

J. MANUEL CHAMORRO ORTEGA
M.^a TERESA PASCUAL MORENILLA
MIGUEL GUIRAO PIÑEYRO

ANATOMÍA DE LA POSTURA Y DEL MOVIMIENTO

GRANADA, 2023

COLECCIÓN MANUALES • MAJOR
Ciencias de la Salud

© LOS AUTORES
© UNIVERSIDAD DE GRANADA

ISBN: 978-84-338-7253-1
Depósito legal: Gr./1127-2023

Edita: Editorial Universidad de Granada
Campus Universitario de Cartuja. Granada
Telfs.: 958 24 39 30 - 958 24 62 20 • editorial.ugr.es

Maquetación: CMD. Granada
Diseño de cubierta: Josemaría Medina Alvea
Imprime: Comercial Impresores. Motril. Granada

Printed in Spain / Impreso en España

Cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra sólo puede ser realizada con la autorización de sus titulares, salvo excepción prevista por la ley.

CONTENIDO

PRÓLOGO	9
INTRODUCCIÓN	11

Embriología básica del aparato locomotor

I. CONSIDERACIONES PRELIMINARES	21
II. DESARROLLO DEL TRONCO Y EXTREMIDADES	25

Generalidades

SUMARIO	43
I. NOCIONES GENERALES DE OSTEOLOGÍA	47
II. NOCIONES GENERALES DE ARTROLOGÍA	65
III. NOCIONES GENERALES DE MIOLOGÍA	85

Tronco: aparato de la actitud erecta y de la contención visceral dinámica

SUMARIO	109
I. DISPOSITIVO OSTEOARTICULAR	113
II. SISTEMAS MUSCULARES DEL TRONCO	155
III. MOVILIDAD DEL TRONCO	199
IV. INERVACIÓN PARIETAL DEL TRONCO	213
V. VASCULARIZACIÓN PARIETAL DEL TRONCO	225

Miembro superior: anatomía de la prensión

SUMARