90% de la fase orgánica del hueso y se localizan en paralelo en la laminilla ósea proporcionando al hueso su estructura laminar. Están rodeadas de una sustancia interfibrilar compuesta de glucoproteínas, proteínas con ácido glutámico carboxilado (osteocalcina), proteoglucanos, citocinas y factores de crecimiento (Chavassieux, et al., 2003).

También tiene una sustancia mineral constituida por hidroxiapatita de calcio, la cual brinda al hueso la dureza y rigidez necesaria, además posee células óseas: osteoblastos y osteoclastos (Thomas, et al., 2011).

Igualmente es fundamental conocer cómo se organiza el tejido óseo con el fin de diferenciarlo de acuerdo con el grado de madurez que presente, ya que puede ser fibrilar o laminar. El primero es un hueso inmaduro, se encuentra en embriones o recién nacidos y en la metáfisis de los huesos en crecimiento. Posee fibras gruesas que no están orientadas uniformemente, además tiene más células por unidad de volumen que el hueso laminar y están dispersas (Navarro, 2015). Mientras que el hueso laminar se comienza a formar un mes después del nacimiento, resulta ser más maduro que el fibrilar y se forma a partir del proceso de remodelación del hueso inmaduro. El hueso laminar se encuentra en el esqueleto maduro, tanto en el hueso esponjoso como en el cortical. Además, las fibras de colágeno están altamente organizadas y orientadas (Ibíd. 2015).

Igualmente, se debe reconocer los tres tipos de estructuras óseas que posee el tejido óseo, ya que se diferencia entre hueso compacto, trabecular y membranoso. El primero es sólido y denso y se encuentra en las paredes de los huesos y en las superficies externas de los huesos se le denomina hueso cortical. Cuando este se halla en las articulaciones, el hueso compacto cubierto por el cartílago se llama hueso subcondral, se puede reconocer por ser más liso y brillante que el hueso compacto no articular y carece del sistema de haversiano (White, et al., 2011).

Por su parte, el hueso trabecular o también denominado esponjoso se llama así por las espículas óseas delgadas (trabéculas) que lo conforman, se encuentra debajo de las protuberancias donde se unen los tendones, por ejemplo en los cuerpos vertebrales, en las epífisis proximales y distales de los huesos largos, en huesos cortos y al interior de los huesos planos (White, et al.,

2011). Finalmente, el hueso membranoso por lo general no se encuentra en el esqueleto adulto sano, aunque sí es frecuente en el embrionario o cuando el hueso se está curando. La matriz es irregular y no hay una estructura osteonal (Ramey, 2008).

En la etapa embrionaria, el tejido óseo surge del mesodermo de la placa lateral y de la cresta neural, que son dos de las cuatro capas germinales de embriones vertebrados. Allí se forman las células óseas y una matriz extracelular mineralizada (White, et al., 2011). El proceso inicia cuando el hueso es depositado por células formadoras de hueso (osteoblastos, osteocitos), la mayoría de las cuales están ciliadas, es decir, en su morfología pueden observarse prolongaciones cilíndricas delgadas que se proyectan desde la superficie de la célula. Los osteoblastos dejan de dividirse cuando se transforman en osteocitos (Hall, 2015).

Los osteocitos son antiguos osteoblastos que se sepultan durante el proceso de deposición ósea y se distribuyen regularmente por toda la matriz ósea mineralizada, a su vez, son las células más abundantes en el hueso, que comprenden más del 90% de las células dentro de la matriz o en las superficies óseas (Bellido, et al., 2014). Por su parte, los osteoclastos son las únicas células a cargo de destruir el tejido óseo, funciona al desensamblar la matriz ósea compuesta al secretar ácido que disuelve la matriz inorgánica, así como las colagenasas y gelatinasas que descomponen la matriz orgánica en un proceso conocido como resorción ósea (Boraschi, 2017).

El crecimiento óseo es observado en el embrión con el inicio de la osteogénesis u osificación, la cual ocurre en dos formas básicas, la primera es la osificación intramembranosa, es decir, se osifica por aposición en el tejido dentro de una membrana de tejido conectivo embrionario, mientras que en la segunda, la osificación endocondral, los huesos son precedidos por precursores de cartílago denominados modelos cartilagosos (White, et al., 2011). Estos dos

tipos de crecimiento dan como resultado un hueso denso y compacto o diploico en la osificación intramembranosa, mientras que en la osificación endocondral resulta en la formación de un hueso trabecular o esponjoso (Scheuer y Black, 2004).

El inicio de la osificación ocurre con un "centro primario" el cual es un indicador puramente temporal del lugar inicial de osificación en un hueso particular. Por lo tanto, únicamente puede haber un centro primario de osificación para cada hueso, asimismo la clasificación por edad de aparición no es suficiente debido a que los centros primarios surgen en la etapa embrionaria y fetal, o también pueden aparecer en la infancia o adolescencia. Este centro primario es la plantilla de un elemento esquelético y puede formar la totalidad o la mayoría del futuro hueso adulto, que a su vez puede fusionarse con otros centros de osificación más pequeños, por ejemplo las apófisis coracoides de la escápula (Scheuer y Black, 2004). De igual modo, los centros secundarios de osificación surgen cuando los centros primarios no siempre se expanden para llenar toda el área cartilaginosa de la plantilla del precursor y en algunas regiones se desarrolla los centros secundarios separados, a menudo se denominan colectivamente epífisis y se apoyan sobre una placa de crecimiento o superficie metafisaria (Ibíd. 2004).

Por consiguiente, los huesos pueden clasificarse no sólo por su origen, es decir, por el tipo de osificación que posean, ya sea intramembranosa o endocondral, sino también por su localización (axial o apendicular), por su tamaño y forma se diferencian en huesos largos donde predomina la longitud sobre la anchura o huesos cortos que según su morfología son pequeños y redondeados, también se encuentran los huesos irregulares que no tienen una forma específica (Ramey, 2008).

Es necesario realizar una diferenciación de los términos empleados en la biología humana en cuanto al desarrollo y crecimiento óseo. El término *desarrollo* hace referencia al conjunto de cambios estructurales que experimenta un ser humano desde la fecundación hasta la edad adulta e incluye la embriología, la fetología y el desarrollo posnatal (Moore, et al., 2013). Mientras que la *maduración* son los cambios ocurridos con la edad, por ejemplo la pubertad como período de maduración rápida y de crecimiento acelerado, un órgano madura cuando éste alcanza el mayor grado de perfeccionamiento. Es la estabilización del estado adulto provocado por el crecimiento y desarrollo (Otaño, et al., 2007).

En cuanto al concepto de *crecimiento* empleado en la biología humana:

Se describen los cambios progresivos en el tamaño y la morfología durante el desarrollo de un individuo, en general, se correlaciona con la edad. El crecimiento consiste en dos factores, un aumento en el tamaño y un aumento en la madurez, y aunque estos dos elementos suelen estar estrechamente integrados, su relación no es lineal (Scheuer y Black. 2004, p. 2).

Esto sucede debido a que dos individuos pueden tener la misma edad, pero a veces pueden estar en etapas de madurez esquelética y sexual diferentes. La relación entre el crecimiento y la edad cronológica no es lineal, por lo tanto, el concepto de edad "biológica" se utiliza para indicar hasta qué punto, a lo largo del continuo evolutivo, un individuo ha progresado y puede expresarse en edad ósea o edad dental. En el período prenatal, la edad cronológica no existe técnicamente, ya que es difícil establecer con certeza un punto de partida definido (es decir, fecundación), por ello se utiliza como referencia el primer día del último periodo menstrual de la madre, la edad anatómica prenatal promedia entre 266 días (nueve punto cinco meses lunares). Mientras que la edad postnatal cronológica se calcula desde el día del nacimiento, en la edad biológica esquelética

se observan el cierre de distintas regiones óseas como indicador de las etapas de crecimiento (Scheuer y Black, 2004).

El tema central del presente trabajo es la cintura escapular, denominada así por estar comprendida por los huesos clavícula y escápula. La clavícula, de acuerdo con su localización pertenece al esqueleto apendicular. En cuanto a su morfología es un hueso largo, aunque carezca de cavidad medular (White, et al, 2011). Se encuentra transversalmente entre el manubrio esternal y el acromion clavicular. Presenta forma de S itálica con dos curvas, una convexidad medial y una concavidad lateral. Tiene dos caras una superior y otra inferior (figura 1 y 2) (Chico, 2015). La clavícula cumple cuatro funciones principales: 1. Proporcionar un marco óseo para la inserción muscular y 2. Actuar como un punto sosteniendo la articulación glenohumeral en un plano parasagital, aumentando así el rango de movimiento de la articulación del hombro 3. Transmitir las tensiones de soporte de la extremidad superior al esqueleto axial 4. Proteger el haz neurovascular axilar, ya que pasa del cuello al miembro superior (Ibíd. 2011).

Su origen es una combinación de osificación intramembranosa en el extremo lateral y en la parte medial es endocondral (White, *et al.*, 2011), en cuanto a su formación, este hueso es el primero en osificarse desde la 5ª a 6ª semana de gestación, desarrollando cartílagos secundarios en ambas extremidades como centros de crecimiento (Montenegro, et al., 2004). Es así que alcanza la morfología de la clavícula de adulto en la etapa fetal.



Figura 1. Vista superior de clavícula izquierda adulta. Tomado de Burns, 2008.

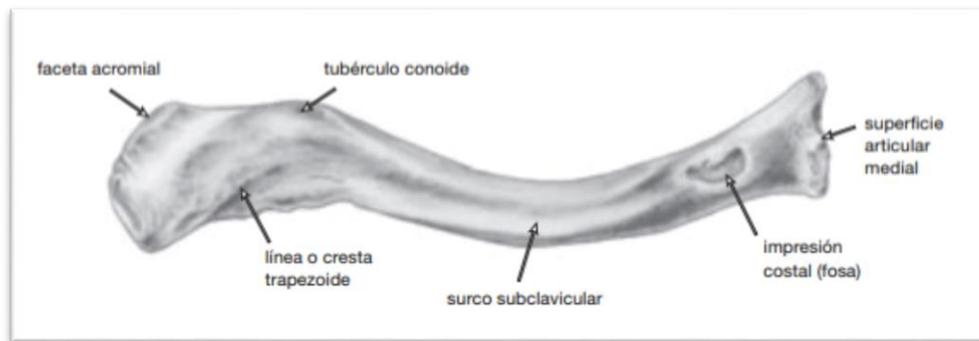


Figura 2. Vista inferior de clavícula izquierda adulta. Tomado de Burns, 2008.

La escápula es un hueso plano de forma triangular y está formado por tres bordes (superior, medial o vertebral y lateral o axilar), tres ángulos (superior, inferior y lateral) y dos caras (anterior o costal y posterior) (Chico, 2015). Sus características anatómicas principales son las apófisis robustas que posee (apófisis acromial y coracoide), la espina escapular y la fosa glenoidea (Pró, 2012) (figura 3). Su formación es temprana, alrededor de la séptima semana intrauterina aparece el centro primario de osificación. (White, et al., 2011), además una característica notable es que comparte la misma característica de la clavícula por su osificación, ya que presenta ambas,

osificación endocondral en la fosa glenoidea y en el borde ventral; osificación intramembranosa en la parte superior de la espina escapular y en el borde inferior (Scheuer y Black, 2004).

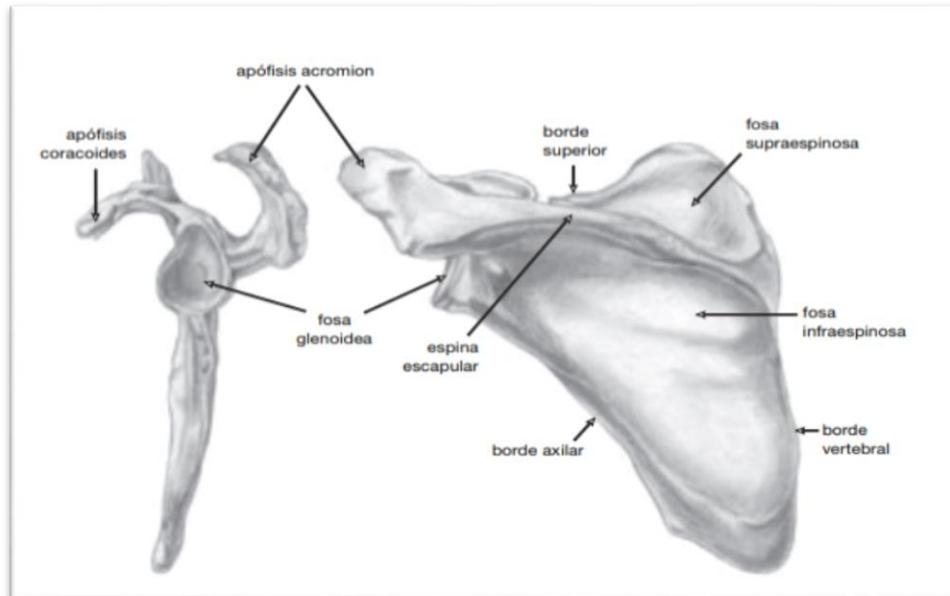


Figura 3. Escápula adulta izquierda, vista lateral y posterior. Tomado de Burns, 2008.

Etapa embrionaria

Primera semana

Fecundación

La formación se inicia con la fecundación, en este proceso el gameto masculino (espermatozoide) y el gameto femenino (ovocito) se fusionan y originan un cigoto (Sandler, 2012). El cigoto se divide numerosas veces y se transforma progresivamente en un ser humano

multicelular a través de los procesos de división, migración, crecimiento y diferenciación celular (Moore, et al., 2013).

En esta fase se produce la unión del tercio externo con el tercio medio de la trompa de Falopio o uterina y comprende aquellos mecanismos en los cuales un espermatozoide se aproxima, se fusiona y atraviesa la superficie de un óvulo. El suceso central en esta fase es la unión en una sola célula de dos dotaciones cromosómicas haploides de una especie particular, siendo éstas lo bastante idénticas como para ocasionar el desarrollo de un nuevo y viable individuo de la especie (Infante, 2008).

La fecundación se empieza a contar como la primera semana, la cual inicia cuando los espermatozoides se encuentran próximos al óvulo en la parte ampular de la trompa de Falopio, allí se encuentran con la corona radiada, la cual es una densa capa de células con una matriz intercelular compuesta por proteínas y elevadas cantidades de hidratos de carbono, el espermatozoide pasa a través de la corona gracias a sus movimientos flagelares (Carlson, 2014). La fase más importante de la fecundación es el momento en que el espermatozoide cruza por la zona pelúcida, la cual consta principalmente de cuatro glucoproteínas (ZP₁ a ZP₄). Las ZP₂ y ZP₃ se combinan para formar unidades básicas que se polimerizan en largos filamentos y estos a su vez, se unen de manera periódica mediante puentes cruzados formados por moléculas de ZP₁ ZP₄.

Cuando los espermatozoides atraviesan la corona radiada se establecen con gran firmeza a la zona pelúcida mediante la membrana plasmática de su cabeza (Carlson, 2014). La vía de paso se forma gracias a las enzimas esterasas, acrosina y neuraminidasa, abriendo un camino para que el espermatozoide se pueda introducir en el ovocito. Cuando pasan la zona pelúcida los espermatozoides sufren una reacción acrosómica, es decir, se fusionan en algunos puntos de la

membrana acrosómica externa con la membrana plasmática que la cubre. De esta manera se sella el paso a otros espermatozoides, posteriormente, cuando el espermatozoide llega al espacio perivitelino, ubicado en la membrana plasmática del óvulo y la zona pelúcida, es cuando puede establecer contacto directo con la membrana plasmática (Ibíd. 2014).

Finalmente, se fusionan la membrana del ovocito y la membrana que cubre la región posterior de la cabeza del espermatozoide, ya que este pierde la membrana plasmática que cubre el acrosoma durante la reacción acrosómica y se abandona en la superficie del ovocito. El óvulo responde cerrando el paso a otros espermatozoides, además se produce la segunda división meiótica, en la cual se separan las cromátidas produciendo dos células hijas, una de estas células hijas que no recibe citoplasma también se conoce como segundo corpúsculo polar y la otra sería la célula u ovocito definitivo, sus cromosomas (22+X) se disponen en el pronúcleo femenino. Por su parte, el espermatozoide crece y forma el pronúcleo masculino y su cola se desprende y degenera, cuando ambos pronúcleos entran en contacto pierden sus membranas nucleares, estos dos son haploides y deben replicar su ADN (figura 4 y 5) (Sandler, 2012).

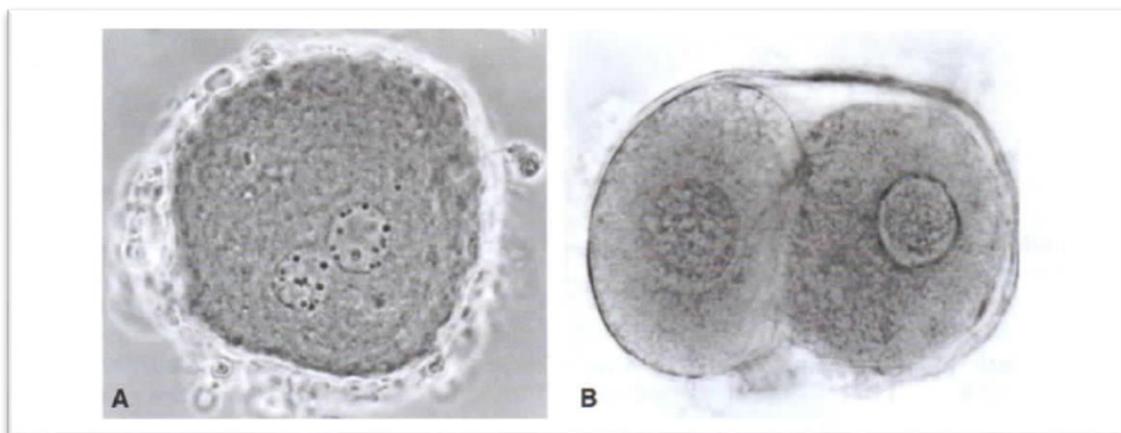


Figura 4. A. Ovocito humano fecundado donde se observan los pronúcleos femenino y masculino. B. Cigoto humano en la fase bicelular. Tomado de Sandler, 2012.

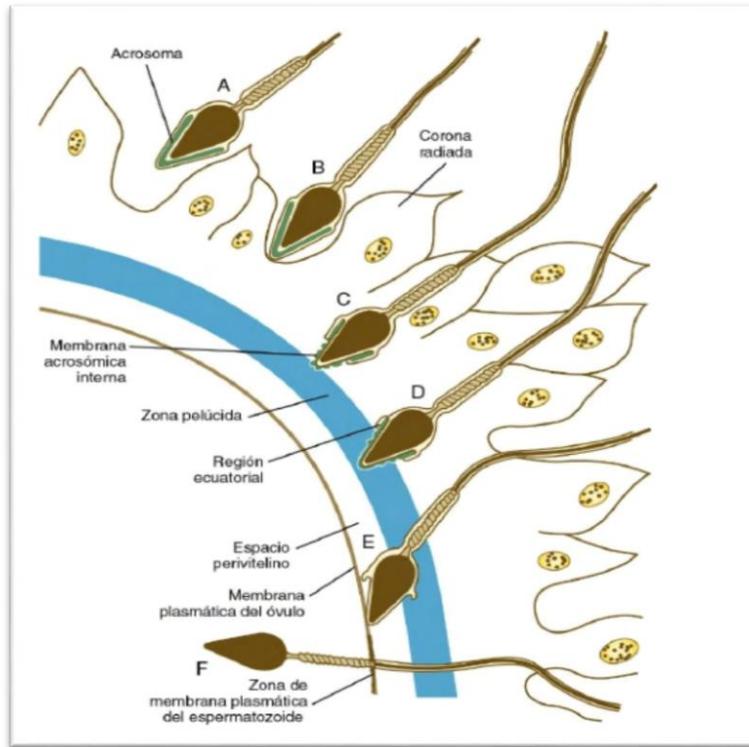


Figura 5. Acontecimientos en la penetración del óvulo. A y B, penetración de la corona radiada. C y D, adhesión a la zona pelúcida. E y F, unión a la membrana plasmática y entrada del óvulo. Tomado de Carlson, 2014.

Segmentación

La fecundación libera al óvulo de un metabolismo lento y evita su desintegración en el aparato reproductor femenino. Después de esto, el cigoto experimenta un cambio metabólico denominado segmentación, en esta fase el embrión es transportado por la trompa de Falopio hacia el útero (Carlson, 2014). Cuando el cigoto solo consta de dos células, comienza una serie de divisiones mitóticas que aumentan el número de células, a su vez, éstas empiezan a reducir en tamaño y se empiezan a denominar blastómeros, al ser numerosos, durante la tercera división tienen mayor contacto entre ellas formando un proceso de compactación el cual separa las células internas de las externas; a los tres días de fecundación las células del embrión vuelven a dividirse

y forman una mórula de 16 células, las células internas de la mórula constituyen la masa celular interna, la cual origina tejidos propios del embrión, mientras que la masa externa forma el trofoblasto que más tarde hará parte de la placenta (Sandler, 2012).

Posteriormente, antes de que la zona pelúcida desaparezca, en el interior de la mórula se produce un cúmulo de líquidos secretados por las células trofoblásticas, los espacios intercelulares se agrandan y agrupan para formar una cavidad llena de líquido, llamada el blastocele, es en ese momento cuando el embrión es un blastocisto (figura 6) (Infante, 2008).

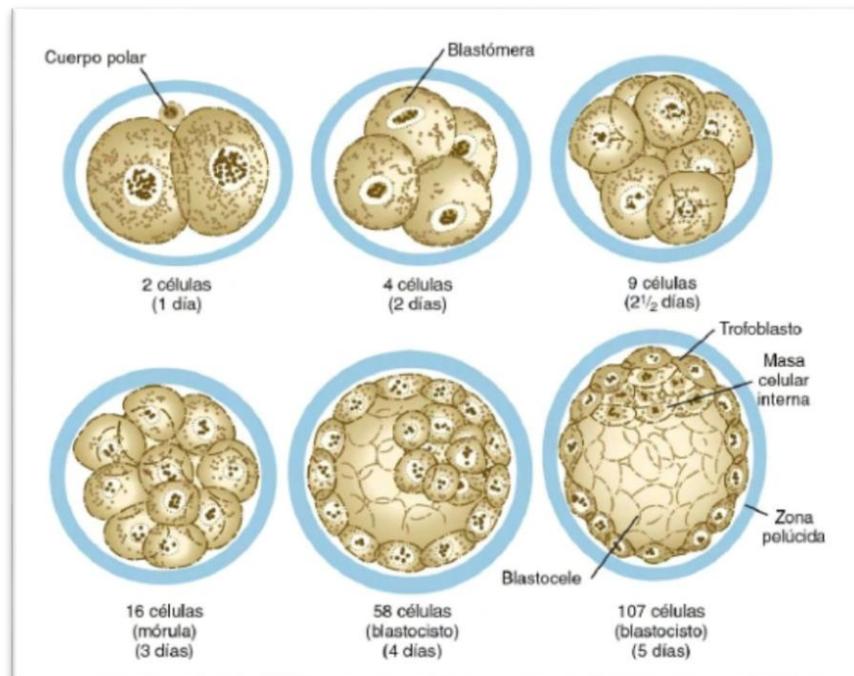


Figura 6. Primeras fases de la segmentación en embriones humanos. Tomado de Carlson, 2014.

Segunda semana

Implantación

La implantación se produce en primer lugar por la adhesión del blastocisto al epitelio endometrial, ya que en esta zona entre los días 20 al 24 del ciclo menstrual se generan moléculas de adhesión, entre ellas se encuentra las integrinas, las cuales permiten que se produzca la implantación (Carlson, 2014). En segundo lugar cuando el blastocisto se implanta, este comienza a diferenciarse en la capa interna llamada citotrofoblasto, que origina nuevas células y migran hacia la masa de sincitiotrofoblasto, esta es una masa nucleada en la que no pueden distinguirse los límites celulares e infiltra el tejido conjuntivo endometrial, de esta manera el blastocisto queda incluido en el interior del endometrio (Moore, et al., 2013).

Disco germinativo bilaminar.

En la segunda semana después de la implantación a medida que las células de la masa celular interna se disponen adoptando una configuración epitelial o cubierta embrionaria, se forma una fina capa de células en su parte ventral, la capa superior principal de células se denomina epiblasto, y la capa inferior hipoblasto o endodermo primitivo (Carlson, 2014), a este conjunto de procesos se les denomina disco bilaminar. Las células de este disco comienzan a organizarse en dos láminas: una superior, porque coincidirá con la región dorsal del futuro embrión, además en estas primeras etapas limita la cavidad amniótica, y otra inferior, ya que limita con el saco vitelino

del embrión y define la parte ventral de este, constituyen el epiblasto y el hipoblasto, en su conjunto son el blastodermo (figura 7) (López, et al., 2013).

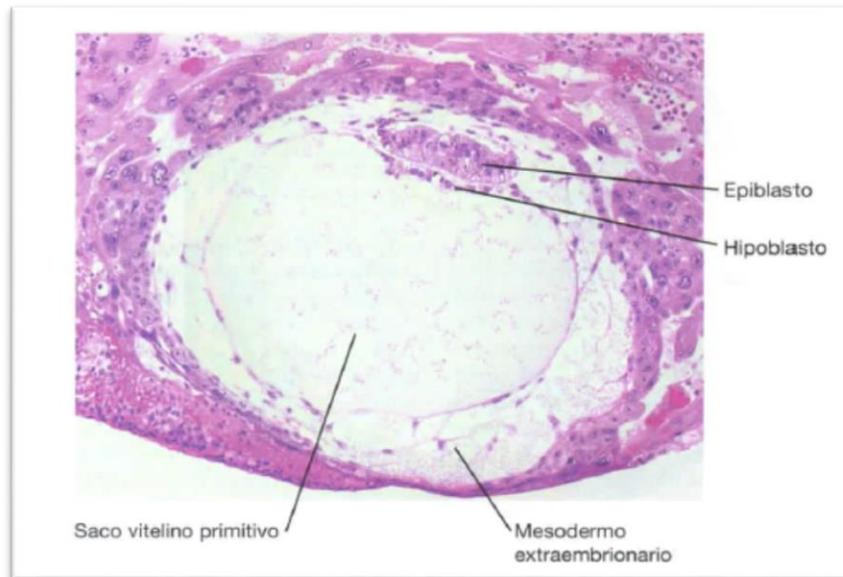


Figura 7. Formación del disco bilaminar, donde se observa el epiblasto e hipoblasto diferenciados. Tomado de Sandler, 2012.

Estas dos capas constituyen en conjunto el blastodermo, y es considerada la primera determinación de las células que van a dar lugar al embrión propiamente dicho, el disco embrionario, es el origen de todos los tejidos embrionarios y parte de los tejidos extraembrionarios, y se ha establecido ya como una bicapa de varios cientos de células, aproximadamente en el décimo día de desarrollo embrionario, esta es la precursora de las posteriores capas del disco embrionario trilaminar: endodermo, ectodermo y mesodermo (López, et al., 2013).

Tercera semana

Disco embrionario trilaminar

En la tercera semana en el periodo embrionario ocurre el proceso de la gastrulación que se caracteriza por formar en el embrión las tres capas germinativas, que son las estructuras precursoras de todos los tejidos embrionarios, además se establece la orientación axial (Moore, *et al.*, 2013). Este proceso se inicia con una depresión rodeada de células de epiblasto en el extremo del surco, cerca del disco, este surco se denomina surco primitivo, mientras que la depresión se llama fosita primitiva y el tejido que se encuentra rodeando es el nódulo primitivo, todo este proceso es la línea primitiva, su función es establecer el eje longitudinal, la simetría bilateral del embrión y proveerle un extremo cefálico y un extremo caudal (figura 8) (Infante, 2008).

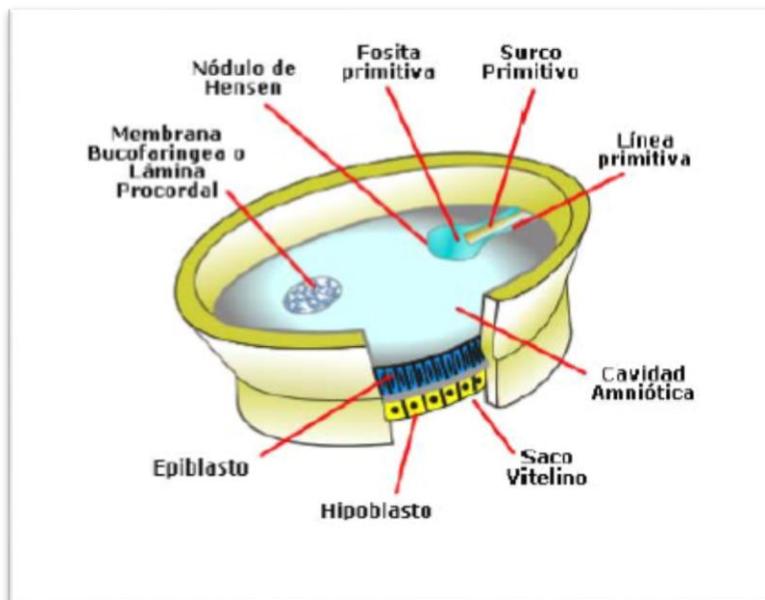


Figura 8. Formación de la línea primitiva y fosita primitiva en la tercera semana embrionaria. Tomado de Infante, 2008.

Cuando las células del epiblasto se ubican en la línea primitiva cambian su morfología y pasan a través de ella para formar nuevas capas celulares debajo del epiblasto (ventrales al mismo), estas células empiezan a proliferarse y migran entre el epiblasto y el hipoblasto, cuando invaden el hipoblasto y desplazan sus células, éste es eventualmente reemplazado por una nueva capa de células, que corresponde al endodermo que va a dar lugar al recubrimiento del intestino y sus derivados (Infante, 2008; Carlson, 2014).

En el momento en que las células del epiblasto migran cruzando la línea primitiva y se extienden en el espacio entre el epiblasto y el endodermo, una corriente de células en sentido latero-medial, y una corriente de migración celular en sentido rostro-caudal llegan al centro del embrión por la línea primitiva y se forma el mesodermo intraembrionario, al formarse estas dos capas, el epiblasto toma el nombre de ectodermo, Por su parte, la línea primitiva desaparece al final de la cuarta semana (figura 9) (Infante, 2008; López, et al., 2013).

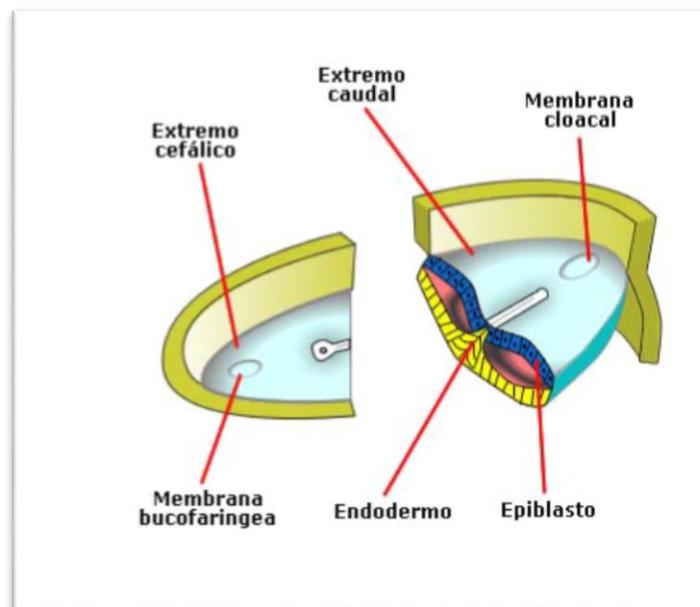


Figura 9. Formación del endodermo, ectodermo y mesodermo. Tomado de Infante, 2008.

Formación de la notocorda

Como se ha explicado, la línea primitiva es el aspecto morfológico que presentan las células cuando están ingresando a través de ésta para formar el mesodermo intraembrionario. De esta manera, las células que siguen una migración rostro-caudal se invaginan a nivel de la zona más rostral de la línea primitiva, y forman a lo largo de la capa media del embrión una estructura de aspecto alargado y central, denominada la notocorda, o también mesodermo axial. Las células que siguen una migración latero-medial, al invaginarse a través de la línea primitiva, formarán, a cada lado del embrión, el mesodermo propiamente dicho (López, et al., 2013).

Desde la línea primitiva se comienza a formar la notocorda, la cual es una estructura cilíndrica celular que se ubica a lo largo del eje longitudinal del embrión (Carlson, 2014). Está compuesta de tejido mesenquimal, este tejido embrionario sólo puede generar células de su mismo linaje, un ejemplo de ello es una célula madre mesenquimal de médula ósea, al tener naturaleza mesodérmica dará origen a células de tipo miocitos, adipocitos u osteocitos, entre otros (Cruz, 2011). Estas células migran en sentido craneal formando un cordón neuronal medial o comúnmente denominado proceso notocordal.

La notocorda se forma desde la fosita primitiva, donde se forma una prolongación que se abre paso entre el ectodermo y el endodermo, las células de la prolongación desarrollan una capa homogénea que inicialmente se une con el endodermo quedando en comunicación con el saco vitelino para luego desprenderse de él, proliferar hasta formar un vástago sólido pero flexible denominado la notocorda, que queda rodeada por mesodermo (Infante, 2008).

La notocorda ayuda a definir el eje primitivo del embrión y la base para el desarrollo del esqueleto axial indicando el sitio futuro de los cuerpos vertebrales (Ávila, 2017). Asimismo, actúa como principal mecanismo iniciador de episodios de señalización (inducciones), que transforman las células embrionarias no especializadas en tejidos y órganos definitivos. Entre estas señales de inducción se encuentran en primer lugar la estimulación de la transformación del ectodermo superficial en tejido neural, en segundo lugar, especifican la identidad de determinadas células en el sistema nervioso inicial, en tercer lugar convierten ciertas células mesodérmicas de los somitas en cuerpos vertebrales y por último, estimulan las primeras fases del desarrollo del páncreas dorsal (figura 10) (Carlson, 2014).

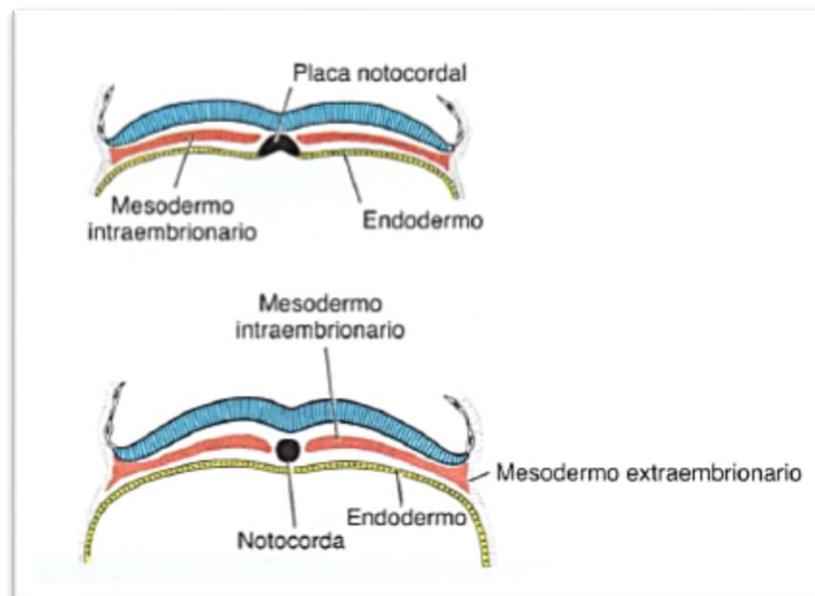


Figura 10. Imagen superior: sección transversal a través de la región de la placa notocordal. Imagen inferior: notocorda definitiva. Tomado de Sandler, 2012.

Durante el desarrollo, la notocorda se va fragmentando y en el organismo adulto sólo quedarán unas pequeñas fracciones que constituyen el núcleo pulposos de los discos

intervertebrales de la columna vertebral y cuando se desplazan de su localización ocasionan nervios discales (López, et al., 2013).

Plan corporal básico del embrión

Ectodermo

A medida que se desarrolla, la notocorda induce el engrosamiento del ectodermo embrionario suprayacente que acaba generando la placa neural, la cual está constituida por células epiteliales de gran tamaño, este proceso se denomina neurulación correspondiente a la formación del tubo neural (Sandler, 2012). Se inicia con la elevación de los bordes laterales de la placa neural, así se forman los pliegues neurales, mientras que en la región central se irá formando el surco neural, posteriormente, los pliegues se acercan entre ellos por encima de la línea media donde se fusionarán. Se inicia desde la región cervical que corresponde al quinto somita y avanza craneal y caudalmente, se formará completamente el tubo neural cuando se halla cerrado completamente (Ibíd. 2012; Carlson, 2014) (figuras 11 y 12).

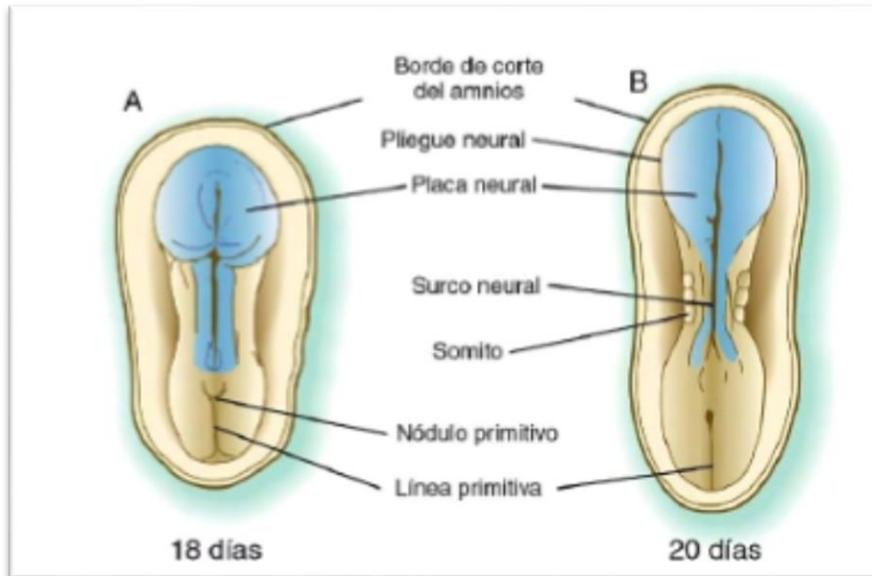


Figura 11. A. Embrión de dieciocho días, donde se observa la placa neural. B. Formación del surco y los pliegues neurales. Tomado de Carlson, 2014.

Antes de que se halla cerrado el tubo neural los neuroporos craneal y caudal seguirán comunicándose con la cavidad amniótica. En la figura 12 se muestra el neuroporo craneal, el cual se cierra hacia el día 25 mientras que el neuroporo caudal se cierra en el día 28, este cilindro neural alberga el sistema nervioso central (Sandler, 2012).

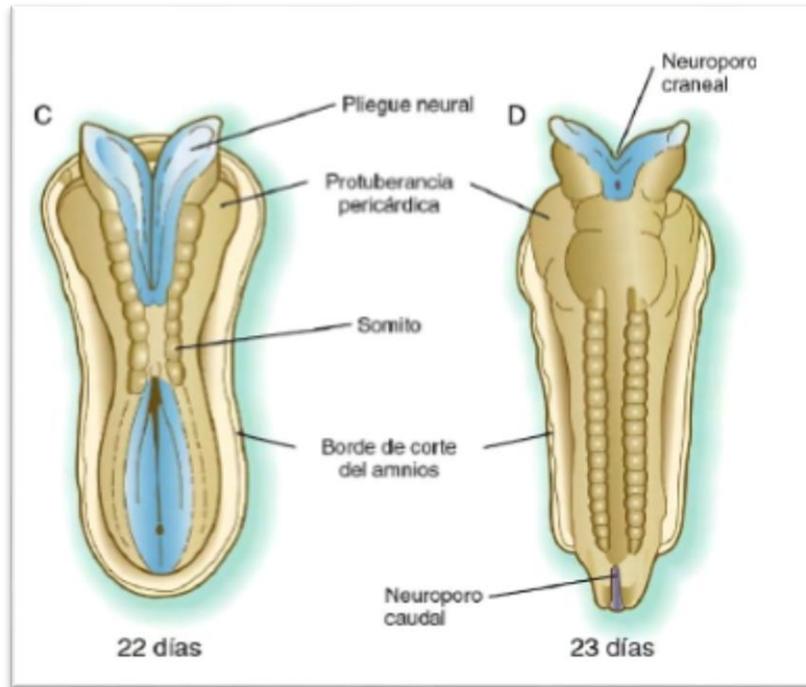


Figura 12. C. Embrión de 22 días con cierre progresivo del tubo neural. D. Dos días después se cerrará completamente, los extremos neuroporos craneal y caudal se cerrarán después. Tomado de Carlson, 2014.

Formación de la cresta neural

Inmediatamente después de que el tubo neural se cierra completamente y se está separando del ectodermo, un conjunto celular denominado cresta neural sale de la parte dorsal del tubo neural y comienza a extenderse por todo el cuerpo del embrión, este tejido es de fundamental relevancia en parte, por formar gran cantidad de estructuras embrionarias a tal punto de considerarse por algunos autores, por ejemplo Brian Hall (2000), como la cuarta capa germinal (Carlson, 2014; Pachajoa & Moreno, 2015).

La cresta neural consiste en un grupo de células que se localizan en la placa neural y que durante la neurulación forman el tubo neural en un proceso similar a la invaginación del endodermo durante la gastrulación, en una etapa posterior las células de la cresta neural migran a

diferentes destinos ubicados en el mesodermo subyacente al tubo neural para contribuir con la formación de una serie de estructuras principalmente de la cabeza y la cara (Pachajoa y Moreno, 2015).

Al ir formándose el tubo, las células que se ubican como un límite entre la parte neural y la no neural del ectodermo se separarán de éste para constituir una estructura alargada, a cada lado del tubo neural y por debajo del ectodermo. Este borde es la cresta neural (Reyes, 2012). En la figura 13 puede observarse este proceso.

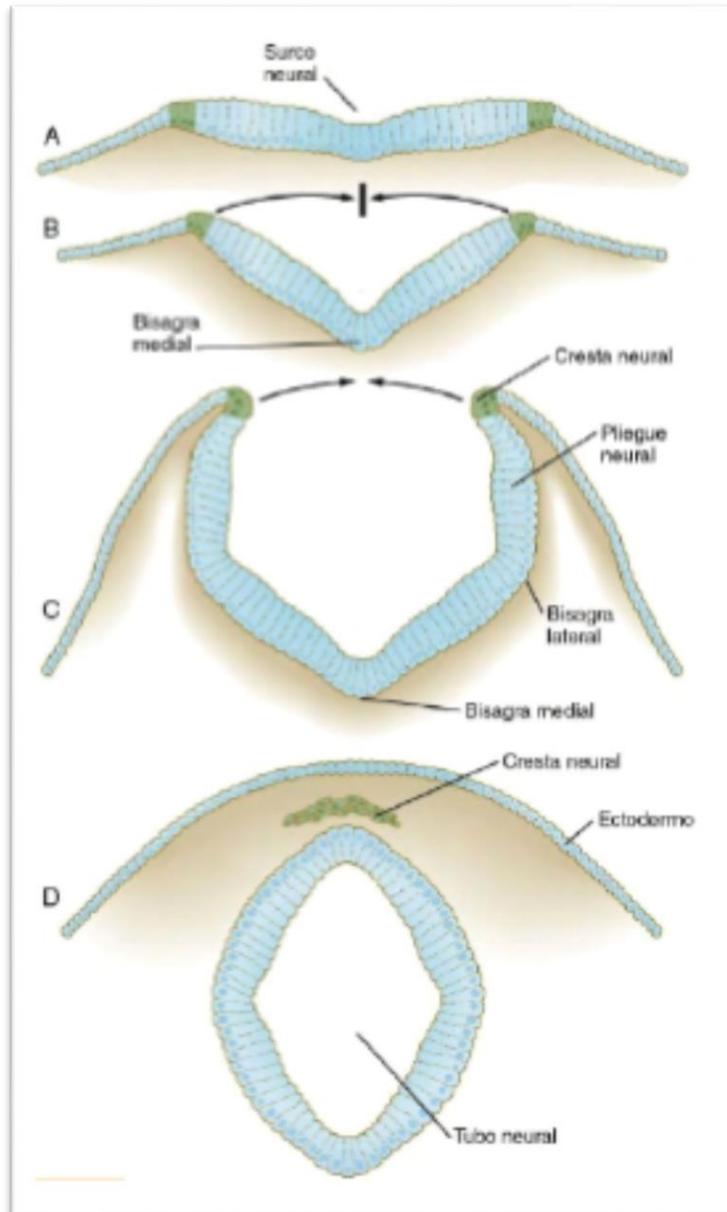


Figura 13. Cortes transversales del tubo neural en formación. A. Placa neural. B. Pliegue neural. C. Pliegues neurales en aposición. D. Tubo neural completo. (La cresta neural antes y después de su salida del epitelio neural se muestra en verde). Tomado de Carlson, 2014.

El proceso de formación de la cresta neural inicia como resultado de la inducción por el ectodermo adyacente no neural y por el mesodermo subyacente sobre la placa neural, posteriormente estas células de origen epitelial se transforman a células mesénquimas por medio de los factores de transcripción implicados en la inducción de las células precursoras de la cresta

neural (snail-1 y snail-2 y Foxd-3), los inductores permiten que las células de la cresta neural se liberen del epitelio neural y puedan migrar posteriormente como mesenquimales (Carlson, 2014). Al trasladarse y localizarse en distintos lugares, estas células tienen gran capacidad para diferenciarse en diferentes tipos de células, es decir, son pluripotenciales, como ejemplo, las células de la región cefálica se van a diferenciar en los huesos y cartílagos de la cara (Pachajoa y Moreno, 2015).

La capacidad y función de las células de la cresta neural cuando migran desde el tubo neural contribuyen con la formación y desarrollo de estructuras propias de los vertebrados, por ejemplo, el mesénquima de los arcos braquiales y sus derivados, ganglios espinales y nervios craneales, células pigmentarias del cuerpo, células productoras de hormonas, odontoblastos, además originan parte del hueso, cartílago y tejidos conectivos de las estructuras craneofaciales, dermatocráneo, cápsulas sensoriales, dermis facial, armadura cefálica y derivados. En la figura 14 se muestra las multifunciones de la cresta neural en el proceso de desarrollo embrionario (Sandler, 2012; Pachajoa y Moreno, 2015).

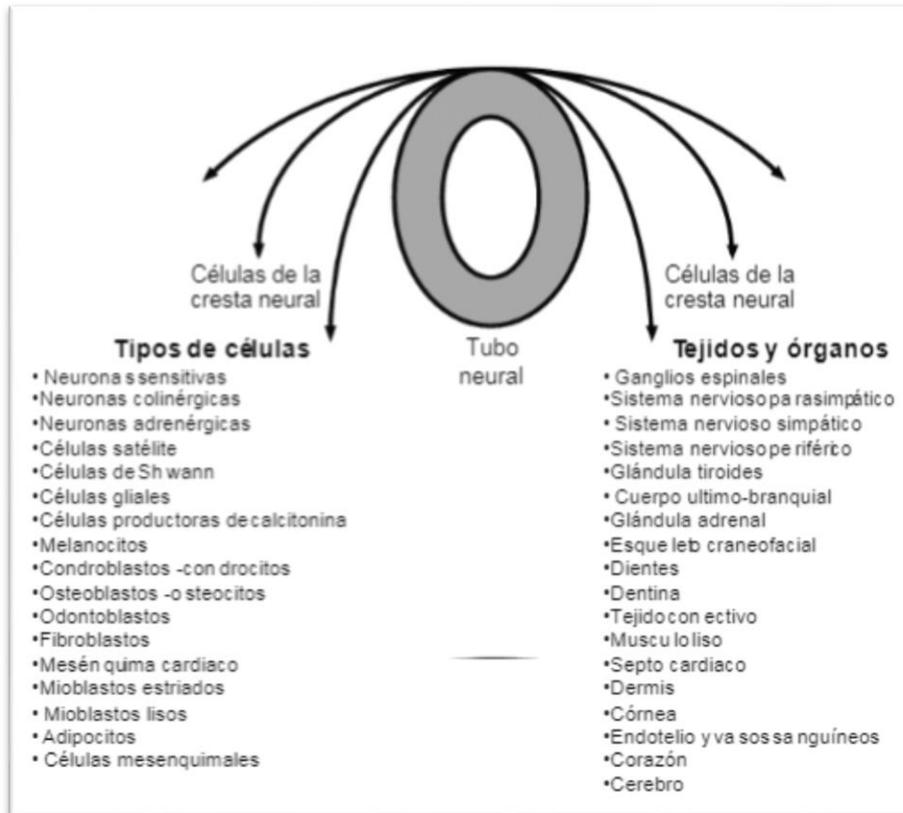


Figura 14. Derivados de las células de la cresta neural. Tomado de Pachajoa y Moreno, 2015.

Mesodermo

El mesodermo es la capa germinativa que presenta mayor número de cambios, ya que produce diversidad de estructuras y órganos (López, et al., 2013). En la tercera y cuarta semana se llevan a cabo la mayor parte de sus transformaciones, luego de atravesar la línea primitiva, las células mesodérmicas se desplazan lateralmente entre el ectodermo y el endodermo formando una capa continua de células mesenquimales, de esta manera, se puede observar en cortes transversales en el mesodermo tres regiones: cerca del tubo neural hay una columna de células mesenquimales llamada mesodermo paraxial el cual posteriormente se organizará en somitas. Justo al lado del mesodermo paraxial se forman un par de condensaciones menos pronunciadas, el mesodermo

intermedio, el remanente de mesodermo lateral forma una lámina aplanada que es llamada mesodermo lateral (Carlson, 2014).

Las tres divisiones de mesodermo dan lugar a estructuras específicas en el adulto. El mesodermo paraxial se diferencia en esqueleto axial, musculatura voluntaria y parte de la dermis de la piel. El mesodermo intermedio produce el sistema urinario y partes del sistema genital, mientras que el mesodermo lateral forma la mayor parte de los tejidos de la pared corporal, la pared del sistema digestivo y los miembros (Carlson, 2014; Infante, 2008) (figura 15).

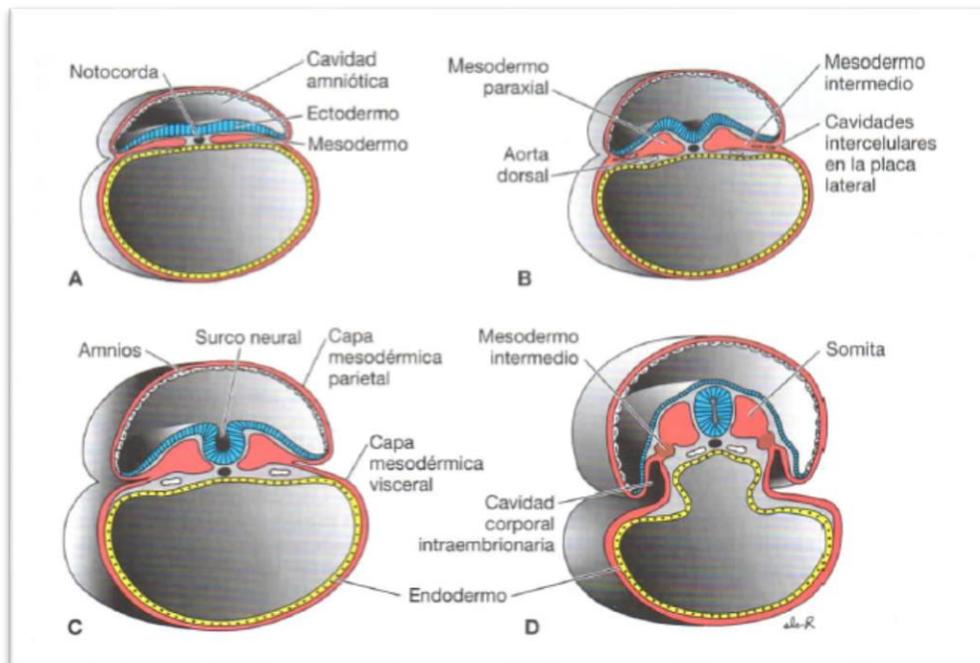


Figura 15. Secciones transversales donde se observa la formación de la capa mesodérmica. A. Día 17; B. Día 19; C. Día 20; D. Día 21. La lámina mesodérmica origina el mesodermo paraaxial (futuros somitas), el mesodermo intermedio (unidades excretoras) y el mesodermo lateral, que se divide en las capas mesodérmicas parietal y visceral que revisten la cavidad intraembrionaria. Tomado de Sandler, 2012.

Mesodermo paraaxial

En la tercera semana, en el mesodermo paraaxial se observa un conjunto de células mesodérmicas bien agrupadas, denominados somitómeros los cuales aparecen primero en la región cefálica del embrión y se dirigen posteriormente en sentido cefalocaudal (figura 16). En la región cefálica, los somitómeros se forman en la segmentación de la placa neural y contribuyen al mesénquima cefálico, después de la región occipital, los somitómeros se organizan en somitas. El primer par de somitas surgen en la región cervical del embrión, cada día se van formando tres pares de somitas llegando al final de la quinta semana con un número de 42 a 44 pares organizados de la siguiente manera: cuatro pares de somitas occipitales, ocho cervicales, doce torácicos, cinco lumbares, cinco sacos y ocho a diez pares de coccígeos, posteriormente desaparecen el primer par occipital y los últimos cinco a siete coccígeos, mientras que el resto de los somitas constituye el esqueleto axial (Sandler, 2012; Moore, et al., 2013).

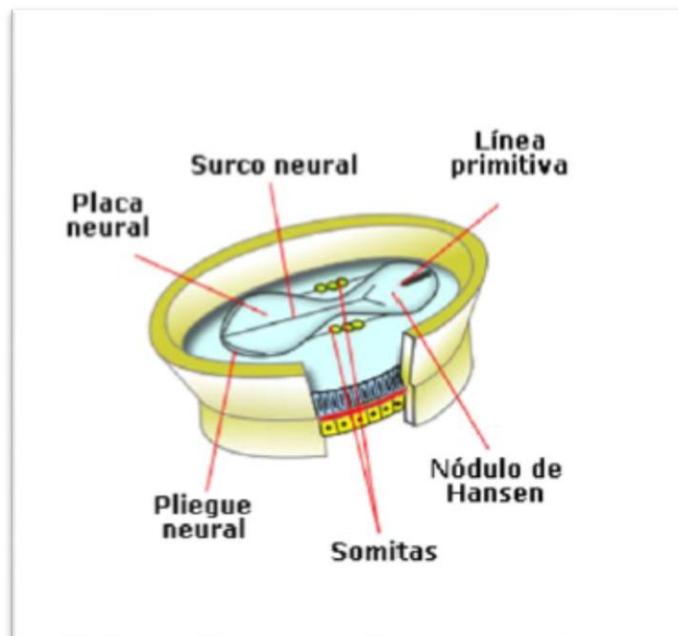


Figura 16. Formación y ubicación de los somitas. Tomado de Infante, 2008.

Posteriormente, los somitas sufren transformaciones que los guían hacia destinos diferentes y con tareas específicas. La parte medio ventral de los somitas es denominada esclerotoma, que contribuye a la formación de la columna vertebral (cartílago y hueso); el aspecto lateral de los somitas es llamado dermatoma, que da origen a la dermis de la piel, por su parte, la porción intermedia o miotoma, se diferencia en los músculos del tronco y miembros y contribuye con la formación de algunos músculos de la región facial (Infante, 2008).

Mesodermo intermedio

Consiste en un cordón de células que conecta el mesodermo paraaxial con el mesodermo lateral (figura 17) (Carlson, 2014). Su rol principal es la posterior diferenciación para originar las estructuras urogenitales; las células segmentarias se ubicarán en la región cervical y torácica superior y las no segmentarias de tejido se establecen más caudalmente, así se desarrollarán el sistema urinario y las gónadas (Sandler, 2012).

Mesodermo lateral

Es la región más externa del mesodermo y se caracteriza por dividirse en dos capas, una superficial que está en relación directa con el ectodermo denominada la hoja somatopleura del mesodermo lateral, y otra capa aún más profunda relacionada con el endodermo, llamada hoja esplacnopleura del mesodermo lateral. Cada hoja de mesodermo lateral se fusionará con la del lado opuesto a nivel de la línea media del embrión, ya que éste se va plegando en sentido latero-medial formando el cuerpo embrionario (López, et al., 2013). De esta manera se transforma en una morfología con tres capas germinales planas hasta una estructura cilíndrica “*con un tubo de endodermo (intestino) en el centro, una cubierta tubular externa de ectodermo (epidermis) y una*

capa intermedia de mesodermo. Esta transformación tiene lugar antes de la aparición de los miembros” (Carlson, 2014, p. 104).

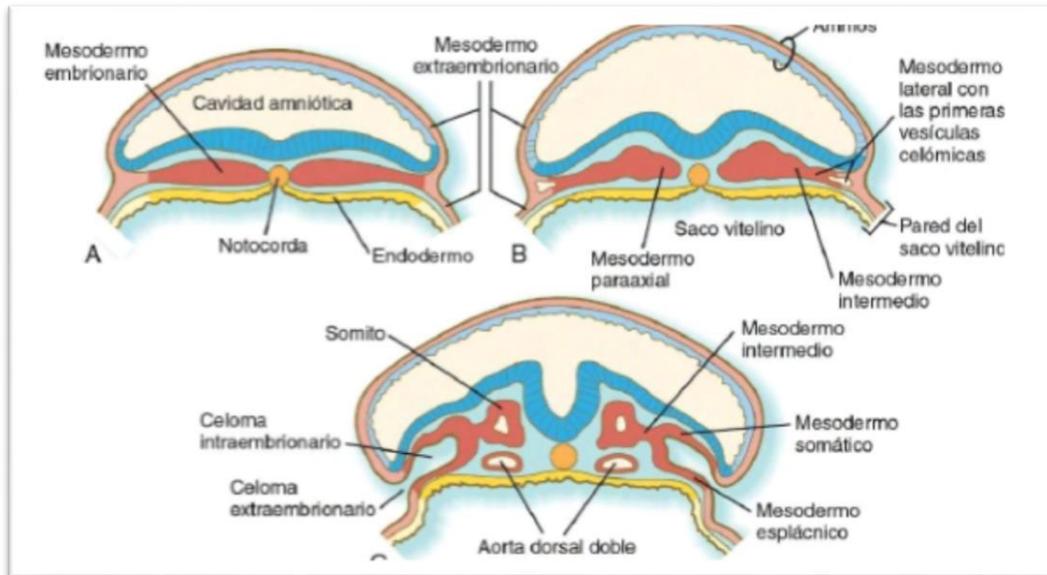


Figura 17. Desarrollo de los mesodermos y el continuo plegamiento del embrión. Tomado de Carlson, 2014.

Al ir plegándose el embrión formará el celoma intraembrionario el cual estará cercano al celoma extraembrionario (figura 17) cuando se termina de plegar las dos regiones o espacios celómicos quedarán separados, así se formará el cuerpo embrionario. La cavidad celómica determinará la formación de las serosas (pericárdica, pleural y peritoneal) y el origen de las cavidades corporales (López, et al., 2013).

Endodermo

Es la capa embrionaria más profunda y muestra los cambios morfogénéticos menos llamativos, adoptando una actitud aparentemente pasiva durante el desarrollo inicial, ya que se limita a seguir el proceso de incurvación embrionaria, originando el tubo endodérmico, que recorre

el embrión longitudinalmente desde la boca primitiva hasta el ano (López, et al., 2013). En la medida en el que se da el plegamiento lateral, el intestino endodérmico forma los tubos craneal y caudal, es decir, el intestino anterior y posterior, mientras que la región media o intestino medio continua abierto al saco vitelino (Carlson, 2004).

En el extremo cefálico, el intestino anterior se delimita con la membrana bucofaringea la cual separa la cavidad bucal primitiva. Mientras que el intestino posterior termina en una membrana ectodérmica o cloacal la cual separa la parte superior del conducto anal de la parte inferior denominada proctodermo, esta membrana se rompe para crear el orificio del ano en la séptima semana (figura 18) (Sandler, 2012).

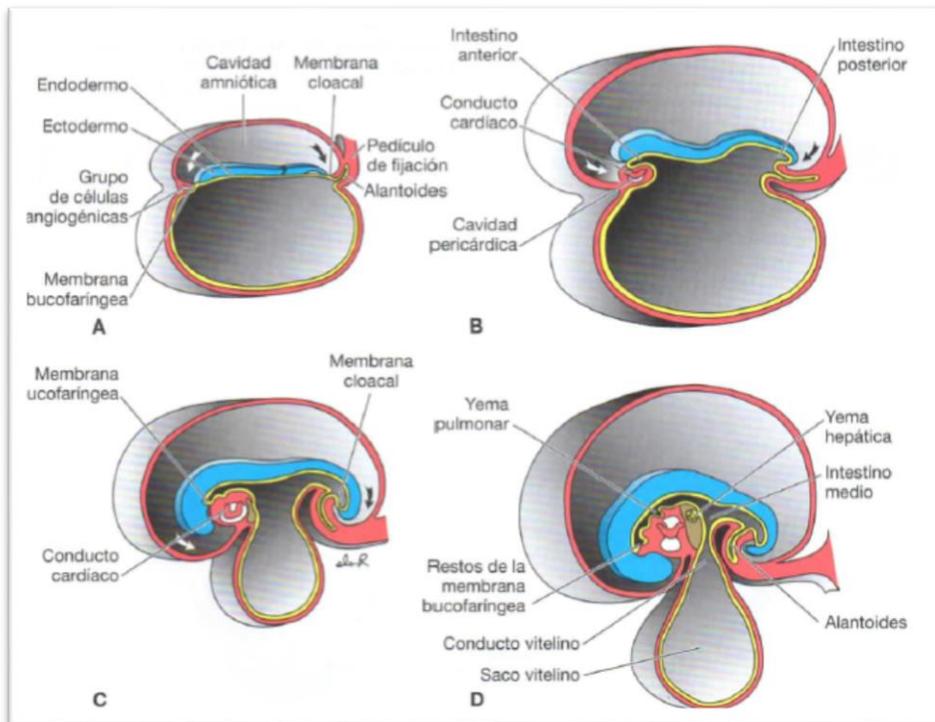


Figura 18. Secciones sagitales a través de la línea media donde se observa el plegamiento cefalocaudal del embrión. A. Día 17; B. Día 22; C. Día 24; D. Día 28. Tomado de Sandler, 2012.

A su vez, el endodermo origina el epitelio de revestimiento del tracto respiratorio, el parénquima de las amígdalas, las glándulas tiroideas y paratiroides, el timo, el hígado y el páncreas, el revestimiento epitelial de la vejiga urinaria y de la mayor parte de la uretra, también el revestimiento epitelial de la cavidad timpánica y la trompa faringotimpánica (Moore, et al., 2013).

Cuarta semana

De acuerdo a las descripciones anteriores, los mayores cambios del plan corporal básico ocurren en la tercera semana. Por su parte, en la cuarta semana el prosencéfalo o cerebro primitivo causa una elevación prominente de la cabeza y el plegamiento del embrión hace que presente una incurvación en forma de “C” (Moore, et al., 2013). En los días 26 y 27 cuando el embrión tiene solo 4 mm de longitud céfalo-caudal (C-R, en inglés *crown-rump*) se reconocen los esbozos de los miembros superiores en forma de pequeñas protrusiones en las paredes ventrolaterales del cuerpo (figura 19). La yema de la extremidad superior está revestida por el ectodermo, que posteriormente se convierte en el tejido nervioso, la epidermis y sus apéndices, a su vez, contienen tejido mesodérmico, el cual forma cartílago, hueso, tejido conjuntivo y músculo (Bain, et al., 2015). Por su parte, las placodas óticas, que son los primordios de los oídos internos, también son visibles y pueden observarse las placodas cristalinas, las cuales son indicativas de los futuros cristalinos oculares (Ibíd. 2013).

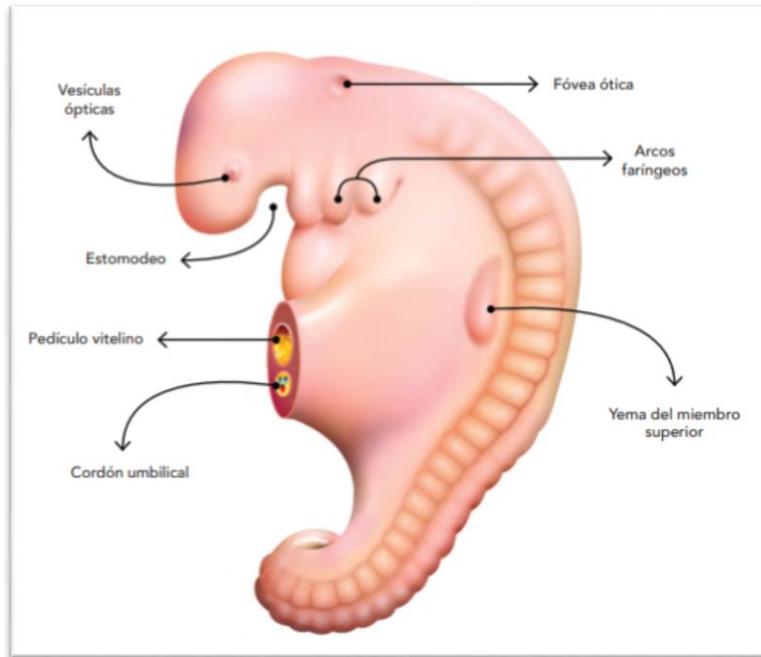


Figura 19. Embrión de 26 a 27 días, donde se observa los precusores de órganos como el oído, los ojos y cordón umbilical, en esta etapa sólo tiene tres arcos faríngeos y se empiezan a localizar en el miembro inferior. Tomado de Arteaga y García, 2017.

Otras características importantes es el desarrollo de los arcos faríngeos, los cuales “*son masas de mesodermo, cubiertas por ectodermo y revestidas de endodermo. Dentro de estas masas, se forman los componentes musculares y esqueléticos, así como los arcos aórticos y las redes nerviosas de la cara*” (Infante, 2008, p. 65). Los arcos faríngeos se forman secuencialmente del 1º al 6º, los dos primeros arcos están presentes en el día 24, el primer arco faríngeo da lugar a la mandíbula, allí se forman dos elevaciones, la prominencia mandibular que es la más grande y forma la mandíbula y la prominencia maxilar que es más pequeña y forma el maxilar, además de allí se desarrolla el arco cigomático y parte del hueso temporal y contribuye a la formación del maxila. A su vez, el corazón origina una prominencia ventral de gran tamaño y bombea la sangre (Infante, 2008; Moore, et al., 2013).

El segundo arco faríngeo o arco hioideo aparece entre los días 45 a 48 de vida embrionaria, éste forma el estribo y contribuye al martillo, al yunque y a la apófisis o proceso estilohioideo del hueso temporal. El tercer arco faríngeo produce gran parte de los cuernos y parte caudal del cuerpo del hioides, además la mucosa del tercio posterior de la lengua es derivada de este arco; por su parte, el cuarto arco faríngeo forma el cartílago tiroideo, por su parte, el cuarto arco faríngeo forma el cartílago tiroideo. Los músculos del arco se originan de la segunda y cuarta somita occipital, mientras que el quinto arco es una estructura transitoria y desaparece rápidamente, por ello no deja ningún elemento de estructura permanente. Finalmente el sexto arco forma el cartílago cricoideo y aritenoideo de la laringe (Infante, 2008).

Quinta semana

Es el inicio del segundo mes, en esta semana el embrión crece considerablemente a tal punto que es posible ser medido con la longitud céfalo-caudal (C-R) debido a la flexión del cuerpo (Arteaga y García, 2017). Principalmente el crecimiento se da en la cabeza, esto se debe en parte al rápido desarrollo del encéfalo y de las prominencias faciales (Moore, et al., 2009). En esta semana, los miembros superiores adoptan la forma de una aleta y al final de la semana tienen forma de pala, de esta manera, poco después del establecimiento de la yema, las células precursoras del cartílago forman un núcleo de condrogénesis y otras células del tejido conectivo (tendones y músculos) se acumulan en la periferia (Bain, et al., 2015). Mientras que aparecen las yemas de los miembros inferiores que posteriormente tendrán forma de aleta corta. La cabeza se flexiona sobre el tronco donde se puede observar la curvatura o flexura cervical, al final de la semana el embrión mide 7,0 a 9,0 mm de longitud C-R (figura 20) (Ibíd. 2017).

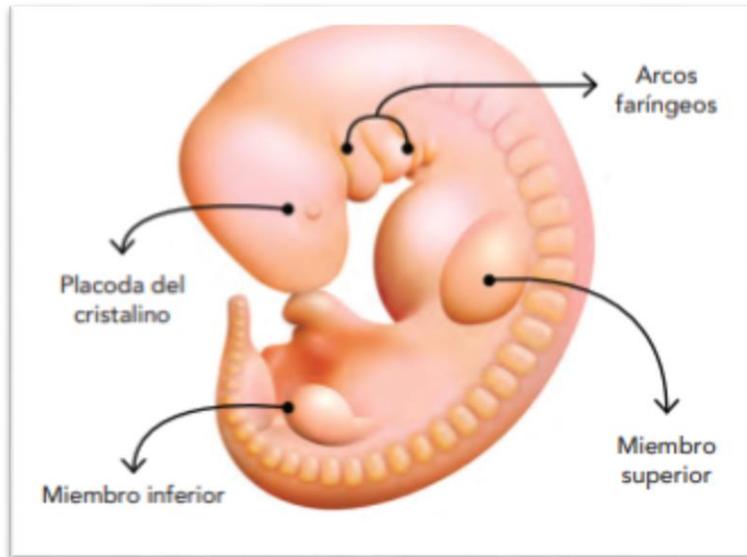


Figura 20. Embrión de 31 a 32 días. Desarrollo de los miembros. Tomado de Arteaga y García, 2017.

Sexta semana

En esta semana los cambios principales se dan en la región de los miembros superiores ya que la diferenciación se produce a medida que se desarrollan los codos y las grandes manos, o también denominados rayos digitales a los primordios de los dedos (figura 21). Asimismo, el embrión comienza a mostrar movimientos espontáneos a nivel del tronco y miembros, por otra parte, el surco que se forma entre los dos primeros arcos faríngeos se convierte posteriormente en el conducto auditivo externo y los montículos auriculares forman las orejas. En cuanto a los ojos, en esta etapa se inicia la formación del pigmento retiniano por ello son tan visibles, al tener un color oscuro (Moore, et al., 2013).

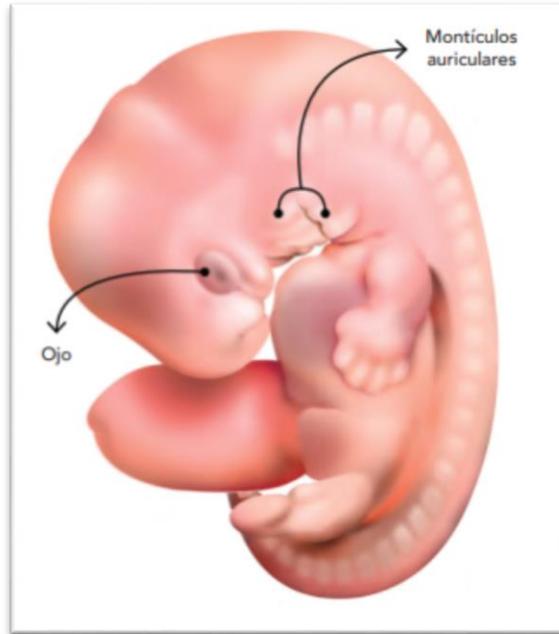


Figura 21. Embrión de 41 a 43 días, Formación del pigmento retiniano, montículos auriculares los cuales serán la cavidad externa del oído y el desarrollo de primordios de los dedos de las manos. Tomado de Arteaga y García, 2017.

Séptima semana

En esta semana el embrión mide desde 13.0 a 22.0 mm de longitud C-R y los principales cambios se dan a nivel de los miembros ya que se muestran zonas de separación entre los rayos digitales en las manos estando unidas únicamente por las membranas interdigitales, lo cual define los dedos y posteriormente sucede lo mismo con los miembros inferiores, además comienza a ser notoria la rodilla. Al mismo tiempo se irán formando los esbozos de los párpados y las prominencias auriculares se fusionan para formar los pabellones auriculares, es decir, las orejas (figura 22). En el final de esta semana e inicios de la octava semana empieza la osificación en los miembros superiores (Moore, et al., 2013; Arteaga y García, 2017).



Figura 22. Embrión de 49 a 51 días. Los dedos de la mano se unen por la membrana interdigital y en el miembro inferior pueden distinguirse los tres segmentos. Tomado. Arteaga y García, 2017.

Octava semana

En esta semana finaliza la etapa embrionaria y el embrión puede medir a inicios de la semana 22.0 mm y al final a 31.0 mm de longitud C-R. Los mayores cambios se dan en la morfología y el crecimiento corporal, por ello la cabeza se va tornando redonda y sigue siendo más grande que el resto del cuerpo, a su vez, el embrión está en la capacidad de cerrar los párpados, por su parte, el cuello se irá alargando y los miembros inferiores estarán formados. Los dedos de las manos y los pies se han separado completamente y pueden acercarse a su contralateral a tal punto que pueden tocarse (Arteaga y García, 2017) (figura 23). En esta semana inicia la osificación de huesos de rápida formación como lo son clavícula y escápula. Posteriormente se explicará a detalle.



Figura 23. Embrión de 56 días. Miembros inferiores formados. El embrión muestra características más humanas. Tomado de Arteaga y García, 2017.

Desarrollo fetal

El periodo fetal inicia desde la novena semana hasta el nacimiento. Este se caracteriza por *“la maduración de los tejidos y órganos, y por el crecimiento rápido del cuerpo”* (Sandler, 2012, p. 96). Este proceso de maduración no concluye en el nacimiento, debido a que algunos sistemas completan este proceso en etapas posteriores de la vida postnatal, ejemplo de ello son los sistemas nervioso, urogenital, esquelético y respiratorio (Bernardo, 2004).

La longitud fetal se indica mediante la longitud cefalocaudal, es decir, longitud vértice (cráneo)-talón (altura del pie) y se expresa en centímetros, relacionándose directamente con la edad del feto. Desde el tercer hasta el séptimo mes el feto crece en longitud, mientras que en los dos últimos meses gana peso (Sandler, 2012).

Tercer mes

Este periodo abarca desde la novena hasta la doceava semana. El feto muestra cambios con respecto al tamaño de la cabeza, que si bien, sigue siendo bastante grande se va reduciendo, a su vez, la cara va exhibiendo características más humanas, aunque los ojos permanecen relativamente separados y la orejas poco a poco irán tomando su posición normal (figura 24) (Sandler, 2012). Por su parte, los miembros superiores se encuentran más formados y alcanzando su longitud final, por el contrario, los miembros inferiores observan poco desarrollados y cortos con respecto a los superiores (Bernardo, 2014).

Otras características fundamentales de esta etapa se encuentran en los genitales externos ya que en ambos sexos poseen rasgos similares en la novena semana, su maduración se establece en la semana doce, por ello es posible determinar el sexo del feto en esta etapa. Por otra parte, las asas o protuberancias intestinales que estaban presentes en la parte proximal del cordón umbilical desde la sexta semana, hacia la onceava semana vuelven hacia la cavidad abdominal (figura 24). En cuanto a fluidos como la orina, la cual comienza su formación en esta etapa, se elimina mediante la uretra que se dirige hasta el líquido amniótico, mientras que estos desechos fetales se transfieren a la circulación materna cuando pasan hacia la membrana placentaria (Moore, et al., 2013; Bernardo, 2014).



Figura 24. Embrión de once semanas. Se observa el aspecto humano en el rostro y el crecimiento de los miembros superiores. Tomado de Moore, et al., 2013.

Cuarto mes

Este periodo se extiende desde la semana trece a la semana dieciséis. Se caracteriza por el crecimiento acelerado del cuerpo, por ello, a finales de la semana dieciséis el feto puede medir aproximadamente 15 cm (Sandler, 2012). Por su parte, los miembros inferiores incrementan su longitud, a su vez, se presentan movimientos ligeros por parte del feto los cuales son imperceptibles para la madre y los cuales se pueden observar mediante los estudios ecográficos (Moore, et al., 2013). En cuanto a los rasgos faciales, los ojos tendrán una mayor centralización y pueden ocurrir movimientos oculares, además el feto se encuentra totalmente cubierto de un vello

delgado el cual se denomina laguno, de esta manera aparecerán los primeros signos de pelo en el cuero cabelludo y en las cejas (figura 25) (Ibíd. 2012).

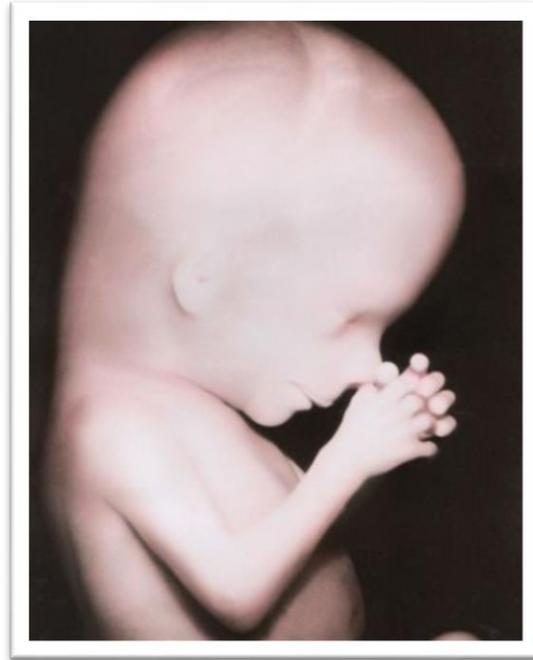


Figura 25. Feto de 13 semanas. Fotografía de aumento de la cabeza y de la parte superior del tronco. Tomado de Moore, et al., 2013.

Quinto mes

Esta etapa va desde las semanas diecisiete a veinte. El feto tiene aproximadamente 500 gramos de peso y en esta fase la madre si puede sentir los movimientos fetales (Sandler, 2012). La piel posee una textura grasosa, denominada vérnix caseoso, el cual está compuesto por *“una mezcla de secreciones glandulares, lanugo y células epiteliales descamadas procedentes de la epidermis del feto, que habitualmente se encuentran en el líquido amniótico”* (Rodríguez, et al., 2005, p. 1). Su función es cuidar la piel delicada del feto que puede provenir de las abrasiones y el endurecimiento que pueden originarse en la exposición al líquido amniótico (figura 26).



Figura 26. Feto de 17 semanas. Se observa vérnix caseoso, el crecimiento es longitudinal en las extremidades, a su vez, disminuye el tamaño de la cabeza. Tomado de Sandler, 2012.

Otro tejido fundamental que se origina en la semana veinte es la grasa parda, la cual tiene como función producir calor al feto hasta el nacimiento, este tejido adiposo especializado se localiza en la raíz del cuello, detrás del esternón, todo este proceso ocurre gracias a la oxidación de los ácidos grasos (Moore, et al., 2013).

En el quinto mes fetal se producen cambios relacionados al aparato genital, exactamente en la semana dieciocho en fetos femeninos se forma el útero fetal y posteriormente se inicia la canalización de la vagina, y se pueden observar folículos ováricos primordiales que contienen ovogonias. Por su parte, en fetos masculinos, en la semana veinte, inicia el descenso de los testículos que se localizan en la pared abdominal posterior, en una posición muy similar a la de los ovarios en fetos femeninos (Moore, et al., 2013; Bernardo 2014).

Sexto mes

Se extiende desde la semana veintiuno a la semana veinticinco. En esta fase el peso del feto empieza a aumentar oscilando de 500 a 800 gramos. Si nace en este periodo tiene pocas probabilidades de sobrevivir, aunque algunos sistemas se encuentran en funcionamiento a excepción del aparato respiratorio y el sistema nervioso central no se encuentran diferenciados ni son capaces de llevar a cabo su propio rol en el cuerpo (Sandler, 2012). En la semana veintiuno los movimientos oculares son rápidos, por esta razón, en las dos semanas siguientes el feto puede dar respuestas de sobresalto mediante parpadeos; posteriormente en la semana veinticuatro las uñas de las manos comienzan su formación (Moore, et, al., 2013).

Séptimo mes

El séptimo mes abarca desde las semanas veintiseis a veintinueve. Durante este mes el feto puede nacer y sobrevivir con cuidados especiales debido a que los pulmones ya se han desarrollado suficientemente para permitir un intercambio adecuado de gases, a su vez, el sistema nervioso central ha madurado y puede dirigir movimientos respiratorios rítmicos y controlar la temperatura corporal (Moore, et al., 2013). En esta fase el feto puede tener una longitud cefalocaudal de 25 cmm y puede pesar 1100 gramos (Sandler, 2012).

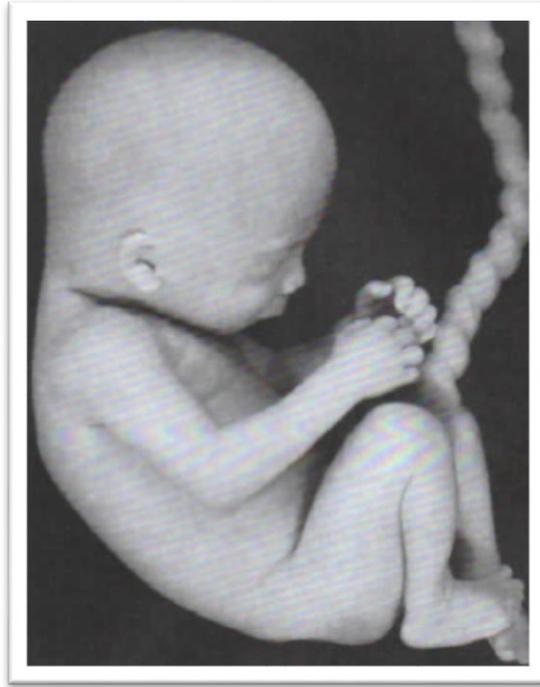


Figura 27. Feto de siete meses. Se observa mayor relleno en los depósitos de grasa subcutánea. Tomado de Sandler, 2012.

En este período se forman las uñas de los dedos de los pies, además se podrá observar mayor cantidad de tejido adiposo subcutáneo lo cual hará desaparecer la apariencia arrugada de la piel en el feto (figura 27) y construirá aproximadamente el 3,5% del peso corporal fetal (Bernardo, 2014).

Octavo mes

Se extiende desde la semana treinta a la treinta y cuatro. Este periodo se caracteriza principalmente por los cambios oculares con respecto al reflejo pupilar, el cual hace referencia a *“la modificación de la pupila en respuesta al estímulo luminoso”* (Moore, et al., 2013, p. 226). Otros cambios suceden en el aparato reproductor masculino el cual continúa su descenso testicular,

por su parte, la textura de la piel es rosada y suave. Los fetos que nacen en estas semanas pueden sobrevivir sin complicaciones (Bernardo, 2014).

Noveno mes

Es el último mes de gestación el cual va desde la semana treinta y cinco a treinta y ocho. Para este mes, todas las estructuras del feto se encontrarán formadas y en el momento del nacimiento para un feto normal el peso oscila entre 3000 y 3400 gramos, mientras que su longitud C.R es de 36 cm y la longitud vértice-talón sería de 50 cm, en estos últimos meses el feto muestra un descenso del crecimiento, por el contrario, produce mayor tejido adiposo preparándose para el nacimiento (Sandler, 2012). En relación a la morfología del feto, la cabeza continúa siendo una estructura de gran tamaño, además se dan diferencias de sexo, siendo los fetos de sexo masculinos de mayor tamaño y peso que las hembras (Moore, et al., 2013).

FORMACIÓN Y DESARROLLO DE LA CLAVÍCULA

Desarrollo embrionario de la clavícula

Los huesos de la cintura escapular se derivan del mesodermo de la placa lateral del disco embrionario trilaminar (Cunningham, et al., 2016). En la quinta semana de vida embrionaria, la clavícula empieza a osificarse, esta formación en etapas tempranas se da ya que el desarrollo del embrión tiene una dirección céfalo-caudal, por esta razón, la clavícula y la mandíbula pueden aparecer simultáneamente (Calixto, et al., 2015).

La diáfisis de la clavícula se forma por medio de la osificación intramembranosa, allí se produce la unión de las células mesenquimales, este proceso se conoce como proliferación fibrocelular o blastema óseo, que surge de la condensación de las células mesenquimales, todo ello comienza cerca de la escápula hacia abajo, posteriormente se irá moviendo hacia adelante y medialmente hacia la región de la línea media, de esta manera se desarrollan dos centros primarios de osificación, lateral y medial, que están próximos entre sí (Garzón, et al., 2014).

En la quinta semana las células mesénquimas migran al sitio donde se desarrollará la futura clavícula y mantienen una continuidad lateral con la condensación mesenquimal que formará la escápula, en esta etapa blastemática del desarrollo claviclar sucede una proliferación fibrocelular que comienza lateralmente y se extiende medialmente (Scheuer y Black, 2004; Cunningham, et al., 2016).

A partir de la sexta semana las células dentro del blastema se diferencian en osteoblastos que comienzan a producir matriz ósea, de esta manera se establece los dos centros primarios de

osificación intramembranosa claramente separados, estos centros son una ubicación espacial donde los procesos del crecimiento óseo se llevan a cabo. Estos centros de osificación comienzan a expandirse hacia los extremos esternales y acromiales (semana 6.25 a semana 7) (Garzón, et al., 2014). Por su parte, la matriz ósea producida por estos osteoblastos iniciales se conoce como hueso entretejido o fibrilar, el cual es una estructura de colágeno desorganizada que resulta de una producción rápida (Scheuer y Black, 2004; Cunningham, et al., 2016).

Una vez que se produce suficiente matriz ósea para formar una pequeña parte de hueso, se reclutan osteoblastos adicionales en la superficie, donde hay producción continua de hueso tejido o de hueso laminar primario más organizado. Este tipo de hueso primario se compone principalmente fibras de colágeno tipo I pequeñas y dispuestas al azar que se mineralizan rápidamente, lo que probablemente da como resultado un tejido que está más altamente mineralizado que el hueso laminar. Debido a que se forma tan rápido, inicialmente se presenta como una estructura de celosía, con grandes poros presentes dentro de la estructura mineralizada (Burr y Allen, 2013).

La osificación avanza rápidamente y en la séptima semana la fusión de los dos centros da como resultado un cordón o línea mineralizada y las células mesénquimas en los extremos acromial y esternal inician la diferenciación condrogénica. En esta etapa el centro lateral consiste en un hueso trabecular bastante grueso con una zona cortical que se puede asemejar a un panal, la parte lateral es pequeña y plana, mientras que la parte medial es grande y ovalada. Al finalizar la séptima semana la clavícula consiste en dos masas óseas bien definidas y unidas por un puente óseo, donde se encuentra la formación temprana de la médula ósea (figura 28) (Ogata y Uthoff, 1990).

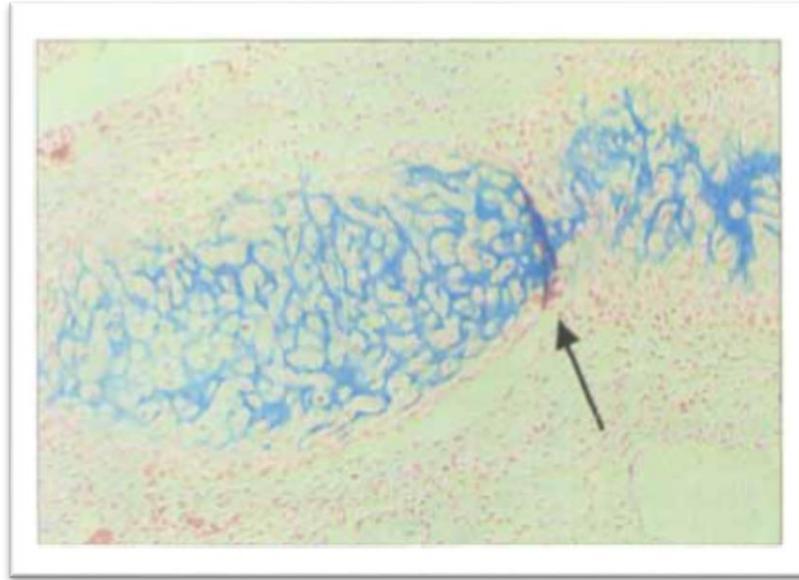


Figura 28. Embrión humano, longitud de 20 mm CR, 7.5 semanas. Corte transversal que muestra el puente óseo (flecha), que conecta los centros medial (lado derecho) y lateral (izquierdo). Tomado de Ogata y Uhthoff, 1990.

Hacia la octava semana, se forman masas de condrocitos tanto en el extremo acromial como en el esternal, estas masas cartilagosas permiten que la clavícula continúe creciendo por osificación endocondral (Jowsey, et al., 1971; Nazir, et al., 2014; Cunningham, et al., 2016). A su vez, la clavícula es invadida por canales vasculares que ingresan por la cara posterior. Las células hematopoyéticas y osteoclastos están presentes (Ogata y Uhthoff, 1990).

En esta fase, su disposición es oblicua, con elevación de su porción distal; esta posición se mantiene hasta el cuarto año de vida, momento en el que inicia su proceso de horizontalización (Scheuer y Black, 2004). En la semana catorce aproximadamente, el cartílago está presente en ambos extremos y al final del período embrionario, el hueso está vascularizado en la medida en que está presente un espacio medular. El crecimiento ahora es similar al de otros huesos largos. La acreción de la superficie y la eliminación interna conducen a un aumento en el ancho más que en su longitud (Jowsey, et al., 1971).

En resumen, tanto los estudios previos y en la actualidad coinciden los hallazgos en cuanto a la formación de la clavícula, se ha documentado que en esta etapa la clavícula inicia con un cordón o línea mesenquimal condensada con dos centros rodeados por preosteoblastos. Hacia la sexta semana se pueden apreciar dos núcleos de osificación diafisarios, uno medial con morfología cilíndrica y más grande, a su vez con mayor actividad en el crecimiento de la clavícula y otro lateral pequeño y plano (O'Rahilly, y Gardner, 1972; Scheuer y Black, 2004; Cunningham, et al., 2016; Baumgart, et al., 2016).

Desarrollo fetal de la clavícula

Poco después de que comienza el período fetal, el proceso invasivo central alcanza el cartílago y comienza la osificación endocondral. Una vez que la matriz osteoide se ha establecido en la zona de precartílago, las extremidades medial y lateral desarrollan zonas condrogénicas de cartílago hialino para que continúe el posterior crecimiento óseo, lo mismo sucede en los huesos largos, aumentando la longitud a través de la osificación endocondral y el ancho del hueso a través de la aposición subperióstica (Black y Scheuer, 1996).

Esta zona de crecimiento rara vez muestra la disposición ordenada de las zonas epifisarias, por lo que se parece más a los formados por el cartílago articular. Las células hipertróficas del cartílago tienden a estar dispuestas irregularmente en lugar de columnas longitudinales y la mayoría de las trabéculas endocondrales se eliminan casi tan pronto como se forman; por lo tanto, tienen menor presencia en el espacio medular (Jowsey, et al., 1971).

El cartílago hialino inicia su aparición en los extremos esternal y acromial, este tejido está cubierto por una delgada capa de tejido mesenquimal, que corresponde al pericondrio, es avascular, es decir, se nutre a través del líquido sinovial y en su superficie se distinguen varias capas, superficial de tejido conectivo, proliferativa formada por células mesenquimáticas, madurativa con condrocitos hipertróficos y una zona de osificación con condrocitos en regresión y trabéculas óseas en formación (Montenegro, et al., 2004).

El mayor elemento de su composición es agua, seguido de colágeno tipo II, X y XI, haciéndolo resistente, además de condrocitos, los cuales se encargan de sintetizar la matriz cartilaginosa y de producir proteoglicanos, colágeno y proteínas (Delgado, 2013). Aparecen entre las 10 a 12 semanas fetales los blastemas cartilagosos de la clavícula humana, en el tejido mesenquimal condensado de los extremos del esbozo clavicular y crecen rápidamente y están rodeados de tejido mesenquimal que se continúa con el periostio (Montenegro, et al., 2004).

La parte lateral crece hacia el acromion del cual permanece separado por una masa fibrocelular, y la parte medial se extiende hacia el esternón donde gradualmente se fusiona en una masa fibrocelular (figura 29). En esta etapa, el tejido en los extremos de la clavícula se parece al cartílago temprano. Las células, sin embargo, son más grandes y hay menos matriz intercelular que en otro cartílago, en esta etapa también, los vasos sanguíneos comienzan a invadir el hueso (Jowsey, et al., 1971; Burr y Allen, 2013).

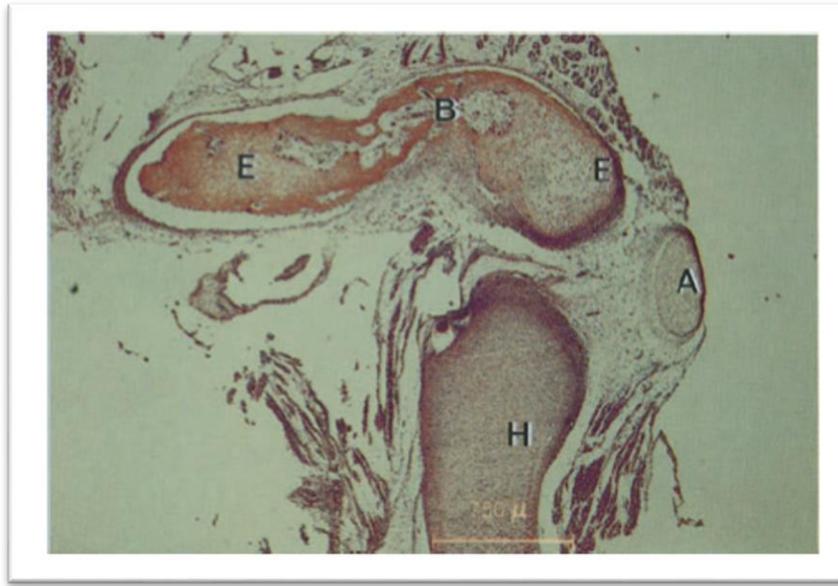


Figura 29. Feto de nueve semanas (41 mm). Sección frontal que ilustra el desarrollo de la clavícula. Su parte medial se forma a través de la formación ósea membranosa (B), mientras que la formación de hueso endocondral en ambos extremos asegura el crecimiento en longitud (E); Acromion (A); Húmero; (H). Tomado de Uthoff 1990.

Durante la semana once, es claramente visible la morfología parecida a la madura y la dirección de crecimiento fue medial en el extremo esternal y anterolateral en el extremo lateral, a su vez la formación y reabsorción del hueso periosteal contribuyó al crecimiento tanto en anchura como al modelado propio del hueso. Asimismo, durante todo el crecimiento embrionario y fetal la parte medial contribuye al gran crecimiento de la clavícula con respecto a su parte acromial, en cuanto a la convexidad propia de la clavícula en la parte medial es resultado de la formación del hueso endocondral en el tejido cartilaginoso medial, mientras que este mismo proceso solo contribuye a la formación de la parte lateral aplanada de la clavícula (figura 30) (Ogata & Uthoff, 1990).



Figura 30. Feto humano de once semanas (65 mm). Sección transversal. La forma de la clavícula es similar a la de una clavícula en adultos. La masa cartilaginosa lateral (l) contribuye sólo a la formación de la parte lateral más corta mientras que la medial (m) es más extensa. Tomado de Ogata y Uhthoff, 1990.

Siguiendo a Cunningham, et al., 2016, el crecimiento de la clavícula durante el periodo intrauterino es relativamente elevado, llegando a alcanzar ritmos de crecimiento de hasta 1 mm por semana y alcanzando en el momento del nacimiento medidas de 40 a 44 mm de longitud. Asimismo, cabe resaltar que en el periodo gestacional no se encuentran diferencias de sexo ni de lateralidad en el crecimiento de los dos centros de osificación primarios fusionados de la clavícula, ya que se creía que en las hembras el crecimiento clavicular era mayor (Baumgart, et al., 2016). Tras el nacimiento, este crecimiento es mucho más lento con medias de longitud de 137 mm a los 16 años, por ello, entre los periodos fetal temprano y antes de la pubertad, el factor más útil para la estimación de la edad probablemente sea la longitud de la diáfisis (figura 31).

Age in Weeks	Maximum Clavicular Length (mm)	
	Fazekas and Kósa ^a	Yarkoni <i>et al.</i> ^b
12	8.2	–
14	11.1	–
16	16.3	17.0
18	19.4	19.0
20	22.7	21.0
22	24.5	23.0
24	26.9	25.0
26	28.3	27.0
28	30.3	29.0
30	31.3	31.0
32	35.6	33.0
34	37.1	35.0
36	37.7	37.0
38	42.6	39.0
40	44.1	41.0

Figura 31. Medidas de la clavícula en el periodo fetal. Tomado de Cunningham, et al., 2016.

Desarrollo posnatal de la clavícula

Infancia

Como se ha descrito, los mayores cambios se presentan durante el periodo fetal, por ello en la etapa infantil, los cambios producidos en la clavícula hacen referencia al aumento en la longitud, de esta manera para la edad de los 10 años la clavícula habrá alcanzado 80% de su longitud total; después de esta edad solamente se modificará el 20% de su longitud (Leal, et al., 2014).

El patrón de crecimiento longitudinal en la clavícula también es afectado por el dimorfismo sexual, entendido como “la diferencia entre los machos y las hembras de una especie en términos

de tamaño corporal, forma del cuerpo, ritmo/tiempo de desarrollo. Este es un resultado combinado de factores genéticos (niveles de hormonas) y medio ambiente (nutrición y comportamientos culturales)” (DiGangi y Moore. 2012, p. 93). Específicamente las hembras alcanzan el 80% del crecimiento de la clavícula casi tres años antes que los machos en la infancia (figura 33), por ello en la pubertad el crecimiento clavicular en los machos alcanza el doble de longitud que en las hembras, esto es debido en parte por las hormonas denominadas andrógenos que predominan en el organismo del macho, las cuales tienden a aumentar el crecimiento en el esqueleto, mientras que la función de las hormonas femeninas, estrógenos, es la inhibición (McGraw, et al., 2009).

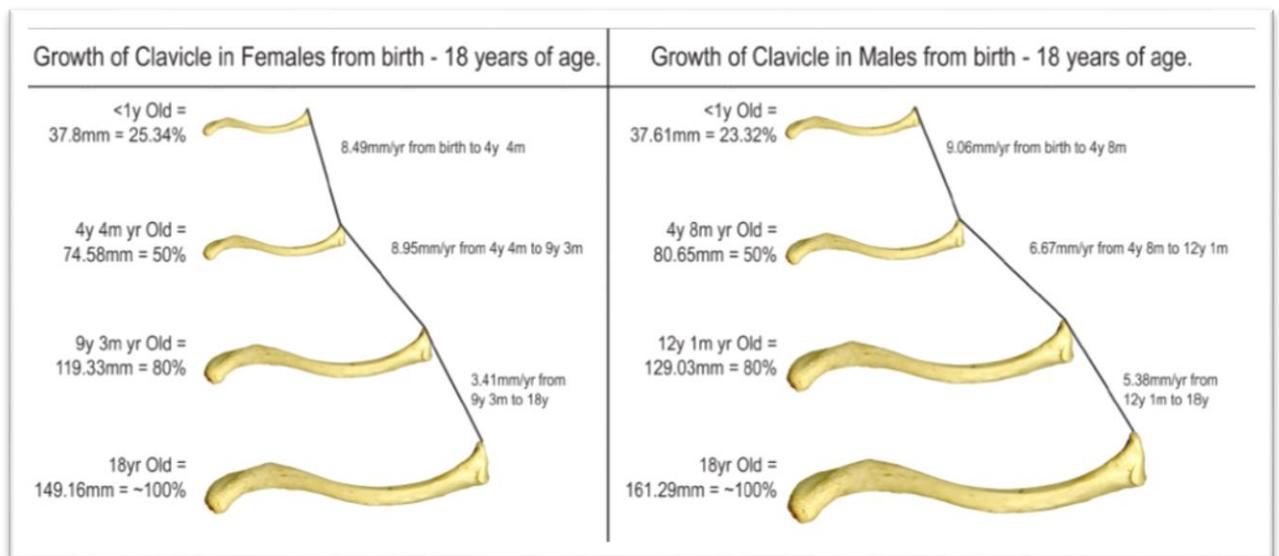


Figura 32. Comparación del crecimiento de la clavícula en mujeres y hombres de <1 a 18 años. Tomado de McGraw, et al., 2009.

Pubertad y adultez

Siguiendo el patrón mostrado por los huesos largos de las extremidades, la clavícula en la adultez se deriva de un eje (centros primarios de osificación) y extremidades articulares medial y lateral que se desarrollan a partir de centros de osificación secundarios (Cunningham, et al., 2016). Por ello, el suceso más relevante durante este periodo es la aparición de un centro secundario de osificación hacia los 15 a 18 años, aparece en forma de disco en el extremo esternal de la clavícula. Este centro de osificación comienza a fusionarse con la diáfisis clavicular entre los 18 y 25 años y está completamente fusionado entre los 25 y 31 años (Scheuer y Black, 2004; Garamendi, et al., 2007; Ibíd. 2016).

Durante los primeros años de vida, la clavícula tiene un patrón de crecimiento casi lineal independientemente del sexo. Pero esta relación se ve alterada a partir de la pubertad: los niños pueden presentar hasta el doble de crecimiento relativo en la clavícula entre los 12 y 18 años; comparado con las niñas, quienes después de los 9 años sólo presentarán 20% de crecimiento relativo en la longitud total de la clavícula (Leal., et al., 2014).

Siguiendo las descripciones realizadas por Scheuer y Black (1996) en clavículas de 14 a 29 años o más, donde diferencian cinco fases con su respectivo rango de edad, observando los cambios relacionados a la epífisis medial. En la fase uno, la superficie posee una cresta clara y surcos indicativos de actividad vascular (14 a 17 años) (figura 33). En la fase dos, las crestas y los surcos estaban presentes y había comenzado a observarse el relleno de la superficie metafisiaria a medida que disminuía la actividad vascular (15 a 18 años) (figura 34). En la fase tres, las crestas y surcos todavía estaban presentes, y una escama epifisaria había comenzado la fusión a la superficie metafisiaria (19 a 22 años) (figura 35). En la fase cuatro, una escama se expande a través de la superficie articular de la clavícula, aunque una línea marcada permanecía entre las superficies

epifisaria y diafisaria (23 a 28 años) (figura 36). En la fase cinco, la fusión se completó y no se observa evidencia de una línea de fusión (29 años o más) (figura 37).



Figura 33. Fase 1. Hembra 14 a 17 años. Tomado de Scheuer y Black, 1996.



Figura 34. Fase 2. 15 a 18 años. Macho. Tomado de Scheuer y Black, 1996.

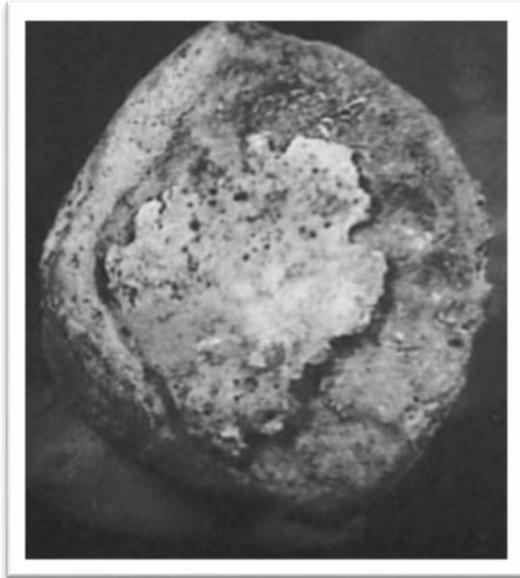


Figura 35. Fase 4. 23 a 28 años. Hembra. Tomado de Black y Scheuer, 1996.

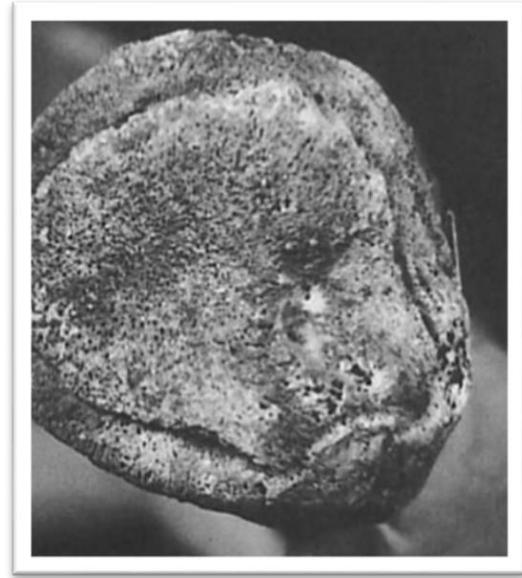


Figura 36. Fase 4. 23 a 28. Hembra. Tomado de Black y Scheuer, 1996.

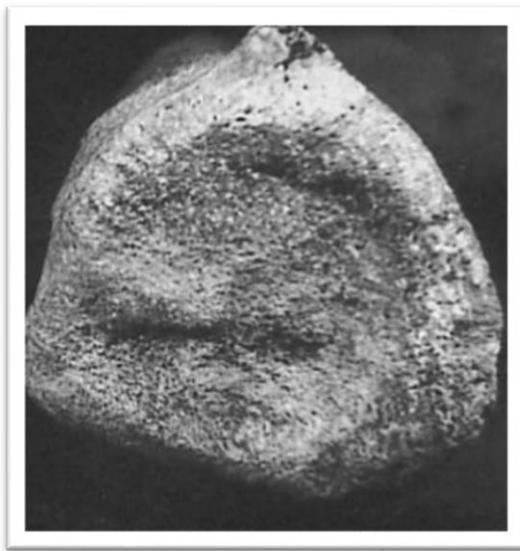


Figura 37. Fase 5. 29 años o más. Macho. Tomado de Black y Scheuer, 1996.

En cuanto a los cambios respecto a la edad en la estructura ósea, que pueden ser observados por medio de radiografías claviculares, Walker y Lovejoy (1985) informan ocho fases con sus respectivos rangos de edad, organizados de la siguiente manera: a) 18 a 24 años; b) 25 a 29 años;

c) 30 a 34 años; d) 35 a 39 años; e) 40 a 45 años; f) 45 a 49 años; g) 50 a 54 años; h) 55+ años.

Como puede observarse en la figura 38, en individuos jóvenes la estructura posterior es prominente y gruesa y todo el canal medular está lleno de trabéculas densas que tienden a alinearse en capas paralelas similares a placas. Por su parte, la metáfisis esternal como la lateral se rellenan con trabéculas de grano fino, al aumentar la edad del individuo se observa engrosamiento de las trabéculas medulares y adelgazamiento de la corteza posterior, en mayor medida en las extremidades laterales y mediales y en las metáfisis esternales y laterales pueden contener solo trabéculas gruesas, a su vez, se produce una pérdida ósea significativa (Ibid, 1985). Estas son algunas de las características observables en la cavidad medular de la clavícula al pasar de la adultez a la degeneración ósea.

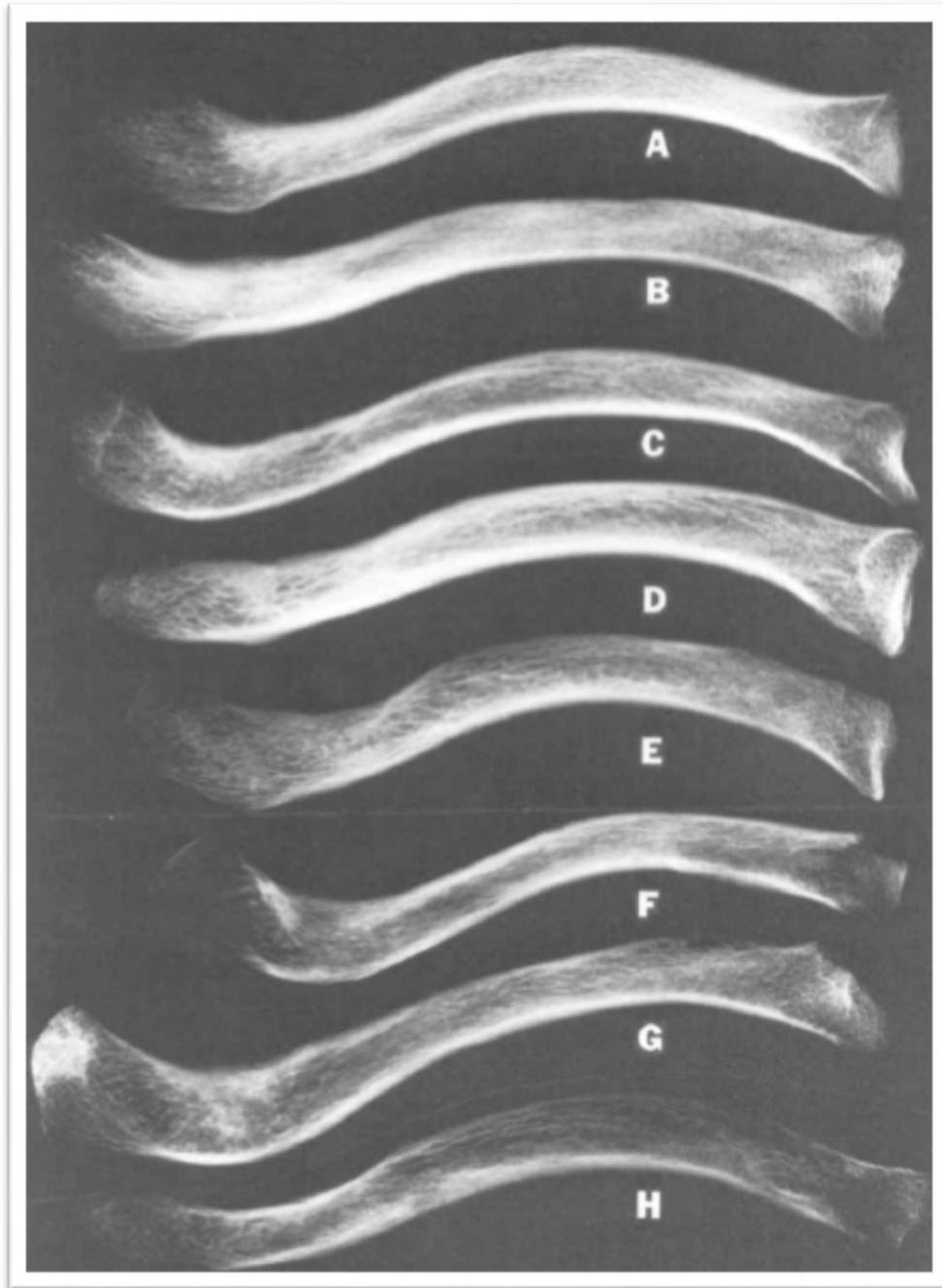


Figura 38. Cambios por la edad en la cavidad medular e la clavícula. Fases: a) 18 a 24 años; b) 25 a 29 años; c) 30 a 34 años; e) 40 a 45 años; f) 45 a 49 años; g) 50 a 54 años; h) 55+ años. Tomado de Walker y Lovejoy, 1985.

Vejez y degeneración ósea

Como se ha descrito, el proceso de desarrollo de los núcleos epifisarios de osificación secundaria, que sigue un patrón endocondral, es mucho más tardío. La epífisis lateral o acromial está constituida por un pequeño núcleo epifisario que puede ser reconocido de forma inconstante y que sufre un proceso de fusión muy rápido entre los 19 y 20 años. A menudo su único indicio es el cambio de morfología del extremo acromial de la clavícula de una superficie rugosa típica del joven a una morfología lisa propia del sujeto adulto (Leal., et al., 2014).

Por su parte, la degeneración ósea en la articulación esternal los hallazgos o cambios más relevantes se registran desde la cuarta década en la que se puede observar que el disco articular esternal aumenta con el grosor mientras avanza la edad, los autores proponen que este engrosamiento retrasó la degeneración de la articulación esternoclavicular hasta la octava década, desde ese momento se alcanzó la máxima degeneración la cual es observable en la edad aproximada de 70 años para hombres y 85 en mujeres (Falys y Prangle, 2015). En esta zona ósea los cambios suceden rápidamente en hombres que en mujeres. Por ello, los autores sugieren cinco fases para observar el grado de degeneración ósea en la epífisis esternal de la clavícula (figura 39).

La primera fase consiste en una superficie plana y lisa al tacto, a su vez la epífisis puede estar terminando de fusionarse (30 a 48 años); en la segunda fase se observa granulación leve o ligeramente rugosa (52 a 64 años); mientras que en la tercera fase se forman granos pequeños de hueso (65 a 72 años); en la cuarta fase se forman nódulos de hueso y la superficie se observa plana; la quinta fase se caracteriza por el cambio de la superficie lisa y plana a ser irregular y ondulada con crestas (75 a 87 años); en la última fase la superficie muestra mayor porosidad con contornos muy irregulares (más de 88 años).

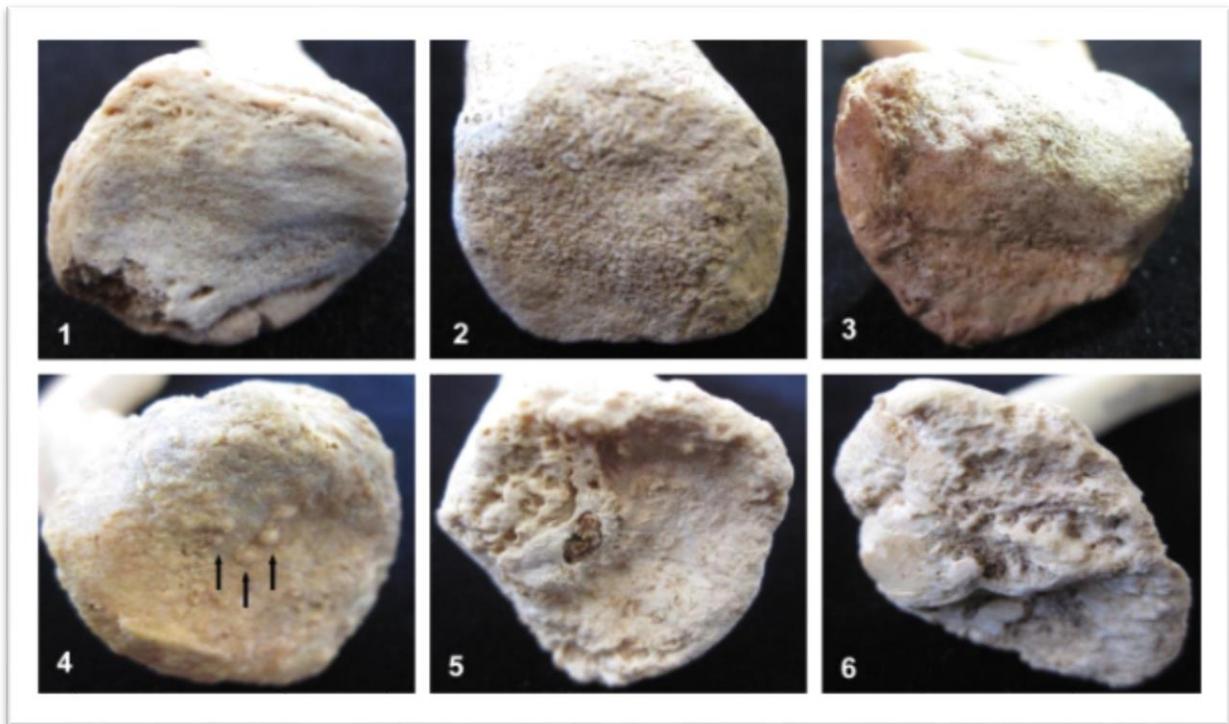


Figura 39. Superficie esternoclavicular. Tomado de Falys y Prangle, 2015.

Según los estudios citados, la clavícula en su epífisis medial posee cambios tempranos en su superficie, pasando de ser ondulada, con crestas a ser lisa con la edad, mientras que en la epífisis acromial los cambios más relevantes suceden en épocas tardías siendo más lisa en jóvenes a ondulada e irregular en individuos mayores. Otros cambios en la etapa de degeneración ósea fueron explicados en la adultez (figura 38).

FORMACIÓN Y DESARROLLO DE LA ESCÁPULA

Desarrollo embrionario

La osteogénesis o desarrollo embrionario de la escápula ha tenido diferentes hipótesis, la primera hace referencia a su origen en el mesodermo de la placa lateral, la cual se desarrolla cuando ingresa tejido en la parte posterior de la línea primitiva, mientras que la segunda hipótesis apunta a un origen somítico, es decir, proveniente del mesodermo paraaxial formado gracias al ingreso de tejido en la parte anterior de la línea primitiva (Huang, et al., 2006). Como se explicará, ambas teorías son correctas, ya que este particular hueso combina ambos procesos en su osteogénesis.

En la formación de la escápula hay dos precursores localizados en diferentes lugares, la primera es la porción superior, la cual surge del mesodermo de la placa lateral, mientras que la lámina escapular inferior y el borde medial se originan en células que son de origen somítico (ocho a diez) los cuales también desarrollan las vértebras cervicales (cinco a siete) (Cunningham, et al., 2016). Por su parte, este inicio es reconocible mediante el precursor mesenquimal, el cual comienza su condensación alrededor del día treinta y tres, es visible por medio del primordio escapular, es decir, las primeras células embrionarias, las cuales se encuentran unidas a la clavícula mediante una conexión blastemal, por ello es la clavícula la guía para la formación de la escápula y posteriormente ésta migrará hacia caudal para ubicarse frente a la primera costilla alrededor del día cuarenta y cuatro, seguirá bajando y en el día cuarenta y ocho llega a la quinta costilla, finalmente para el día cincuenta y dos, el ángulo inferior ha alcanzado el quinto espacio intercostal (Ibíd, 2016).

Específicamente hacia los días 44 a 48 se observan cambios con relación a la aparición del ángulo condrogénico que formará primero el borde medial de la escápula, seguidamente el resto del cuerpo; éste ángulo se observa como una condensación mesenquimal que adopta una forma irregular con tres crecimientos: uno dorsomedial que corresponde al cuerpo de la escápula; uno ventromedial para el futuro proceso coracoideo; y una tercera región lateral que será de mayor volumen para la porción condrogénica del acromion y la espina escapular (figura 40) (Hita, et al., 2017) .

El acromion se desarrolla en forma cartilaginosa alrededor de la cuarta a quinta semana de gestación, este a su vez, posee dos centros de osificación que aparecen en la infancia y que se unirán completamente a la escápula en la adultez. Las superficies articulares de la escápula en los primeros años de vida estarán recubiertas de cartílago hialino, posteriormente se convierte en fibrocartílago a los 17 años en el cartílago acromial y en el extremo clavicular a los 24 años (Cuéllar y Cuéllar, 2015).

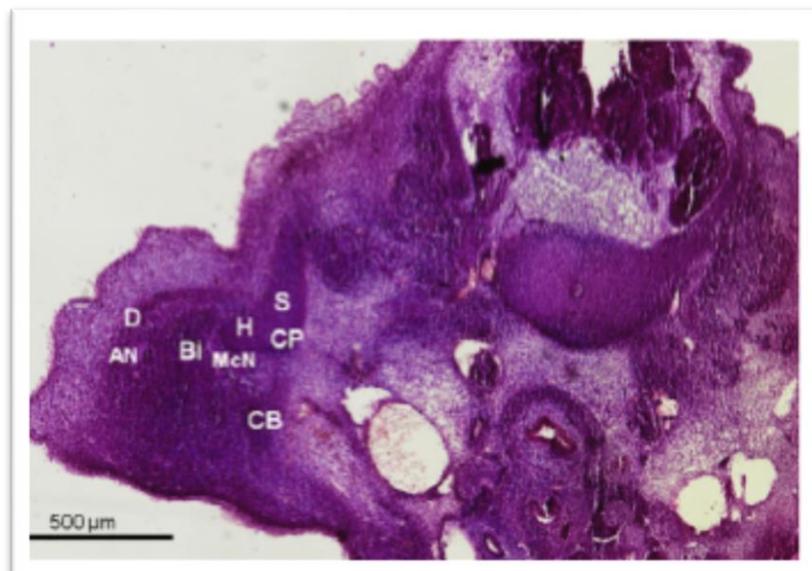


Figura 40. Embrión humano. Días 44 a 48, (15 mm). Sección transversal. (H) primordio condrogénico de la cabeza humeral; (S) anlage condrogénico del cuerpo de la escápula; (CP) anlage condrogénico del proceso coracoideo;

(McN) nervio musculocutáneo; (AN) nervio axilar; (CB) músculo coracobraquial; (Bi) músculo bíceps; (D) músculo deltoides. Tomado de Hita, et al., 2017.

Para los días 49 a 53, sexta y séptima semana respectivamente, los condrocitos forman los primeros modelos de cartílago hialino que prefiguran los huesos de la articulación del hombro y la masa condrogénica se sitúa entre el humero y la escápula, esta región se denomina interzona, sucede cuando se forman elementos esqueléticos y se producen áreas intermedias que no experimentan ningún cambio ya sea en cartílago o hueso, por ello la interzona es sitio para el desarrollo de articulaciones futuras, cada interzona pasa a través de una etapa de tres capas con dos capas condrogénicas y una capa suelta intermedia, el crecimiento de elementos cartilaginosos comprime la parte central de la interzona y la cavidad aparece en su parte circunferencial, así la cavidad se expande gradualmente y se extiende hacia el centro de la articulación (Nazir, et al., 2014).

La interzona se convertirá eventualmente en la articulación glenohumeral, en muestras de más de 20 mm, la interzona describe el molde cartilaginoso del húmero y la escápula, formando una densa banda de mesoblasto que sucede por la acumulación de células del mesodermo que se extienden, esto da como resultado la formación pericondral, este tejido conectivo posee una capa externa denominada pericondrio fibroso que contiene fibroblastos y fibras de colágeno y otra interna o también llamada pericondrio condrogénico, donde se encuentran células condrogénicas y condroblastos que por diferenciación darán lugar a condrocitos (Megías, et al., 2016; Hita, et al., 2017). De esta manera el pericondrio se vuelve más denso para formar la cápsula articular y el futuro labrum glenoideo (Ibíd. 2017) (figura 41). El labrum glenoideo es una estructura con un borde fibrocartilaginoso que rodea la fosa glenoidea y profundiza la cavidad, además contribuye a

la estabilidad de la articulación, se vuelve fibrocelular a las 12 semanas y fibrocartilaginosa a las 16 semanas (Nazir, et al., 2014).

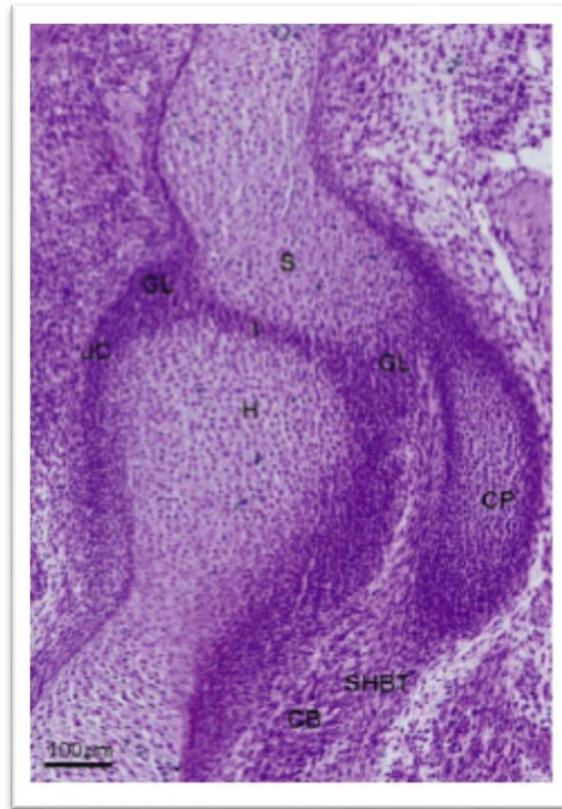


Figura 41. Embrión humano. 51 a 53 días (18 mm). Sección transversal. (I) interzona; (H) cabeza humeral; (S) escápula; (CP) proceso coracoideo; (GL) labrum glenoideo; (JC) cápsula articular; (SHBT) cabeza corta del tendón bíceps; (CB) músculo coracobraquial. Tomado de Hita, et al., 2017.

En los últimos días del periodo embrionario es decir de 53 a 60 días el tejido central de la interzona se vuelve más suelto y las muestras de más de 24 mm comienzan a mostrar la cavidad articular, de esta manera la morfología de la articulación glenohumeral es similar a la de los adultos con un labrum glenoideo notable (Hita, et al., 2017).

Desarrollo fetal de la escápula

Se ha establecido un consenso en que los primeros núcleos de osificación aparecen en la octava semana de vida intrauterina, donde se observan cadenas de periostio previas al inicio del proceso de osificación endocondral (Benito, 2015). La osificación periostal es posible cuando actúa en una capacidad protectora para evitar el daño a las vías nerviosas que se encuentran establecidas, en este caso se ubica en la fosa supraespinal, la cual no está completamente desarrollada y el centro de osificación se correspondería con el sitio del nervio supraescapular a medida que pasa por el borde superior, por ello el foramen nutricio de la escápula se encuentra en la cara lateral de la fosa supraespinal en la unión con la apófisis espinosa y se corresponde con el sitio de hipótesis para la aparición del núcleo primario de osificación (Scheuer y Black, 2004; Benito, 2015; Cunningham, et al., 2016). De esta manera, los centros primarios de osificación en la escápula corresponden al cuerpo o lámina y al proceso coracoides (White, et al., 2011).

Los cambios suceden rápidamente en la etapa gestacional, por lo tanto, en la novena semana la osificación endocondral se expande bidireccionalmente alcanzando la columna vertebral y en la semana doce alcanza la masa glenoidea, como lo muestra la figura 42 (Scheuer y Black, 2004). Este patrón conduce a una formación epifisiaria proximal (vertebral) la cual tiene un crecimiento rápido y una mayor expansión en comparación con la porción distal (glenoidal), de esta manera, los conos radiales guían la osificación endocondral en estas porciones (Cunningham, et al., 2016). Por otra parte, los espacios entre las porciones endocondrales son osificados mediante el tipo de crecimiento intramembranoso el cual se haya en gran parte del cuerpo o lámina de la escápula, por ello su morfología es plana y delgada, como se ha explicado, este tipo de osificación se encuentra en huesos planos que tienen como función cuidar tejidos (Scheuer y Black, 2004).

Siguiendo a Cunningham et al., 2016, la escápula alcanza una morfología casi adulta entre doce y catorce semanas fetales y se altera poco hasta el nacimiento.

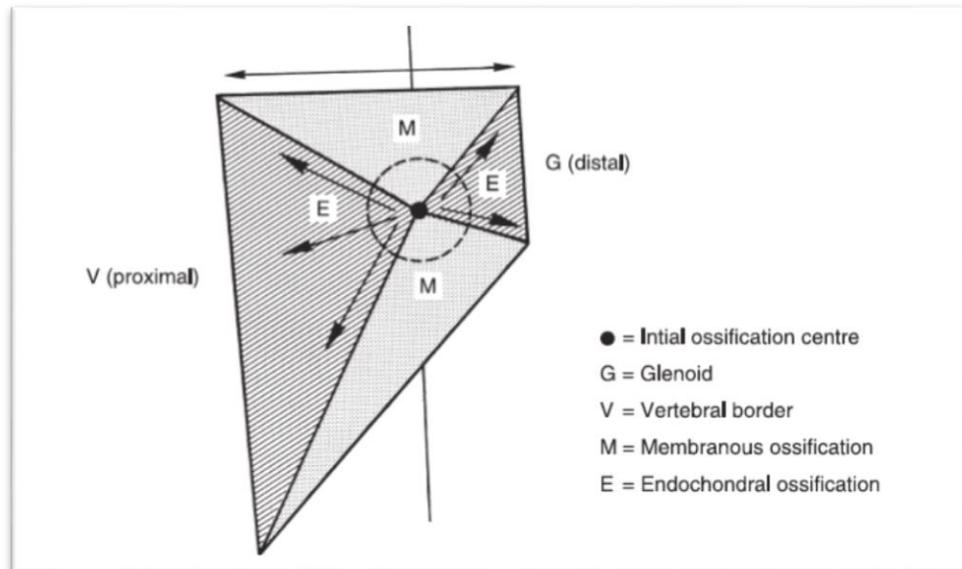


Figura 42. Patrón de osificación en la escápula. Tomado de Scheuer y Black 2004.

Para la décima u onceava semana, el feto revela elementos que pueden llegar a ser distinguibles entre sí, en la articulación del hombro la fosa glenoidea se muestra cóncava y el cuello puede ser diferenciado, el proceso coracoides es más grande que el acromion, ambos son cartilagosos junto con la espina escapular, además la cavidad articular se visualiza claramente (figura 43) (Nazir, et al., 2014; Vázquez; et al., 2015).

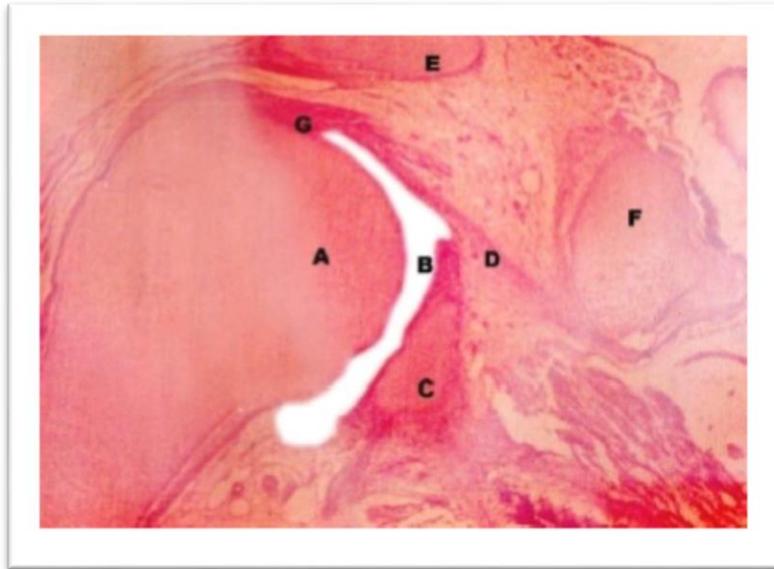


Figura 43. Corte coronal de la articulación del hombro en feto de 10 a 11 semanas. A) Cabeza del húmero; B) Cavidad articular; C) Fosa glenoidea de la escápula; D) Ligamento coracohumeral; E) Acromion; F) Proceso coracoideo; G) Ligamento capsular. Tomado de Nazir, et al., 2014.

En las semanas once y doce inicia la osteogénesis del cuerpo de la escápula a medida que se desarrollan las yemas vasculares y las superficies articulares son claramente cartilaginosas, asimismo el labrum glenoideo comienza a adoptar una forma de menisco en su porción distal y la cavidad glenoidea se profundiza por el crecimiento de la cabeza humeral (figura 44). A medida que se va desarrollando el feto, las estructuras que componen la articulación del hombro muestran un alto grado de diferenciación ya que la osteogénesis progresa y las superficies articulares siguen siendo cartilaginosas, a su vez, el espacio de la cavidad articular se hace muy evidente como también el tamaño del labrum glenoideo (Hita, et al., 2017).

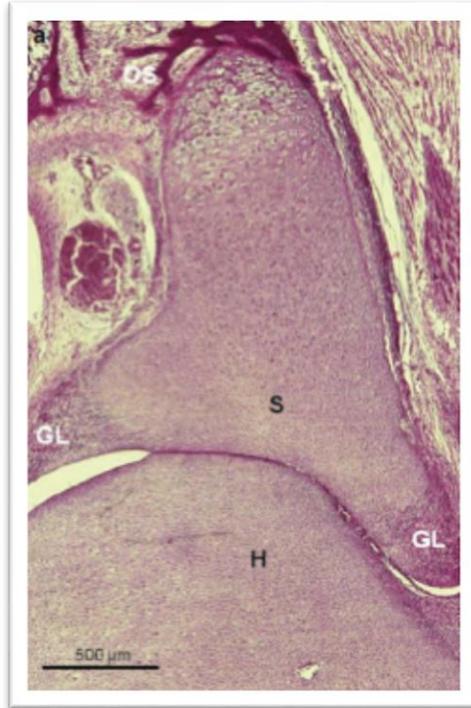


Figura 44. Feto humano. Semana 11 (53 mm). Sección transversal. (H) Cabeza humeral; (S) Escápula; (GL) Labrum glenoideo; (OS) Osteogénesis en el cuerpo de la escápula. Tomado de Hita, et al., 2017.

Investigadores han observado dichos cambios en semanas fetales específicas, un ejemplo de ello es un estudio de Antonetti (2013) donde observó un feto de catorce semanas, con el fin de localizar los centros primarios de osificación. En esta etapa se observan las fosas supra e infraespinosa en color pálido, mientras que el color rojo más oscuro muestra el proceso espinoso en formación, la base y cuello de la cavidad glenoidea que se encuentra unido al húmero y las porciones cartilaginosas que estarán formando el borde medial (Ibíd. 2013). Como puede observarse en la figura 45, la escápula en esta fase va tomando una morfología similar a la del adulto. La autora concluye sus observaciones, afirmando que la fosa infra espinosa y la base del proceso espinoso aparecen en la octava semana, mientras que en la novena la fosa supra espinosa se encuentra presente y en la semana trece la base del acromion y el cuello de la cavidad glenoidea de la escápula se forman.

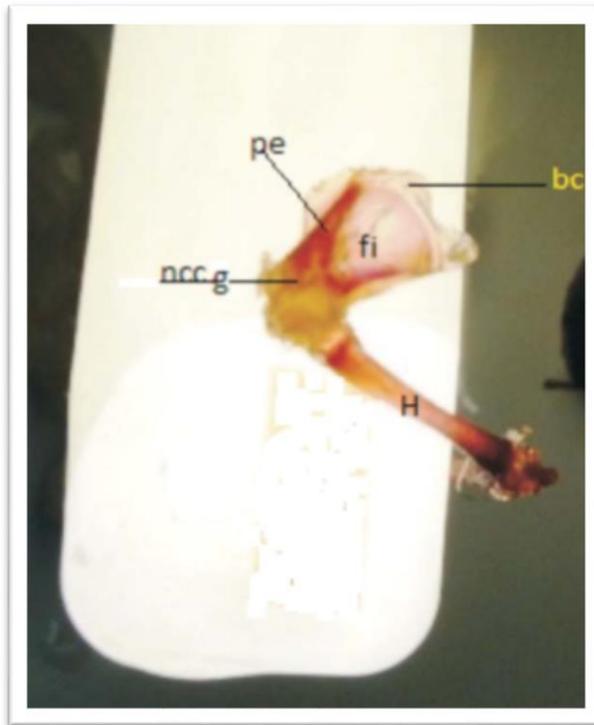


Figura 45. Escápula de un feto de 14 semanas en proceso de osificación. Se observa un área de color pálido la cual comprende las fosas supra e infraespinosas (fi) y una zona de color intenso que comprende el proceso espinoso (pe); la base y el cuello de la cavidad glenoidea (nccg); (H) húmero y (bc) borde cartilaginoso. Tomado de Antonetti, 2013.

En fetos de 15 a 17 semanas los cambios producidos en la escápula hacen referencia al proceso de osificación de algunas estructuras óseas, en particular la osificación se extiende hasta el cuello posteriormente, en la semana 16 la osificación se extiende hasta la base del acromion, aunque este sigue siendo en mayor parte cartilaginoso (figura 46). Para la semana 18, en la escápula la osificación ha llegado más allá del cuello, casi hasta la fosa glenoidea (Nazir, et al., 2014).

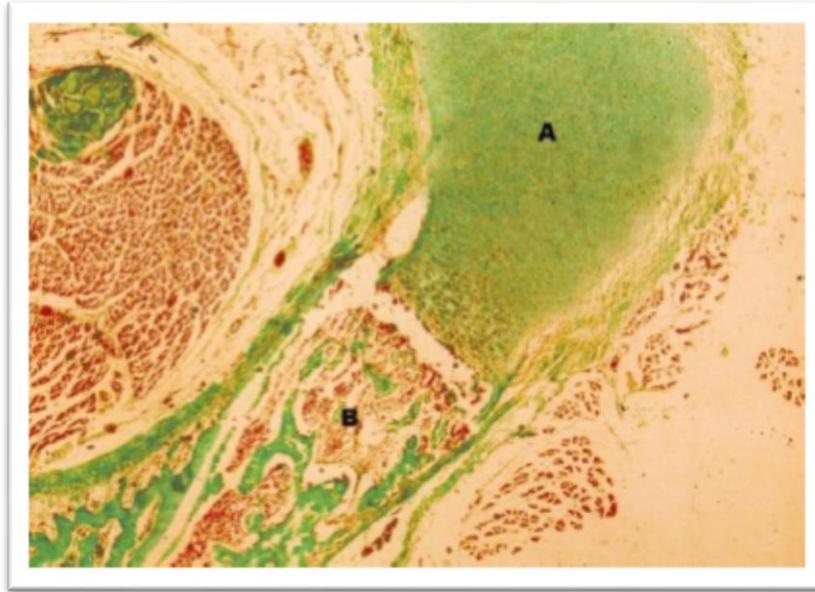


Figura 46. Sección frontal. Extensión de la osificación en la escápula hasta la base de acromion en el feto de 16 semanas. A) Acromion; B) Espina de la escápula. Tomado de Nazir, et al., 2014.

Desarrollo posnatal de la escápula

Infancia

En el nacimiento, la escápula posee un cuerpo bien definido, la fosa subescapular se muestra cóncava, mientras que las fosas supra e infraespinosa se observan ligeramente planas, esto se debe a la poca inserción muscular que se tiene en el nacimiento y a medida que el individuo crezca las fuerzas musculares presionaran dichas fosas tomando una morfología profunda, por su parte, la superficie glenoidal es de forma ovalada, con poca profundidad, mientras que la espina escapular se encuentra inclinada y con el otro centro primario de osificación coracoides separado del cuerpo, el cual es fácilmente reconocible cuando aumenta de tamaño y sus superficies en crecimiento se aproximan al cuerpo de la escápula (Cunningham, et al., 2016) (figura 47, 48 y 49).

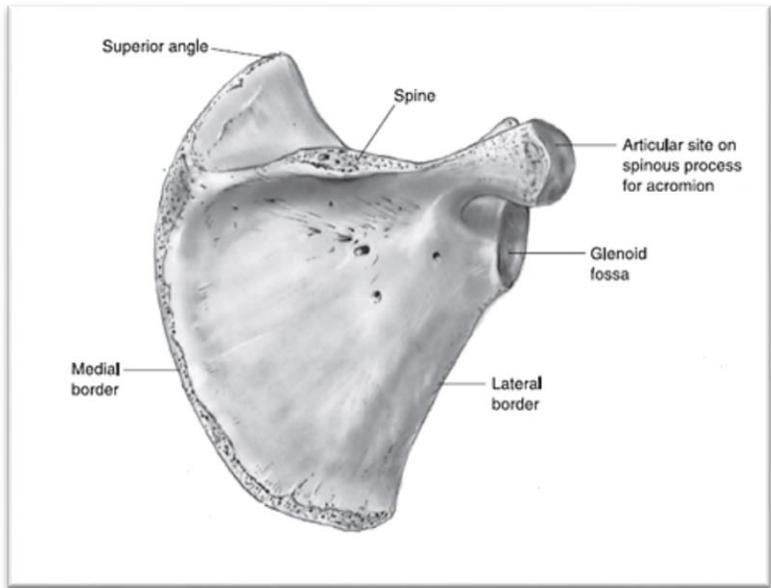


Figura 47. Escápula derecha perinatal. Vista dorsal. Tomado de Scheuer y Black, 2004.

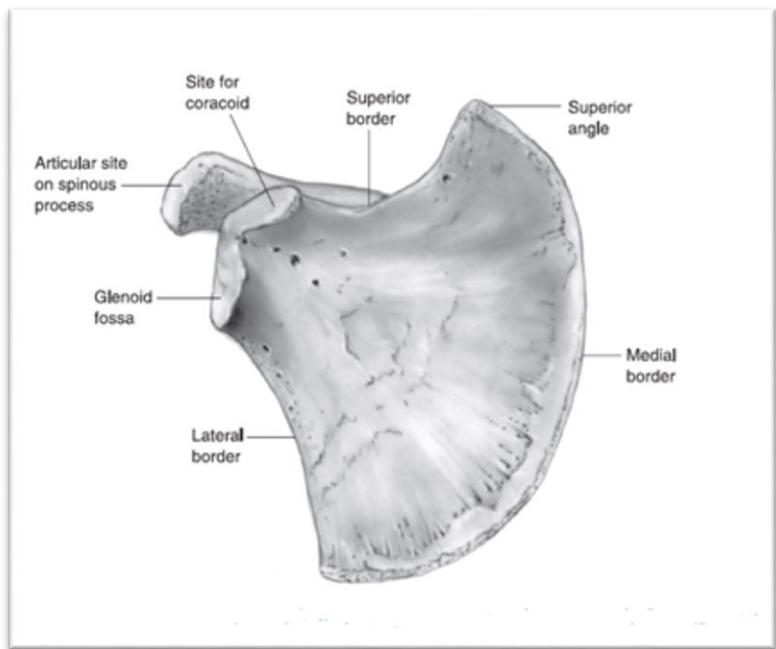


Figura 48. Escápula derecha perinatal. Vista ventral. Tomado de Scheuer y Black, 2004.

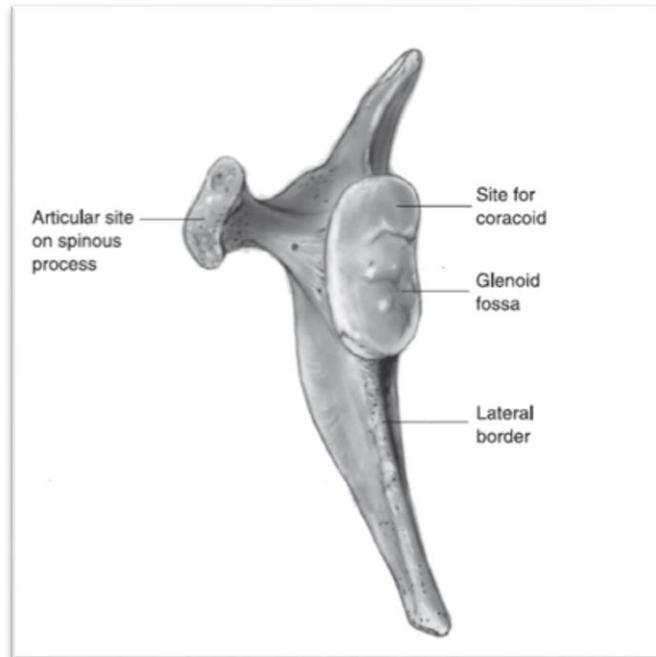


Figura 49. Escápula derecha perinatal. Vista lateral. Tomado de Scheuer y Black, 2004.

El centro coracoideo como unidad separada es el otro centro de osificación primaria de la escápula y es la primer estructura para osificar en el período postnatal, en algunos casos puede encontrarse formada en el nacimiento o formarse durante el primer año de vida, esta estructura formada a partir de la osificación endocondral va creciendo conforme se acerca a la escápula, ocurridos estos cambios en el segundo año desarrolla una placa de crecimiento que le permite la expansión en la superficie escapular y en la superficie del coracoide, posteriormente, a medida que se produce cierta madurez esquelética esta placa de crecimiento se va tornando delgada para unirse al cuerpo y al coracoide (Cunningham, et al., 2016; Bain, et al., 2015). Estas dos estructuras completarán su fusión en la pubertad.

Por su parte, el centro subcoracoide o también denominado infracoracoide aparece entre los 8 y los 10 años, está ubicado en el tercio superior de la superficie glenoidea, a su vez es el primer centro secundario que comienza su osificación y tiene una superficie epifisaria doble para

la articulación con el proceso coracoideo anterior y el resto de la escápula inferior, su fusión ocurrirá en la pubertad (Scheuer y Black, 2004).

Pubertad

“La escápula generalmente posee siete centros secundarios de osificación, tres asociados con el proceso coracoideo, uno para el aspecto inferior de la cavidad glenoidea, uno en el ángulo inferior, uno asociado con el borde vertebral y uno para el proceso acromion” (Scheuer & Black, 2004, p. 256) (figura 50). Esta etapa es caracterizada por la fusión de los centros secundarios de osificación al cuerpo de la escápula, entre ellos la apófisis coracoides, la cual ocurre generalmente alrededor de los 12 a 13 años en las mujeres y de 11 a 16 años en los hombres, comienza en la región del ángulo coracoideo (Cunningham, et al., 2016). Se completa en el borde dorsal primero, posteriormente sigue su unión en el borde ventral, finalmente la fusión se completará gracias al centro subcoracoideo, el cual se observa en la cara más lateral en la placa de crecimiento entre los 11 y 16 años (Cardoso, 2008).

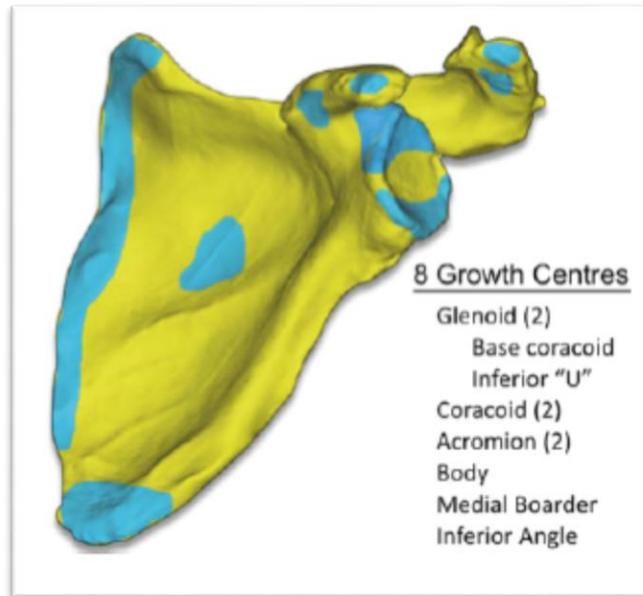


Figura 50. Centros de osificación de la escápula: superficie glenoidea superior e inferior, centro del cuerpo, proceso coracoides, acromion, borde ventral y ángulo inferior. Tomado de Bain, et al., 2015.

El centro subcoracoide y el proceso coracoide ambas superficies epifisarias comienzan a fusionarse al mismo tiempo, aproximadamente entre 11 y 16 años, la fusión entre el coracoide y el subcoracoide ocurre antes de la fusión completa del subcoracoide con el resto de la escápula, este centro es responsable de la formación del tercio superior de la superficie articular glenoidal y generalmente la fusión se logra entre 15 y 22 años en hombres y entre 11 y 17 años en mujeres (figura 48), en el adulto es posible observar una hendidura en el borde ventral de la glenoide adulta, que representa la unión entre los centros de osificación subcoracoide, coracoides y escapulares (Scheuer y Black, 2004; Cunningham, et al., 2016).

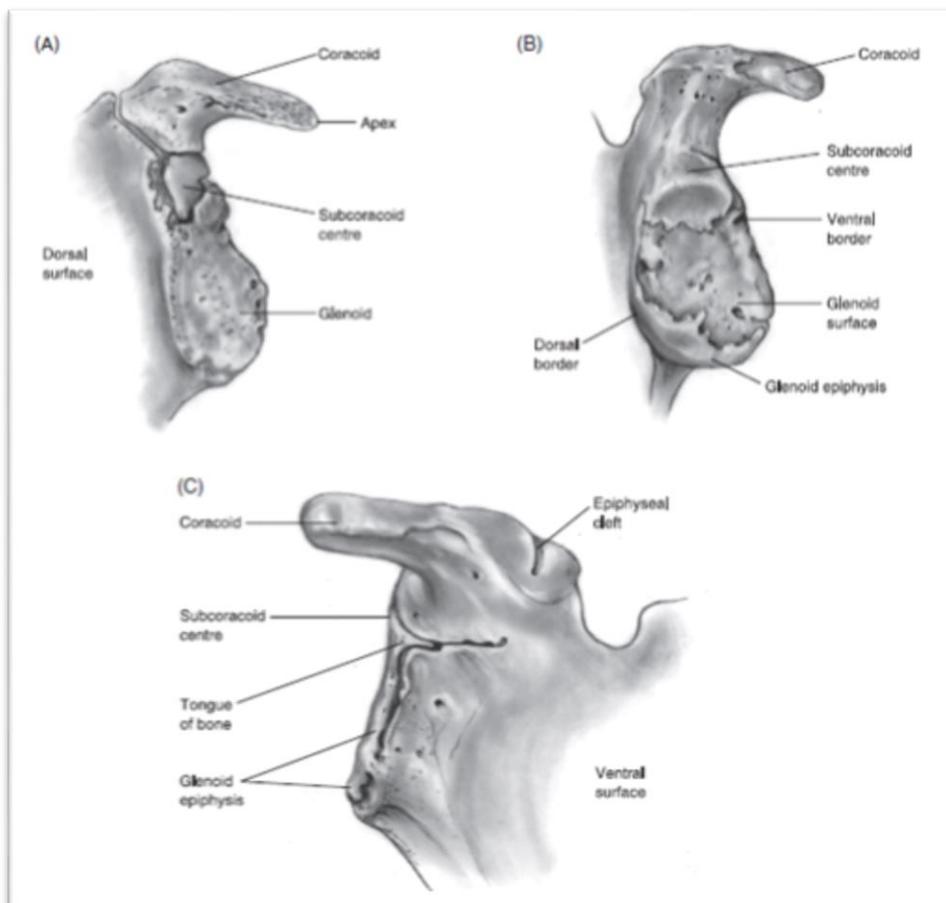


Figura 51. Fusión del centro subcoracoideo derecho. A) aprox. 12 años; B) aprox. hembra 14 años; C) aprox. macho 16 años. Tomado de Scheuer y Black, 2004.

Cuando el proceso coracoideo se fusiona a la escápula, la epífisis delgada que tiene forma de escama, pasa hacia adelante y lateralmente a través del ángulo y la superficie superior del proceso coracoideo, donde eventualmente se encuentra y se fusiona con la epífisis del ápice. Esta última epífisis aparece entre 13 y 16 años y se fusiona antes de los 20 años (Scheuer y Black, 2004).

En cuanto a la epífisis acromial, ésta se caracteriza por ser distinta en apariencia y es probable que pueda identificarse como una estructura separada alrededor de la pubertad media y tardía (figura 52). Se presenta como una tapa de hueso en forma de coma con un borde lateral

redondeado y más grueso que forma una prominencia en su extremidad lateral (punta del acromion), el borde anterior lleva la mitad lateral de la superficie articular de la articulación acromioclavicular (Scheuer y Black, 2004).

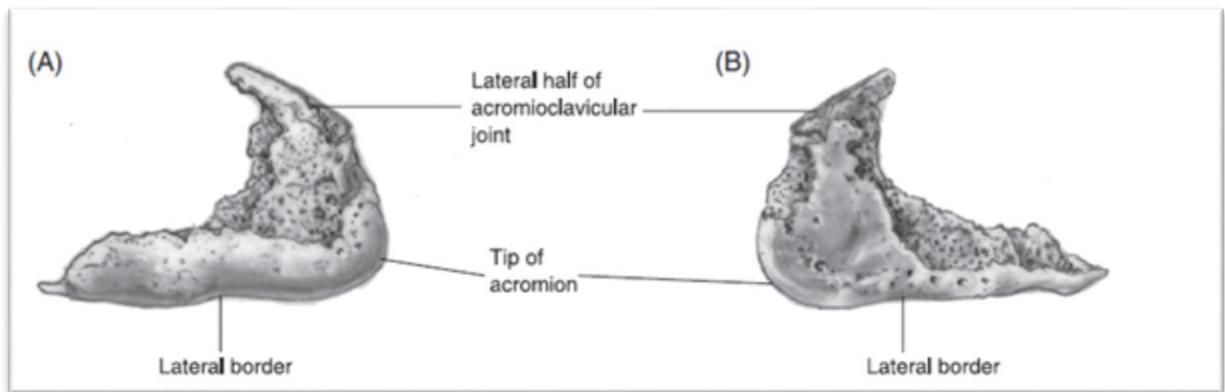


Figura 52. Epífisis acromial derecha sin fusionar. Vista: A) superior; B) inferior. Tomado de Scheuer y Black, 2004.

El crecimiento del acromion en su totalidad inicia con la base acromial, la cual empieza su proceso a partir de la extensión lateral de la apófisis espinosa que atraviesa el cuerpo de la escápula y se extiende medialmente al ángulo acromial para incorporar el tercio más dorsal de la faceta articular acromioclavicular (Scheuer y Black, 2004). Posteriormente se desarrollará uno o varios focos de osificación durante la infancia o inicios de la pubertad que se insertarán en el ápice del acromion, (pre-acromion, meso-acromion y meta-acromion) (figura 51), de esta manera se forma un centro para llenar el espacio en los bordes anterior y medial, también es posible que se forme un centro separado para la faceta acromioclavicular; en cuanto a la fusión de la epífisis acromial al cuerpo de la escápula, ocurre generalmente entre los 17 y 22 años en los hombres y entre los 15 y los 21 en las mujeres (Ibíd. 2004; Cardoso, 2008; Bain, et al., 2015).

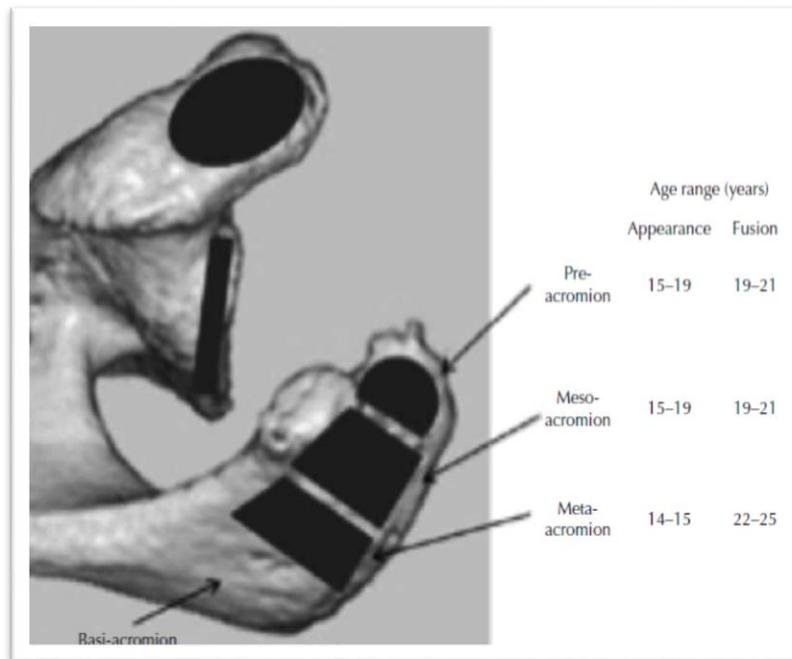


Figura 53. Centros de osificación del acromion, edad de aparición y fusión. Tomado de Fujii, et al., 2015.

En la figura 54 se observa el proceso de aparición y fusión de los centros secundarios de osificación del acromion por medio de la técnica tomografía computarizada, según los resultados de los autores en población Japonesa, los estos centros inician su aparición aproximadamente los 10 años y completa la fusión a los 15 años en mujeres y en hombres puede tardar de 16 hasta 20 años para fusionarse completamente (Fujii, et al., 2015).

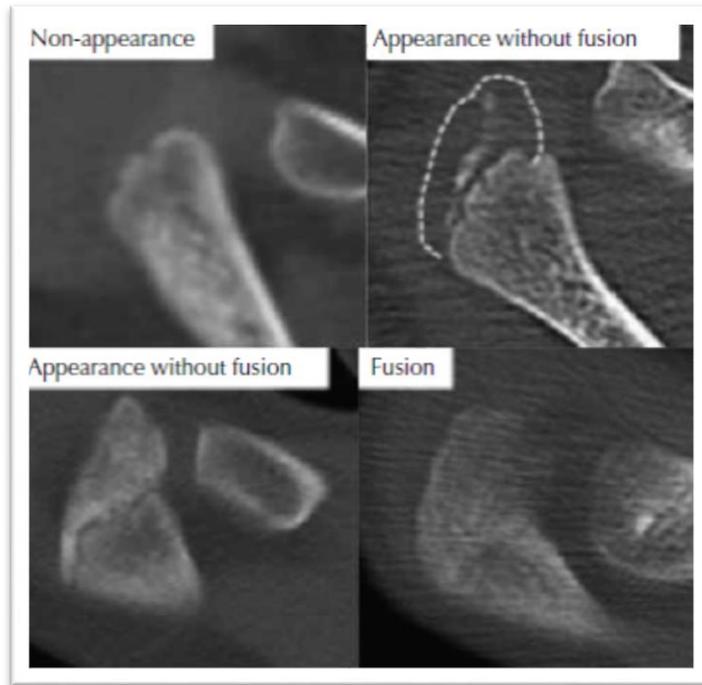


Figura 54. Proceso de aparición y fusión de los centros secundarios de osificación del acromion. Tomado de Fujii, et al., 2015.

Finalmente las últimas epífisis escapulares en comenzar la unión al cuerpo de la escápula, son las asociadas al borde medial y al ángulo inferior. El borde medial posee varias partes de hueso pequeñas que unidas forman una franja frágil, ésta comienza la unión al cuerpo de la escápula en la región de la punta inferior; las partes pequeñas pueden originarse entre los 15 y 17 años, posteriormente en la adultez se completa la fusión a los 23 años aproximadamente (Cunningham, et al., 2016). En la adultez temprana, es posible observar en el borde medial los sitios de fusión incompleta de las epífisis.

Por su parte, el ángulo inferior de la escápula es también el resultado de un centro de osificación secundario que puede originarse a la edad de 15-17 años y generalmente se fusiona a los 23 años; consiste en una epífisis pequeña con morfología semilunar, la cual se une directamente en el ángulo de la escápula y hace parte del borde medial (Scheuer y Black, 2004).

Adultez

Los cambios en la adultez temprana se refieren en mayor medida a la unión completa de algunos centros secundarios de osificación al cuerpo escapular, ya que la mayoría se fusionan en la pubertad, entre los centros secundarios aún sin fusionarse se encuentran el coracoides y subcoracoides, los cuales completan la fusión al cuerpo de la escápula a los 17-22 años aproximadamente, por su parte, el borde medial y el ángulo inferior al aparecer al final de la pubertad (15-17 años), y completan su fusión relativamente tarde, a la edad de 23 años; de esta manera, el completo desarrollo de la escápula se produce hasta los 23-24 años (Cunningham, et al., 2016).

En esta etapa, la escápula se caracteriza por su crecimiento, debido a que aumenta en tamaño con la edad, y se incrementa proporcionalmente más en anchura que en longitud, de esta manera, la altura infraescapular aumenta más rápido que la altura supraescapular, además la longitud máxima de la superficie glenoidal crece más rápido que el diámetro medio, dando como resultado la forma de ‘pera’ que se observa en la adultez (Rissech y Black, 2007).

En cuanto a las diferencias del grado de crecimiento óseo y fusión de epífisis, Cardoso (2008) explica que en la cintura escapular existen diferencias de sexo en la maduración, ya que las hembras muestran un avance en comparación con los machos de aproximadamente dos años en la extremidad superior. Como se expresó anteriormente, en el desarrollo fetal estas diferencias de sexo son imperceptibles, por el contrario en la etapa posnatal, especialmente al llegar a la pubertad el crecimiento difiere en los tiempos de maduración, es cierto que no hay grandes lapsos entre un

sexo y otro, a diferencia del resto de la extremidad superior e inferior donde hay rangos más amplios.

Vejez y degeneración ósea

Esta etapa se caracteriza por la pausa en el crecimiento general del hueso, ya que a los 30 años ha alcanzado el desarrollo completo, por ello, las características propias de la maduración en la escápula son observables, principalmente en el piso óseo de la fosa infraespinosa, la cual a medida que aumenta la edad puede adelgazarse y en ocasiones muestra perforaciones (figura 55), aunque en los juveniles pueden presentarse estos hoyos, en dichos casos ocurren en relación a los vasos óseos que atraviesan el hueso (Prescher, 2000).



Figura 55. Escápula derecha con gran perforación (flecha) de la fosa infraespinosa cerca del margen lateral (macho, 65 años). Tomado de Prescher, 2000.

El periodo de la vejez en el esqueleto se caracteriza por la pérdida de densidad mineral ósea, lo cual lo hace ser más susceptible a diversas enfermedades, es una combinación de ambos factores, vejez y enfermedades del tejido óseo, este es el caso de la articulación acromioclavicular, la cual desarrolla cambios degenerativos con el aumento de la edad, los cuales son compatibles con la artrosis que se observa en articulaciones de gran tamaño, esto se produce por los efectos de los procesos esclerosantes y de rechimiento de las facetas articulares y a su vez, de la aparición de quistes subcondrales, que son responsables del aspecto similar a ‘la piedra pómez’, los niveles más severos de artrosis pueden llevar a deformaciones de las estructuras articulares, que pierden su forma normal y parecen extenderse, es probable que no sea una variación congénita, sino una característica adquirida, además es probable que esta articulación sea el resultado secundario de cambios en la posición de la escápula y la clavícula a medida que aumenta la edad (Prescher, 2000) (figura 56).



Figura 56. Artrosis severa de la articulación acromioclavicular izquierda con gran osteofito (flecha) que se proyecta hacia la salida del supraespinoso (macho, 79 años). Tomado de Prescher, 2000.

Por su parte, la articulación glenohumeral también presenta cambios degenerativos que pueden conducir a una formación metaplásica de hueso dentro del labio articular, de esta manera forma un margen óseo liso que rodea la cavidad glenoidea (figura 57) (Prescher, 2000).

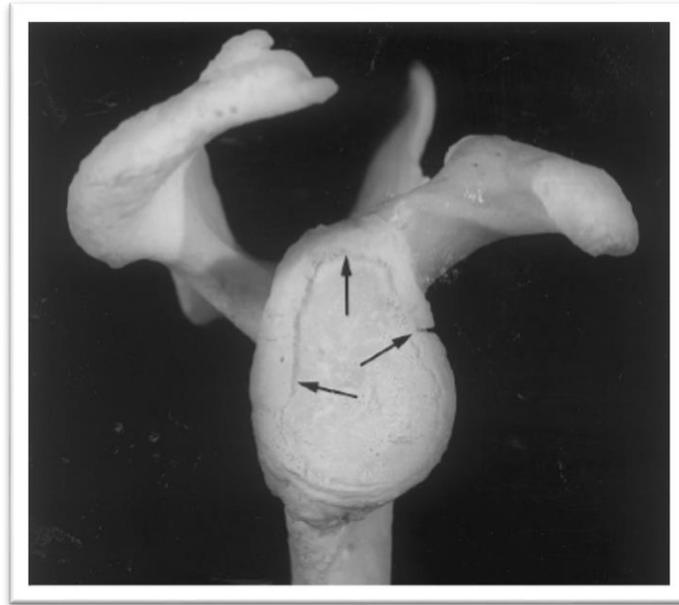


Figura 57. Vista lateral de la cavidad glenoidea derecha (hembra, 86 años). Las flechas apuntan al margen óseo liso y circular, que resulta de la osificación del labrum glenoideo. Tomado de Prescher, 2000.

Con respecto a los cambios métricos en diferentes lugares de la escápula para evaluar el efecto de la edad, Dabbs y Moore (2012) observaron algunos cambios desde los 35 años hasta la vejez 60 años los cuales están mediados tanto por el sexo como por la ascendencia de los individuos, en general, los autores observaron un aumento considerable de los bordes superior, inferior y medial de la escápula en adultos mayores, es decir, en los adultos de 35 años el espesor es menor que en los adultos mayores, por el contrario, la altura máxima de la escápula, la longitud de la línea infraespinosa, longitud de la muesca escapular y longitud del margen lateral

infraespinoso disminuyen en los adultos mayores de 60 años. Los autores precisan que se debe conocer el contexto en que vivieron los individuos analizados, ya que en gran medida los cambios degenerativos en el tejido óseo están influidos por el estrés ocupacional.

Otros estudios en el ámbito histológico han mostrado cambios degenerativos con respecto a la edad de los individuos, específicamente en la articulación acromio clavicular, ya que las articulaciones soportan las cargas mecánicas, es por ello que Hatta, et al. (2013), explican que dichos cambios que pueden ser notablemente mayores en el cartílago articular en la mitad inferior debido a que se encuentra más degenerado que en la mitad superior, aplica respectivamente para el acromion y para la clavícula distal. En términos histológicos, los autores observaron que la parte superior del disco tendía a ser fibrocartilaginosa, ya que contiene gran contenido de colágeno especialmente del tipo I, (Hall, 2015), mientras que la parte inferior consistía principalmente en tejido suelto o fibroso con granulación (Ibíd., 2013).

Otros estudios confirman los cambios degenerativos en el acromion, estos se refieren a un espolón o saliente óseo (osteofito) anterior que aparece en edades avanzadas. En sujetos menores de 50 años, se considera que la prevalencia es del 7%, mientras que por encima de esta edad, la prevalencia aumenta a 30% (Vázquez, et al., 2015). De igual modo, la inclinación del acromion también se relaciona con cambios degenerativos, es decir, cuanto más horizontal es el acromion menor es la degeneración, por ello cuando tiene un ángulo con inclinación mayor a 41 grados no se observan cambios, por el contrario si tiene un ángulo de 35 grados o menos la degeneración en la mayoría de los casos está presente, según Edelson y Taitz (1992), en el 75% de los casos que estudiaron con un acromion vertical mostraban cambios degenerativos (figuras 58.A y 58.B).

A)

B)

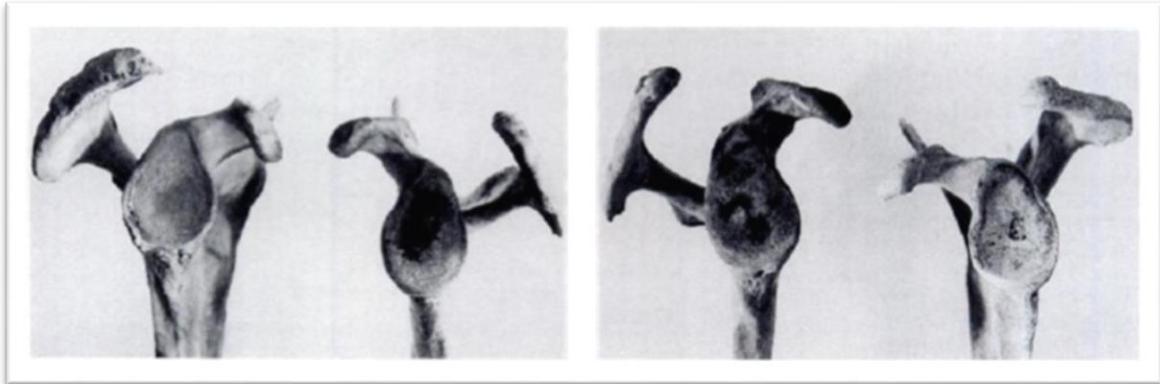


Figura 58. Diferencias en acromion horizontal y vertical relacionado con los procesos degenerativos. A) A la izquierda, un acromion de tipo horizontal con espolón visible. A la derecha un acromion vertical sin cambios degenerativos. Figura B) Acromion vertical izquierdo sin degeneración, a la derecha un acromion horizontal con un espolón degenerativo similar a un gancho. Tomado de Edelson y Taitz, 1992.

Además se pueden diferenciar dos tipos de cambios degenerativos en el acromion, el primero tiene forma de espolón en el borde anterior del hueso y el segundo es una faceta (eburnación o erosión el cartílago), parecido a una superficie pseudoarticular para la cabeza humeral (figura 59.A y 59.B). Cuando se desarrollan espolones en vista anterior del acromion, es un proceso denominado entesopatía, se produce dentro del ligamento acromioclavicular y probablemente se debe a la transmisión de fuerzas de tracción a través del ligamento. Asimismo, los cambios degenerativos en el acromion también puedan surgir de un impacto prolongado por parte de la cabeza humeral (Edelson y Taitz, 1992).



Figura 59. Cambios degenerativos en acromion. A) cambio degenerativo de tipo espolón visto desde arriba del acromion. B) degeneración de la faceta vista desde abajo del acromion. Tomado de Edelson y Taitz, 1992.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación, es una monografía de carácter descriptivo no experimental, ya que se recopilan estudios en diferentes puntos del tiempo y posteriormente se describe todo el proceso de la fecundación hasta la adultez, específicamente en la formación y desarrollo de la cintura escapular.

Para definir el universo de referencia se tomaron en total nueve bases de datos bibliográficas con acceso institucional: Science Direct; Cambridge Journals; Dialnet; Jstore; Scielo; Access Medicina; Oxford Journals; Ebsco; Scopus; asimismo, se extrajeron artículos científicos en el navegador Google Académico.

Muestra

En el presente estudio se empleó una muestra no probabilística, en la cual se tomaron treinta y cuatro fuentes bibliográficas, que incluyen artículos de revistas indexadas, libros y tesis (pregrado, maestría y doctorado), en relación al tema del proceso de formación y desarrollo de la cintura escapular en sus distintas fases del ciclo vital.

Para la selección del material bibliográfico se tomaron como criterios de búsqueda las siguientes categorías:

Osteogénesis de la clavícula y escápula: se refiere a documentos en los cuales se explique la formación embrionaria y fetal de los respectivos huesos.

Desarrollo posnatal de la cintura escapular: son los textos donde se explique el crecimiento y los cambios ocurridos desde el nacimiento, infancia y adolescencia de la cintura escapular.

Degeneración ósea: se refiere al periodo de la adultez y vejez, donde se explican los cambios degenerativos en las respectivas piezas óseas.

Se tomaron en cuenta investigaciones referentes a la estimación de edad tanto de clavícula y escápula, ya que aportaron descripciones sobre algunas etapas del crecimiento del ser humano, además se emplearon estudios relacionados a la edad y a diversas patologías en los respectivos huesos.

Recolección y organización de la información

La recolección de los datos se realizó durante los tres semestres de duración de la presente monografía, se realizaron constantes búsquedas en las respectivas bases de datos bibliográficas y buscadores académicos, con el fin de recolectar la mayor cantidad de estudios en el tema en cuestión.

Para la organización de la información se empleó el programa Microsoft Excel 2010 para Windows® con licencia para la Universidad de Antioquia, allí se realizó una tabla bibliográfica donde se compilaron los documentos más relevantes para la realización del capítulo teórico, estructurada por: autor/autores, año, país, palabras clave, temática y técnica.

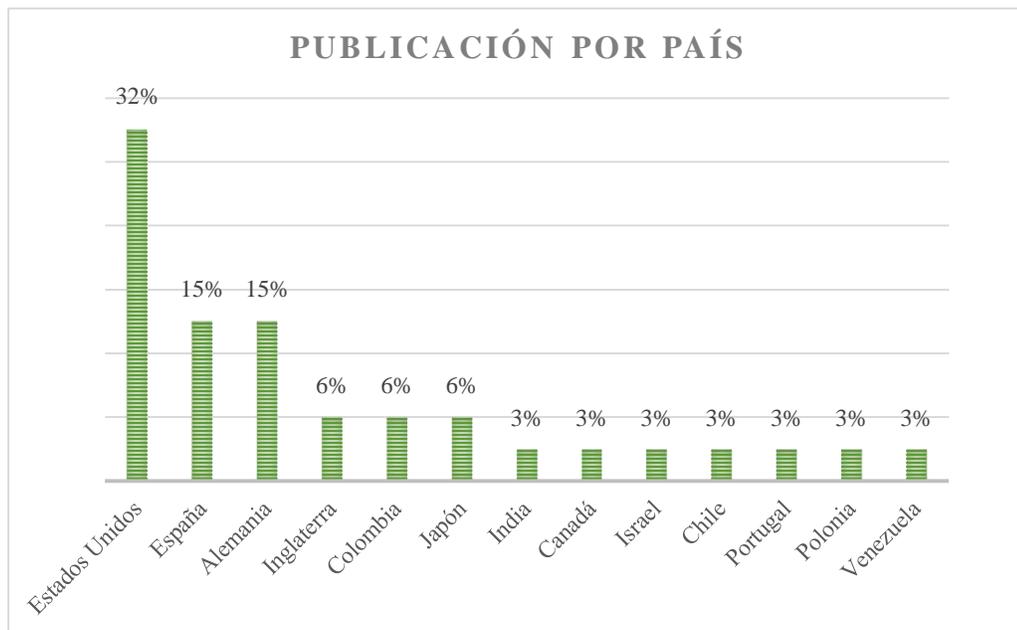
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados

La tabla para registrar los textos empleados en el capítulo teórico se encuentra en la sección de anexos. El idioma predominante en las publicaciones fue el inglés incluso en países de habla hispana.

La gráfica 1 presenta la frecuencia de publicación por país según la muestra. El país con mayor número de publicaciones es Estados Unidos con un 32%, seguido de España y Alemania, los cuales comparten el 15%, por su parte países como Inglaterra, Colombia y Japón ocupan el 6% cada uno, mientras que India, Canadá, Israel, Portugal, Polonia y Venezuela obtienen el 3%.

Se puede observar una muestra relativamente estable, a su vez es destacable el papel de Colombia con investigaciones sobre éste tema.



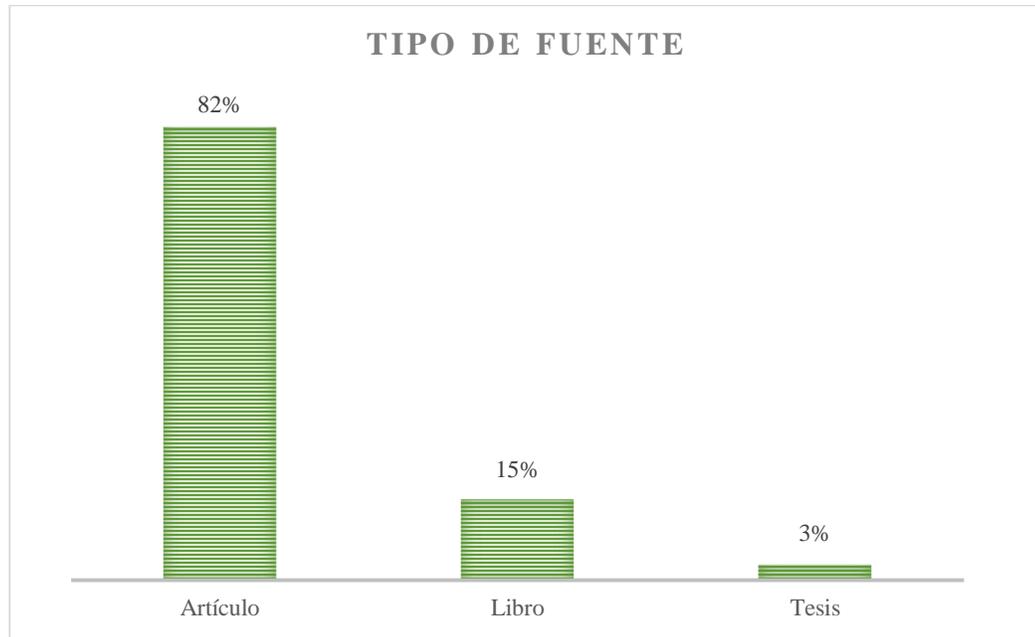
Gráfica 1. Frecuencia de publicación por país. Elaboración propia.

En la gráfica 2 se muestran las publicaciones por año. Algunos de los textos rastreados son de publicación temprana, es decir, inicios de la década del veinte hasta mediados de la década del setenta, donde se mantienen estables con un 3%, para la década del ochenta y noventa se registran más publicaciones llegando al 6% y manteniéndose estable, por su parte a finales de los noventa disminuyen hasta la década del dos mil donde se asciende llegando al 15% en los últimos años de esta década.



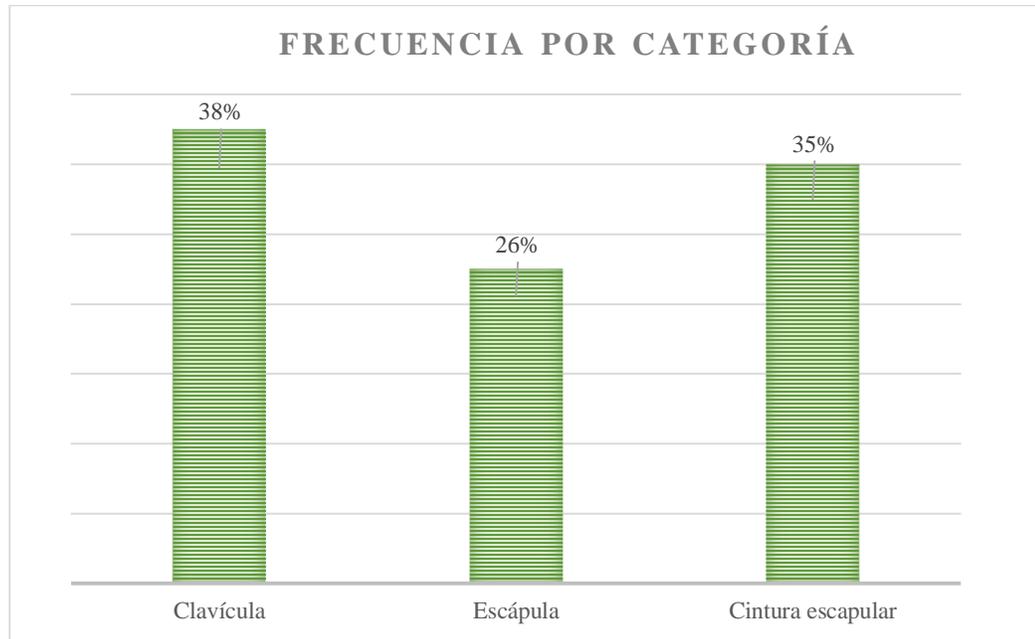
Gráfica 2. Frecuencia de publicación por año. Elaboración propia.

Para la búsqueda de información, se obtuvieron referencias tanto de artículos científicos, como libros y tesis de doctorado. La mayor cantidad de fuentes fue de artículos con el 82%, mientras que los libros ocupan el 15% y las tesis sólo el 3% (gráfica 3).



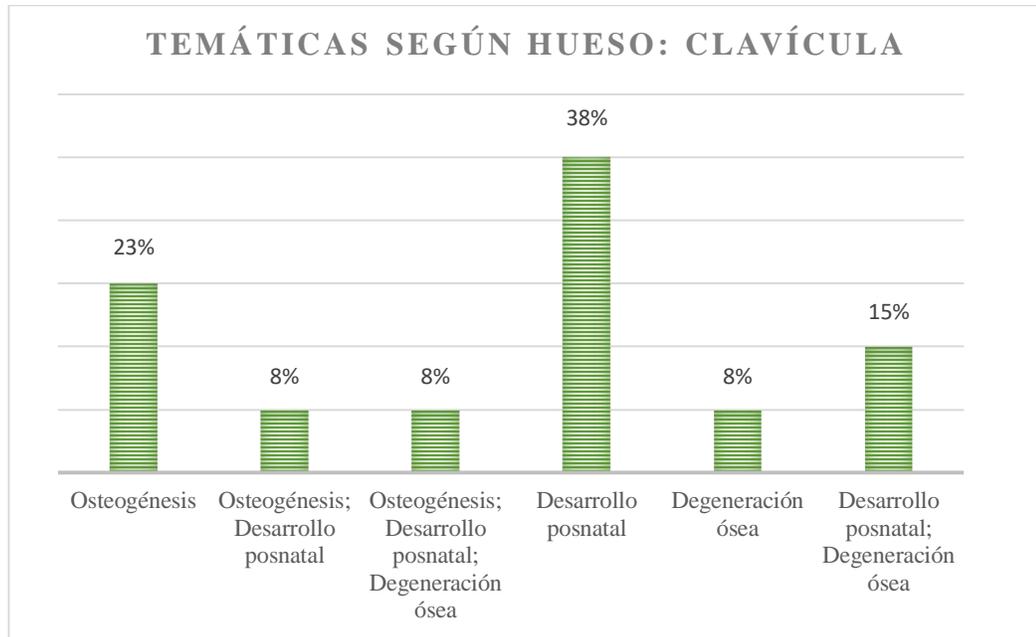
Gráfica 3. Tipo de fuente bibliográfica. Elaboración propia.

Por su parte, las categorías de búsqueda para la muestra se dividieron entre los dos huesos que componen la cintura escapular, además se decidió incluir la categoría cintura escapular en su conjunto, ya que durante el proceso de búsqueda bibliográfica se observó que en muchos estudios el tema fue tratado en ambos huesos. La búsqueda por clavícula arrojó mayor cantidad de información, el 38%, mientras que para la escápula se encontraron menor cantidad de datos, el 26%, en cuanto a la región ósea cintura escapular se encontró el 35% de datos del total de la muestra (gráfica 4).



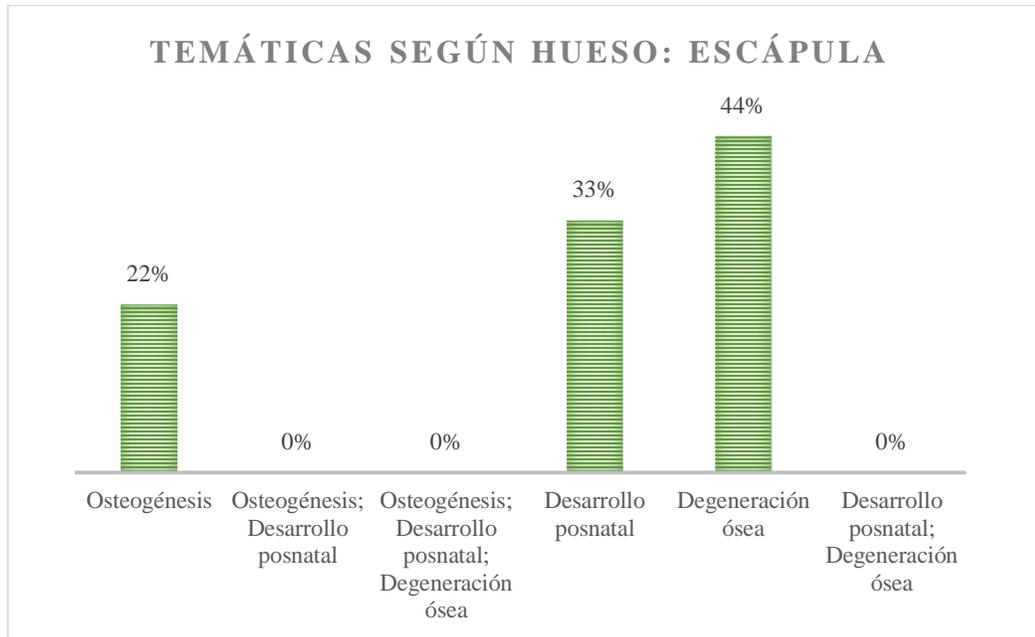
Gráfica 4. Frecuencia de publicación por categoría. Elaboración propia.

Para la búsqueda de información para cada hueso se establecieron seis temáticas que abarcan distintas etapas de desarrollo, desde la ontogénesis hasta la degeneración ósea y ellas combinadas entre sí (gráfica 5). Para la clavícula se encontró mayor información acerca del desarrollo posnatal como categoría separada, con el 38%; seguido de la osteogénesis con un 23%; el 15% lo ocupa la categoría combinada de desarrollo posnatal y degeneración ósea con el 15%. Mientras que el 8% lo registra la degeneración ósea y las otras categorías combinadas.



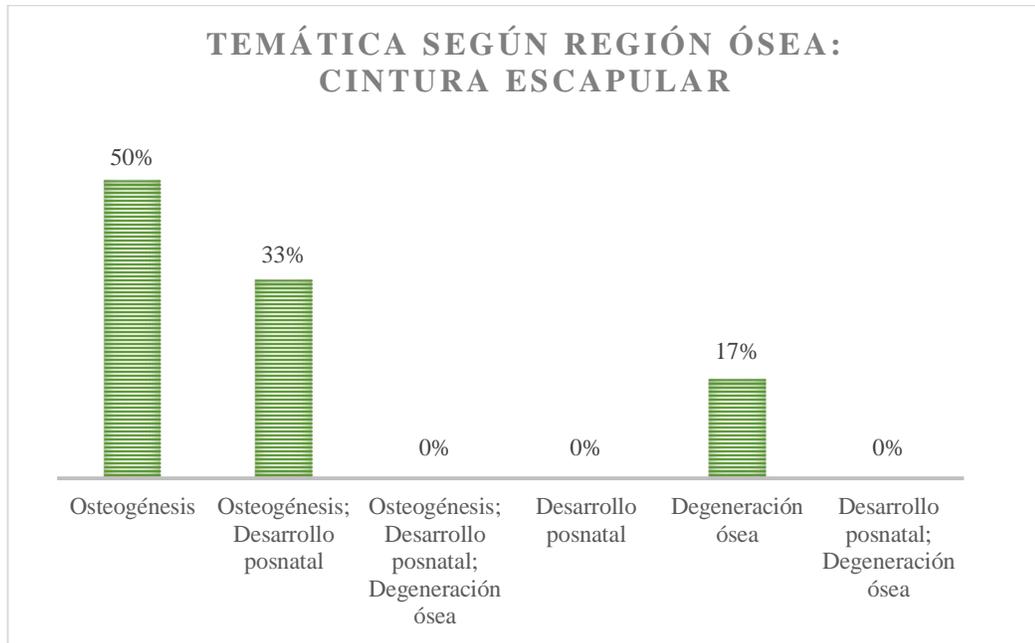
Gráfica 5. Frecuencia de publicación por temáticas según hueso. Clavícula. Elaboración propia.

En la gráfica 6 se muestra las temáticas para la escápula, donde se puede observar que no se registran datos para categorías que combinan diferentes tipos de etapas de desarrollo, únicamente se hayan datos para las categorías separadas. La mayor cantidad de información es para la degeneración ósea con el 44%, seguida del desarrollo posnatal con 33%, finalmente la osteogénesis ocupa el 22% de la muestra para escápula.



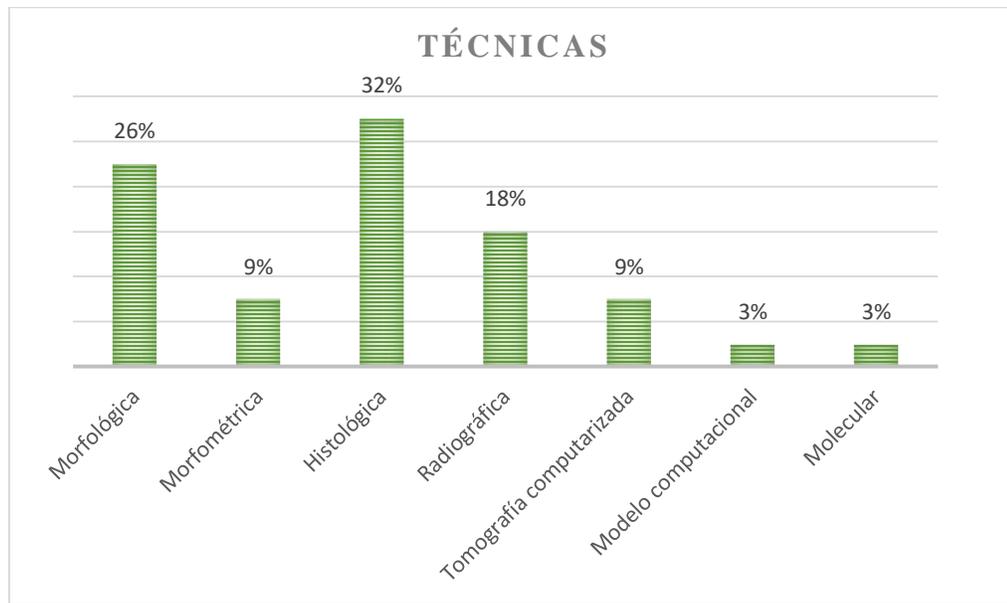
Gráfica 6. Frecuencia de publicación por temáticas según hueso: Escápula. Elaboración propia.

Por su parte, la gráfica 7 muestra el porcentaje de cada temática para la cintura escapular. El 50% de la información pertenece a la osteogénesis, mientras que el 33% lo obtiene la temática combinada osteogénesis y desarrollo posnatal y el 17% le pertenece a la degeneración ósea. Para la categoría desarrollo posnatal no se halló bibliografía aunque se compensa con los datos que provienen de la categoría que abarca la osteogénesis con el desarrollo posnatal.



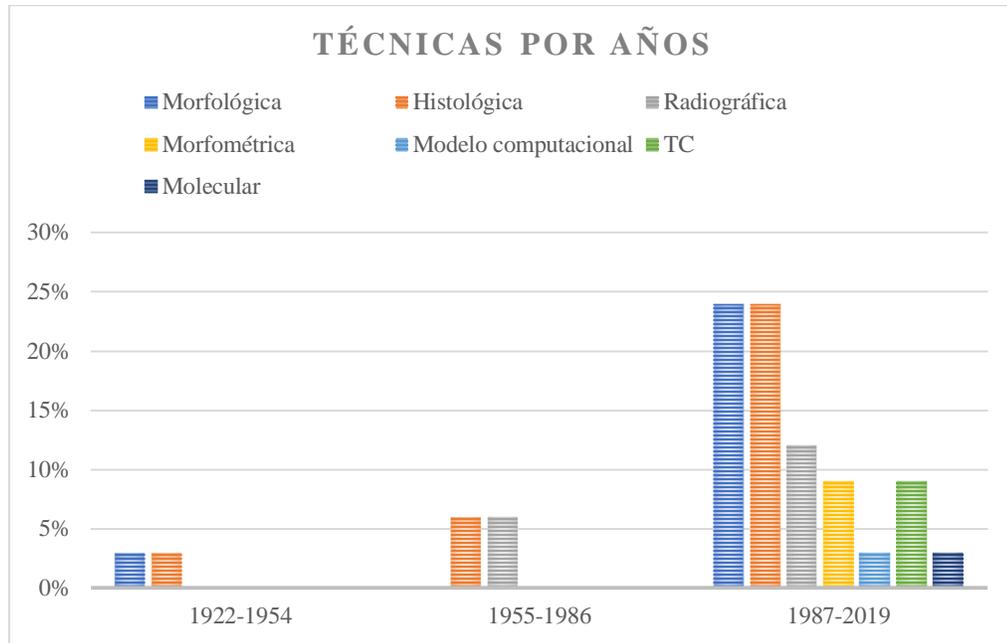
Gráfica 7. Frecuencia de publicación por temáticas según hueso: Cintura escapular. Elaboración propia.

Las técnicas empleadas en el tema de crecimiento y desarrollo de la cintura escapular para la muestra fueron: histológica con un 32%, seguida de la morfológica con 26%, mientras que la radiográfica ocupa el 18%, para la técnica morfométrica y Tomografía Computarizada (TC) se registró el 9% para cada una (gráfica 8).



Gráfica 8. Frecuencia de técnicas empleadas. Elaboración propia.

Por último, la gráfica 9 presenta la frecuencia de cada técnica organizada por rangos, el primero es de 1922 a 1954, en esta época las técnicas que se emplearon fueron: morfológica e histológica con el mismo porcentaje 3%; por su parte en la época que va desde el año 1955 a 1986 se puede observar que las técnicas empleadas fueron histológica y radiográfica con el 6% cada una; mientras que en la última época que abarca desde finales de la década del ochenta hasta el presente, específicamente desde 1987 a 2019, las técnicas utilizadas fueron más variadas, aunque sigue presente en mayor cantidad la morfológica e histológica con el 24% cada una, según la muestra, ambas fueron empleadas desde la década del veinte hasta el presente. Por su parte la técnica radiográfica registra el 12%, seguida de la morfométrica y TC con 9% cada una.



Gráfica 9. Tendencias de publicación por rango de años según técnica empleada. Elaboración propia.

Discusión

El estudio del sistema óseo humano es el eje principal de la osteología humana, por ende, diversas disciplinas con fines comunes emplean sus conocimientos, como ejemplo, medicina, anatomía, antropología física, forense y la arqueología (figura 60). La importancia del estudio del sistema esquelético radica en las múltiples funciones que tiene éste, por ejemplo, es el sostén para el cuerpo y la protección para varios órganos, a su vez la morfología de los distintos huesos al quedar establecida desde etapas muy tempranas en el desarrollo embrionario revela su rol dentro del sistema, y en etapas posteriores su forma irá modificándose de acuerdo a la edad del individuo y a su actividad u ocupación (Arteaga y García, 2017). Concretamente, el sistema óseo es un tejido dinámico y en continuo proceso de remodelación (Luque y María, 2009).

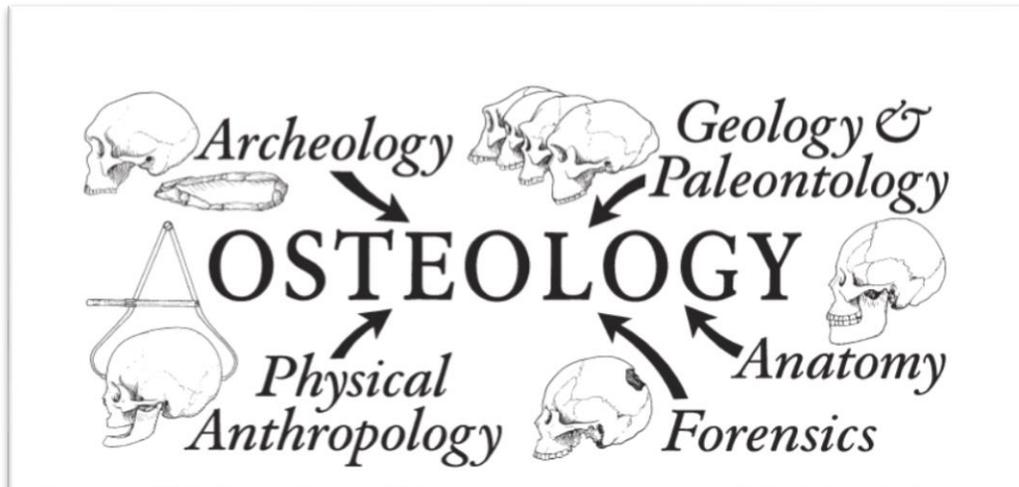


Figura 60. Osteología y disciplinas científicas asociadas. Tomado de White y Folkens, 2005.

Las etapas tempranas de la vida intrauterina han sido ampliamente documentadas por la embriología humana, como ejemplo, Sandler (2012); Moore, et al (2013); Carlson (2014); Arteaga y García (2017), donde no se restringe al proceso desde la primera a la séptima semana sino también incluyendo el periodo fetal que se extiende desde la octava semana al noveno mes aproximadamente. Para la presente investigación se emplearon las enciclopedias y libros de la anatomía clínica y embriología, con el fin de crear un contexto previo para introducir al lector en todos aquellos procesos que se llevan a cabo en la creación de un individuo, desde la fusión del gameto masculino (espermatozoide) y el gameto femenino (ovocito) para originar un cigoto (Sandler, 2012).

De igual modo, se emplean los textos clásicos de osteología humana: Scheuer y Black (2004); White, et al (2011); Cunningham, et al. (2016), donde se retoman los estudios tanto de embriología, como de histología: Hall (2015); Megías, et al., (2016) para entender en qué etapa del desarrollo de un individuo ocurre la formación ósea, en qué orden y gracias a qué mecanismos, tanto celulares como moleculares se produce, ya que estos procesos no son únicos del ser humano,

el tejido óseo a nivel molecular y celular es básicamente el mismo en todos los mamíferos (White, et al 2011; Hall, 2015). Sin embargo, la mayor cantidad de información se obtuvo a través de artículos de revistas indexadas y no de libros o enciclopedias, estas últimas resultaron de apoyo teórico.

Cabe recordar que el objetivo principal de la presente investigación fue documentar el proceso de formación y maduración del tejido óseo de la clavícula y escápula desde la etapa embrionaria hasta la maduración, por ello se rastrearon los textos que pudieran abarcar todas o alguna de las etapas que conforman el ciclo vital del ser humano.

En un principio la presente investigación pretendía rastrear los textos que se publicaron en la última década excluyendo publicaciones que salieran de éste rango, es cierto que en los últimos años el pico de publicaciones en esta área ha aumentado especialmente desde el año 2010 hasta el 2019, (gráfica 2). Desafortunadamente, se encontró que la muestra sería muy pequeña si se restringía por año de publicación. Asimismo se pudo contrastar que en los textos de otras décadas llegaban a conclusiones similares que estudios recientes. Por consiguiente, se emplearon publicaciones de fechas recientes (2018) como antiguas (1922).

Según el apartado de resultados, el hueso que ha tenido mayor exploración en cuanto a la formación y desarrollo ha sido la clavícula (38%) (gráfica 4), específicamente ha sido estudiada en mayor medida en la etapa posnatal (38%), seguida de la osteogénesis (23%) (gráfica 5). Esto se puede interpretar, debido a que es un hueso con características particulares, ya que combina los dos tipos de osificación, intramembranosa en la diáfisis y endocondral en las epífisis (Garzón et al., 2014), además tiene una formación rápida en comparación con otros huesos, sumado a ello es el hueso que tarda más en terminar su desarrollo, aproximadamente a los 25-30 años se une

completamente la epífisis esternal a la diáfisis (Cunningham, et al., 2016). Éstas son las características que observan los antropólogos forenses para tratar de estimar la edad en un individuo.

En lo referente a la osteogénesis de la clavícula, anteriormente se tenían dos hipótesis sobre su origen, ya que se creía que éste hueso tenía únicamente un centro de osificación que aparecía en la quinta semana de vida intrauterina (Koch, 1960), mientras que otros investigadores afirmaban que poseía dos centros primeros que se unen en la séptima semana aproximadamente (Gardner y Gray 1953, Gardner 1968, O'Rahilly y Gardner 1972). En la actualidad, la segunda teoría está ampliamente aceptada y se encuentra contrastada con diferentes técnicas, como ejemplo la histología (Ogata y Uhthoff, 1990; Scheuer y Black, 2004; Calixto, et al., 2015; Baumgart, et al., 2016; etc).

Por su parte, los estudios acerca de la degeneración ósea en la clavícula son relativamente escasos. En este estudio representa el 8%, cuando se combinan dos categorías: desarrollo posnatal y degeneración ósea constituye el 15%, (gráfica 5). De igual forma los pocos estudios que hay se restringen a la descripción morfológica de los cambios que ocurren aproximadamente desde los 30 a 80 años, únicamente en la epífisis medial de la clavícula, por ejemplo Falys y Prangle (2015).

Por el contrario, los estudios del desarrollo posnatal son mayores, ya que para este caso se agruparon las etapas del ciclo vital: nacimiento hasta la adultez, por ello representa el 38%. La etapa desde el nacimiento hasta la adolescencia está bien documentada desde la osteología y antropología forense, ya que conociendo cuales son los cambios propios de cada etapa es posible identificar la edad de un individuo por medio de los restos óseos (Scheuer y Black, 2004; Cunningham, et al., 2016). Concluyendo todos estos estudios, los principales cambios en la

clavícula son el crecimiento en longitud y la fusión de la epífisis esternal tardía. De esta manera, en el presente estudio se emplearon algunas investigaciones realizadas desde el ámbito forense, ya que fueron de ayuda para documentar y asociar los cambios morfológicos de acuerdo a la edad de un individuo, véase por ejemplo Walker y Lovejoy (1985); Garamendi, et al (2007); Cardoso (2008); Falys y Prangle (2015).

Los estudios en la escápula representan el 25% (gráfica 4), en cuanto a las tendencias de publicación por temática o según etapa del ciclo vital, el 44% procede de investigaciones de degeneración ósea, casi la mitad del total de la bibliografía específica para escápula (gráfica 6). Edelson y Taitz (1992); Prescher (2000); Vázquez, et al., (2015) coinciden en que los cambios por vejez en la escápula se manifiestan por medio de osteofitos, en la mayoría de los casos se presentan en las apófisis acromial y coracoide, los cuales están presentes siempre en individuos de la tercera edad. También es frecuente la presencia de agujeros en el piso inferior de la fosa infraespinosa, o enfermedades como la osteoartritis, lo que revela que se trata de un individuo mayor, estas son algunos cambios más comunes que fueron rastreados cuando se trata de una escápula adulta.

Cabe aclarar que debe conocerse la población estudiada, es decir, saber previamente su contexto social, sexo, si es posible sus actividades, cuando se trabaje las últimas etapas del ciclo vital en cualquier hueso, ya que puede confundirse las señales de degeneración ósea con estrés ocupacional (Dabbs y Moore 2012). De igual forma tener cierto grado de conocimiento en patologías óseas, ya que se manifiestan mayormente en individuos ancianos (Prescher, 2000).

En cuanto al origen de la escápula también ha sido un tema debatido, ya que se pensaba que se originaba únicamente en el mesodermo de la placa lateral al ser el tejido que forma los miembros (Carlson, 2014), o que era proveniente del mesodermo paraaxial, ambas hipótesis son

en parte ciertas. La porción superior de la escápula surge del mesodermo de la placa lateral, mientras que la lámina inferior y el borde medial se originan por células de origen somítico (Huang, et al., 2006; Cunningham, et al., 2016). Generalmente en los textos no especifican ambos orígenes de la escápula, simplemente afirman que la función del mesodermo lateral es la formación de la cintura escapular, pélvica y miembros (Arteaga y García, 2017).

El 57% de los estudios rastreados examinan la osteogénesis de la cintura escapular (gráfica 7), lo que ayudó en gran parte a completar la descripción de ciertas fases de la etapa embrionaria y fetal de ambos huesos, esto indica que específicamente, este tema ha sido investigado en mayor medida respecto a otras etapas del crecimiento óseo.

La discusión anterior, acerca de las tendencias de publicación por hueso y por su respectiva etapa de desarrollo permite relacionar y analizarlo con las técnicas halladas en los textos. De acuerdo con lo explicado anteriormente, la osteogénesis de la cintura escapular se encuentra bien documentada, empleando la técnica histológica en la mayoría de los casos Gardner (1968); Ogata y Uthoff (1990); Nazir, et al., (2014); Bain, et al (2015); Calixto, et al., (2015); Hita, et al., (2018); etc. Por ello esta técnica fue predominante (32%) (gráfica 8) incluso por encima de la morfológica, ya que la histología permite describir de manera cualitativa y cuantitativa los rasgos microestructurales del tejido óseo (Desántolo y Bernal, 2016). Observando la génesis de los diferentes precursores de lo que posteriormente será un hueso tal como lo conocemos.

Mientras que la técnica tradicionalmente empleada “macroscópica” (morfológica, anatómica) representó el 26% (gráfica 8) enfocada a la descripción principalmente de los cambios que suceden después del nacimiento (Graves, 1922; Black y Scheuer, 1996; Cunningham, et al., 2016; Falys y Prangle, 2015; etc). Aunque su alcance es restringido, continua siendo una fuente

confiable para la comprensión del tejido óseo a un nivel macroscópico, especialmente desde la antropología forense. Donde se evalúan el grado de unión de la epífisis medial de la clavícula, o en la escápula la epífisis acromial, coracoide y los bordes medial e inferior o el desgaste de articulaciones (Garamendi, et al., 2007; Cardoso, 2008). Ya que estos datos señalan en qué etapa del ciclo vital se encuentra un individuo.

Por último, es importante resaltar los países de Latinoamérica que han realizado trabajos de investigación en esta área (grafica 1). Según Santa y Herrero (2010) Latinoamérica es una de las regiones con mayor desequilibrio social y económico, situación que se traslada al campo de la producción científico-técnica, desde el 2010 países como Colombia, México, Chile han visto aumentar su participación en la ciencia mundial a lo largo del periodo (1996-2007) siendo Colombia, Cuba y Brasil los que han experimentado mayor incremento. Esto se puede contrastar con los datos de la gráfica 1, donde también se encuentra Venezuela.

CONCLUSIONES

El conocimiento del crecimiento y desarrollo del ser humano resulta de suma importancia para comprender en particular el esqueleto humano y todos aquellos procesos que contribuyen al desarrollo de este tejido conectivo que brinda soporte a los órganos y músculos del cuerpo. Por ello, el estudio osteológico ha permitido un mayor entendimiento del tejido óseo, ya que se puede conocer cuál es la génesis de cada hueso y su respectivo desarrollo, su variación con respecto a individuos de una misma población, entre sexos y los cambios ocurridos con la edad, posteriormente esta información será retomada por otras disciplinas como la antropología forense.

La región ósea cintura escapular hace parte del esqueleto apendicular y su función principal es brindarle mayor movilidad al miembro superior y proteger órganos. Particularmente estos huesos poseen características que los diferencian del resto, ya que en su osteogénesis combinan los dos tipos de osificación, intramembranosa y endocondral.

Concretamente, la clavícula es el primer hueso en iniciar su formación, cerca de la semana quinta las células de mesénquima se establecen en el lugar donde se desarrollará este hueso, posteriormente dichas células se diferenciarán en osteoblastos que son los encargados de comenzar a producir la matriz ósea, es así como se establecen los dos centros de osificación (intramembranosos) de la clavícula que para la séptima semana se fusionarán. Al tener una formación rápida su morfología será parecida a la del adulto en aproximadamente once semanas fetales. Contrariamente, su epífisis medial (endocondral) es la última en fusionarse en todo el esqueleto, aproximadamente a los 25-30 años, mientras que la epífisis acromial se forma entre los 19 a 20 años y se fusionará entre ese mismo rango.

Por su parte, la escápula también tendrá una rápida formación, a las siete semanas se inicia la osificación, combinando ambos tipos de osteogénesis. El punto inicial o centro primario de osificación intramembranosa será en la fosa infraespinosa. Los centros secundarios endocondrales son siete: tres para el proceso coracoideo, uno para el aspecto inferior de la cavidad glenoidea, uno en el ángulo inferior, uno asociado con el borde vertebral y uno para el proceso acromion. Estos en su mayoría se formarán antes del nacimiento y terminarán de fusionarse en la pubertad. A la edad de 23 años es muy probable que la escápula esté completamente formada.

En cuanto a los cambios degenerativos ocurridos por la edad, en ambos huesos se pudo documentar que son visibles en sus epífisis. En la clavícula, la epífisis medial muestra superficies con crestas, porosidad o formas irregulares cuando se trata de individuos mayores (88 + años). Por su parte en la escápula la epífisis acromial también está sujeta a dichos cambios, donde pueden surgir osteofitos o espolones que principalmente aparecen en sujetos mayores a 70 años.

Respecto a la bibliografía empleada, se pudo realizar una mejor descripción de las primeras etapas, embriológica y fetal, de ambos huesos. Como se ha explicado, gracias a la histología han surgido diversos estudios que analizan los procesos celulares que intervienen en la formación y crecimiento de la cintura escapular. En cuanto a la etapa posnatal, infancia, se encuentra poco documentada y los estudios encontrados se restringen a una descripción muy general de los cambios que ocurren donde el mayor acontecimiento es la fusión de algunas epífisis y el crecimiento que tienen estos huesos.

En términos generales, se pudo realizar una descripción satisfactoria de los procesos que ocurren desde la formación de la cintura escapular hasta su degeneración ósea, identificando sus dos formas de osteogénesis, el cambio de un tejido óseo inmaduro a uno maduro y los principales rasgos que caracterizan a cada etapa del ciclo vital.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alonso, J; Navarro, R; Ruiz, J; Jiménez & J; Brito, E. (2005). Biomecánica de la cintura escapular. *Canarias Médica y Quirúrgica*, 3, 33-38.
- Antonetti, C. (2013). Centros de Osificación de la Escápula. *Revista de la Sociedad Venezolana de Ciencias Morfológicas* Vol. 19.
- Arenas, M. (2017). OSTEHOME, Recurso Educativo Digital para la enseñanza y aprendizaje de la Cintura Escapular (Hombro) en Osteopatía Estructural. Universidad Nacional de Colombia.
- Arteaga, S; García, M. (2017). *Embriología humana y biología del desarrollo*. Segunda edición, p.592. México.
- Ávila, M. (2017). Bases para el estudio embrionario. *Logos Boletín Científico De La Escuela Preparatoria No. 2*, 4(7).
- Bain, G. I., Itoi, E., Di Giacomo, G., & Sugaya, H. (Eds.). (2015). *Normal and pathological anatomy of the shoulder*. Springer.
- Baumgart, M; Wisniewski, M; Grzonkowska, M; Badura, M; Dombek, M; Małkowski, B; Szpinda, M. (2016). Morphometric study of the two fused primary ossification centers of the clavicle in the human fetus. *Surgical and Radiologic Anatomy*, 38(8).

- Bellido, T; Pajevic, P & Bonewald, L. (2017). Osteocyte Biology. *Genetics of Bone Biology and Skeletal Disease*, 227-240.
- Benito, M & Sánchez, J.A. (2013). Estimación de la edad en adultos mediante métodos radiológicos y de análisis de imagen en el esternón y la escápula. *Cuadernos de Medicina Forense* 19(3-4):87-94.
- Benito, M. (2015). Estudio antropológico forense en el complejo articular del hombro y en el esternón para la estimación de la mayoría de edad legal y de la edad de la muerte. Universidad Complutense de Madrid: 1-364.
- Bernabéu, E; López-Oliva, F; Larena, A; Tur, A; De la Piedra, M^a & C & Montero, M. (2006). Estudio de la composición ósea para su apropiada regeneración con materiales implantados. *Patología del aparato locomotor*, 4, 202-207.
- Bernardo, M. (2004). El desarrollo fetal humano. Instituto Superior de Ciencias Médicas de La Habana. Facultad de Ciencias Médicas: Dr. Salvador Allende. Departamento de Ciencias Morfológicas. Habana, Cuba.
- Boraschi, I. (2017). Regulation of osteoclasts by collagen type I degradation fragments: the implications for bone destruction and wholebody metabolism in osteogenesis imperfect. University Montreal, 1-139.

Burns, K. (2008). *Manual de antropología forense*. Ediciones Bellaterra. Barcelona.

Burr, D. B., & Allen, M. R. (2013). *Basic and applied bone biology*. Academic Press.

Black, S & Scheuer, L. (1996). Age changes in the clavicle: from the early neonatal period to skeletal maturity. *International Journal of Osteoarchaeology*, 6(5), 425-434.

Calixto, LF; Penagos, R; Jaramillo, L; Gutiérrez, ML & Garzón, D. (2015). A Histological Study of Postnatal Development of Clavicle Articular Ends. *Universitas Scientiarum* 20(3): 361-368.

Carlson, B. (2014). *Embriología humana y biología del desarrollo*. (4 Ed). Elsevier España.

Cardoso, F. V. (2008). Age estimation of adolescent and young adult male and female skeletons II, epiphyseal union at the upper limb and scapular girdle in a modern Portuguese skeletal sample. *American Journal of Physical Anthropology: The Official Publication of the American Association of Physical Anthropologists*, 137(1), 95-105.

Cunningham, C., Scheuer, L., & Black, S. (2016). *Developmental juvenile osteology*. Academic Press.

Chavassieux, P; & Meunier, P. (2003). Histología y citología del hueso normal. *Encycl Méd*

- Chir. Elsevier, Paris, Appareil locomoteur, 14-002-A-10, 6.
- Chico, E. (2015). Estudio prospectivo comparando los resultados obtenidos con tres tratamientos de electroterapia, en las tendinopatías calcificadas del supraespinoso. Universidad de Valladolid.
- Cruz, R. (2011). Transplante de células ematopoyéticas. *Revista de Actualización Médica*. Vol 4.
- Dabbs, G; & Moore-Jansen, P. (2012). Age change in the adult human scapula. *HINI-Journal of Comparative Human Biology*, 63(5), 368-384.
- Day, R. A. (2005). Cómo escribir y publicar trabajos científicos (Vol. 598). Pan American Health Org.
- Delgado, G. (2013). Cartílago articular: Evaluación por resonancia magnética. *Revista chilena de radiología*, 19(3), 134-139.
- Desántolo, B. & Bernal, V. (2016). Los estudios de histología en antropología biológica. *Revista Argentina de antropología biológica*, 18, Número 2, 1-3.
- DiGangi, E. A., & Moore, M. K. (Eds.). (2012). *Research methods in human skeletal biology*. Academic Press.

- Edelson, J. G; & Taitz, C. (1992). Anatomy of the coraco-acromial arch. Relation to degeneration of the acromion. *The Journal of the bone and joint surgery. British volume*, 74(4). 589-594.
- Falys, C. G., & Prangle, D. (2015). Estimating age of mature adults from the degeneration of the sternal end of the clavicle. *American journal of physical anthropology*, 156(2), 203-214.
- Fujii, K; Takeda, Y; & Miyake, K. (2015). Development of secondary ossification centres of the acromion in Japanese youth: a computed tomography study. *Journal of Orthopaedic Surgery*, 23(2), 229-232.
- Garamendi, PM; Botella, MC; Alemán, I & Landa, MI. (2007). Fusión de la epífisis esternal de la clavícula en relación con la edad. Aplicaciones en la estimación forense de la edad. *Cuadernos de Medicina Forense*, 13, 143-156.
- García, A. (2007). Osteobiología: aspectos novedosos del tejido óseo y la terapéutica con el plasma rico en plaquetas. *MedUnab*, 10, 212-224.
- Gardner, E. & Gray, D. J. (1953). Prenatal development of the human shoulder and acromioclavicular joints. *Developmental dynamics*. 92: 219–276.
- Gardner, E. (1968). Embryology of the clavicle. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 58, 9-16.

- Garzón, D. A., Gutiérrez, M. L., & Calixto, L. F. (2014). A computational model of clavicle bone formation: a mechano-biochemical hypothesis. *Bone*, 61, 132-137.
- Graves, W. W. (1922). Observations on age changes in the scapula: a preliminary note. Volume 5, number 1.
- Hall, B. K. (2015). *Bones and Cartilage: Developmental and Evolutionary Skeletal Biology*. Academic Press.
- Hatta, T., Sano, H., Zuo, J., Yamamoto, N., & Itoi, E. (2013). Localization of degenerative changes of the acromioclavicular joint: a cadaveric study. *Surgical and Radiologic Anatomy*, 35(2), 89-94.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación*. Sexta Edición. Editorial Mc Graw Hill. México.
- Hita-Contreras, F; Sánchez-Montesitos, I; Martínez-Amat, A; Cruz-Díaz, D; Barranco, R. J; & Roda, O. (2018). Development of the human shoulder joint during the embryonic and early fetal stages: anatomical considerations for clinical practice. *Journal of anatomy*, 232(3), 432-430.
- Huang, R; Christ, B & Patel, K. (2006). Regulation of scapula development. *Anatomy and embryology*, 211, 65-71.

Infante, C. (2008). Fundamentos para la evaluación del crecimiento, desarrollo y función craneofacial. Universidad Nacional de Colombia.

Jowsey, J. Gordon, G., & Bourne, G. H. (1971). Bone turnover and osteoporosis. The Biochemistry and physiology of bone (Bourne, GH, ed.), 3, 201-238.

Koch A R. The early development of the clavicle in humans. Acta Anat 1960 42: 177-212.

Leal, A., Mora, F. G., Mejía, C., López, A., & Acevedo, M. J. (2014). Acortamiento relativo de clavícula en fracturas pediátricas: Su importancia en la decisión del tratamiento conservador. Acta ortopédica mexicana, 28(2), 82-87.

López, C; García, V; Mijares, J; Domínguez, J. A; Sánchez, F. M; Álvarez, I. S; & García, V. Gastrulación: proceso clave en la formación de un nuevo organismo. Rev Asoc Est Biol Rep. Vol. 18 N° 1.

Luque, S., & María, I. (2009). Estudio de la morfología del cuerpo vertebral en una L4 humana con modelos de remodelación ósea interna y externa. Esc. Técnica Super. Ing. Sevilla, 30-37.

Megías, M., Molist, P., & Pombal, M. (2016). Atlas de histología animal y vegetal. Universidad de Vigo. España.

- Montenegro, M. A.; Rojas, M. & Domínguez, S. (2004). Osteogénesis comparativa de los cartílagos secundarios de la clavícula y placas epifisarias de los huesos largos. *Int. J. Morphol.*, 22(3):201-206.
- Moore, K. L; Persaud, T. V. N. & Torchia, M (2013). *Embriología clínica*. (9 ed). Barcelona: Elsevier Saunders.
- Muriel, A. (2016). Estudio anatómico, radiológico y funcional de la articulación del hombro. Universidad de Cantabria.
- McGraw, M. A; Mehlman, C, T; Lindsell, C. J; & Kirby, C. L. (2009). Postnatal growth of the Clavicle: Birth to Eighteen Years of Age. *Journal of pediatric orthopedics*, 29(8), 937.
- Navarro, M. (2015). Desarrollo y caracterización de materiales biodegradables para regeneración ósea. Universitat Politècnica de Catalunya, 1-295.
- Nazir, S; Raina, S; Bashir, Z; Bano, S; Shadad, S; Khan, J.A; & Jan, Y. (2014). Histological development of human foetal shoulder joint. *International Journal of Research in Medical Sciences*, 2(1), 293-299.
- Ogata, S; Uthoff, H. K. (1990). The early development and ossification of the human clavicle- an embryologic study. *Acta Orthopaedica Scandinavica*, 61(4), 330-334.

Otaño, L; Otaño G & Fernández R. (2007). Crecimiento y desarrollo cráneo facial.

O'Rahilly, R., & Gardner, E. (1972). The initial appearance of ossification in staged human embryos. *Developmental Dynamics*, 134(3), 291-307.

Pachajoa, H., & Moreno, F. (2015). Células de la cresta neural: Evolución, bases embrionarias y desarrollo cráneo-facial. Revisión sistemática de la literatura.

Prescher, A. (2000). Anatomical basics, variations, and degenerative changes of the shoulder joint and shoulder girdle. *European journal of radiology*, 35(2), 88-102.

Pró, E. (2012). *Anatomía clínica*. (1ª ed). Buenos Aires, Médica Panamericana.

Rentería, M. Á. F., Domínguez, M. O., Avilés, A. C., & Sánchez, F. L. (2018). La mecánica del hueso. Una revisión de los modelos de remodelación ósea. *Ingenio y Conciencia Boletín Científico de la Escuela Superior de Cd. Sahagún*, 5(9).

Reyes, S. (2012). *Embriología humana*. Universidad Católica Los Angeles de Chimbote.

Rissech C & Black, S. (2007). Scapular Development from the Neonatal Period to Skeletal Maturity: A Preliminary Study. *Int. J. Osteoarchaeol.* 17: 451–464.

Rodríguez, M.J. (2016). Morfogénesis pre embrionaria. *Academia Biomédica Digital*. N. 16.

Universidad Católica de Venezuela.

Rodríguez, Y; Ibarrola, C; Tortoledo, A; López, G; Ballestín, C; C, F. (2005). Vernix Caseosa: Una causa infrecuente de periapendicitis después de cesárea. Hospital Universitario. Madrid, España.

Sandler, T. (2012). *Langman embriología médica* (12 ed, pp. 1-395). Barcelona, Lippincott Williams & Wilkins.

Santa, S., & Herrero-Solana, V. (2010). Producción científica de América Latina y el Caribe: una aproximación a través de los datos de Scopus (1996–2007).

Suárez, N & Osorio, A. (2013). Biomecánica del hombro y bases fisiológicas de los ejercicios de Codman. *Rev CES Med.* 27(2):205-217.

Scheuer, L & Black, S. (2004). *The Juvenile Skeleton*. California, Elsevier Academic Press.

Thomas, T; Martin, A & Lafage-Proust, M.-H. (2011). Fisiología del tejido óseo. Elsevier Masson, Podología, 27-025-A-20. Francia.

Uthoff H.K. (1990). The Development of the Shoulder. In: *The Embryology of the Human Locomotor System*. Springer, Berlin, Heidelberg.

Vázquez, T., Calvo, J., Sanudo, J., & Calvo, E. (2015). Developmental Anatomy of the Shoulder. In Normal and Pathological Anatomy of the Shoulder (pp. 15-25). Springer, Berlin, Heidelberg.

Walker, R. A., & Lovejoy, C. O. (1985). Radiographic changes in the clavicle and proximal femur and their use in the determination of skeletal age at death. *American journal of physical anthropology*, 68(1), 67-78.

White, T. D., & Folkens, P. A. (2005). *The human bone manual*. Elsevier.

White, T; Black, M & Folkens. P. (2011). *Human osteology*. (3 Ed.). California. Academic press.

Anexos

Tabla bibliográfica

Autores	Año	País	Título	Hueso/Re gión ósea	Temática	Tipo de texto	Técnica
Walker, R. A., & Lovejoy, C. O.	1985	Estados Unidos	Radiographic changes in the clavicle and proximal femur and their use in the determination of skeletal age at death. American journal of physical anthropology	Clavícula	Desarrollo posnatal; Degeneración ósea	Artículo	Radiográfica
Ogata, S; Uhthoff, H	1990	Canadá	The early development and ossification of the human clavicle- an embryologic study	Clavícula	Osteogénesis	Artículo	Histológica
Garzón, D. A., Gutiérrez, M. L., & Calixto, L. F	2014	Colombia	A computational model of clavicle bone formation: a mechano-biochemical hypothesis	Clavícula	Osteogénesis	Artículo	Modelo computacional
Black, S & Scheuer, L	1996	Inglaterra	Age changes in the clavicle: from the early neonatal period to skeletal maturity	Clavícula	Osteogénesis; Desarrollo posnatal; Degeneración ósea	Artículo	Morfométrica
Calixto, LF; Penagos, R; Jaramillo, L; Gutiérrez, ML & Garzón, D	2015	Colombia	A Histological Study of Postnatal Development of Clavicle Articular Ends	Clavícula	Desarrollo posnatal	Artículo	Histológica
Montenegro, M. A.; Rojas, M. & Domínguez, S	2004	Chile	Osteogénesis comparativa de los cartílagos secundarios de la clavícula y placas epifisarias de los huesos largos	Clavícula	Osteogénesis	Artículo	Histológica
Falys, C. G., &	2015	Inglaterra	Estimating age of mature adults from	Clavícula	Degeneración ósea	Artículo	Morfológica

Prangle, D			the degeneration of the sternal end of the clavicle				
Garamendi, PM; Botella, MC; Alemán, I & Landa, MI	2007	España	Fusión de la epífisis esternal de la clavícula en relación con la edad. Aplicaciones en la estimación forense de la edad	Clavícula	Desarrollo posnatal	Artículo	Radiográfica
Gardner, E	1968	Estados Unidos	Embryology of the clavicle	Clavícula	Osteogénesis; Desarrollo posnatal	Artículo	Histológica
Baumgart, M; Wisniewski, M; Grzonkowska, M; Badura, M; Dombek, M; Małkowski, B; Szpinda, M	2016	Polonia	Morphometric study of the two fused primary ossification centers of the clavicle in the human fetus	Clavícula	Desarrollo posnatal	Artículo	Tomografía Computarizada
McGraw, M. A; Mehlman, C, T; Lindsell, C. J; & Kirby, C. L	2009	Estados Unidos	Postnatal growth of the Clavicle: Birth to Eighteen Years of Age	Clavícula	Desarrollo posnatal	Artículo	Radiográfica
Kreitner, K. F., Schweden, F. J., Riepert, T., Nafe, B., & Thelen, M.	1998	Alemania	Bone age determination based on the study of the medial extremity of the clavicle	Clavícula	Desarrollo posnatal	Artículo	Tomografía Computarizada
Graves, W. W	1922	Estados Unidos	Observations on age changes in the scapula: a preliminary note	Escápula	Degeneración ósea	Artículo	Morfológica
Antonetti, C	2013	Venezuela	Centros de Osificación de la Escápula	Escápula	Osteogénesis	Artículo	Morfológica
Dabss, G; & Moore-Jansen, P	2012	Estados Unidos	Age change in the adult human scapula	Escápula	Degeneración ósea	Artículo	Morfométrica

Edelson, J. G; & Taitz, C	1992	Israel	Anatomy of the coraco-acromial arch. Relation to degeneration of the acromion	Escápula	Degeneración ósea	Artículo	Morfológica
Fujii, K; Takeda, Y; & Miyake, K	2015	Japón	Development of secondary ossification centres of the acromion in Japanese youth: a computed tomography study	Escápula	Desarrollo posnatal	Artículo	Tomografía computarizada
Cardoso, F. V	2008	Portugal	Age estimation of adolescent and young adult male and female skeletons II, epiphyseal union at the upper limb and scapular girdle in a modern Portuguese skeletal sample	Escápula	Desarrollo posnatal	Artículo	Morfológica
Benito, M & Sánchez, J.A	2013	España	Estimación de la edad en adultos mediante métodos radiológicos y de análisis de imagen en el esternón y la escápula	Escápula	Degeneración ósea	Artículo	Radiológica
Huang, R; Christ, B & Patel, K	2006	Alemania	Regulation of scapula development	Escápula	Osteogénesis	Artículo	Molecular
Rissech C & Black, S	2007	España	Scapular Development from the Neonatal Period to Skeletal Maturity: A Preliminary Study	Escápula	Desarrollo posnatal	Artículo	Morfométrica
O'Rahilly, R., & Gardner, E	1972	Estados Unidos	The initial appearance of ossification in staged human embryos	Cintura escapular	Osteogénesis	Artículo	Histológica
Gardner, E. & Gray, D. J.	1953	Estados Unidos	Prenatal development of the human shoulder and acromioclavicular joints	Cintura escapular	Osteogénesis	Artículo	Histológica
Bain, G. I., Itoi, E., Di Giacomo, G., & Sugaya, H. (Eds.)	2015	Inglaterra	Normal and pathological anatomy of the shoulder	Cintura escapular	Osteogénesis	Libro	Histológica
Hita-Contreras,	2018	España	Development of the human shoulder	Cintura escapular	Osteogénesis	Artículo	Histológica

F; Sánchez-Montesitos, I; Martínez-Amat, A; Cruz-Díaz, D; Barranco, R. J.; & Roda, O			joint during the embryonic and early fetal stages: anatomical considerations for clinical practice				
Nazir, S; Raina, S; Bashir, Z; Bano, S; Shadad, S; Khan, J.A; & Jan, Y	2014	India	Histological development of human foetal shoulder joint	Cintura escapular	Osteogénesis	Artículo	Histológica
Cunningham, C., Scheuer, L., & Black, S	2016	Estados Unidos	Developmental juvenile osteology	Cintura escapular	Osteogénesis; Desarrollo posnatal	Libro	Morfológica
Prescher, A	2000	Alemania	Anatomical basics, variations, and degenerative changes of the shoulder joint and shoulder girdle	Cintura escapular	Degeneración ósea	Artículo	Morfológica
Scheuer, L & Black, S	2004	Estados Unidos	The Juvenile Skeleton	Cintura escapular	Osteogénesis; Desarrollo posnatal	Libro	Morfológica
White, T; Black, M & Folkens. P	2011	Estados Unidos	Human osteology	Cintura escapular	Osteogénesis; Desarrollo posnatal	Libro	Morfológica
Hatta, T., Sano, H., Zuo, J., Yamamoto, N., & Itoi, E	2013	Japón	Localization of degenerative changes of the acromioclavicular joint: a cadaveric study	Cintura escapular	Degeneración ósea	Artículo	Histológica
Benito Sánchez, M	2015	España	Estudio antropológico forense en el complejo articular del hombro y en el esternón para la estimación de la mayoría de edad legal y de la edad de la muerte	Cintura escapular	Osteogénesis; Desarrollo posnatal	Tesis	Radiográfica
Uthoff H.K.	1990	Alemania	The Development of the Shoulder. In:	Cintura escapular	Osteogénesis	Libro	Histológica

			The Embryology of the Human Locomotor System				
--	--	--	--	--	--	--	--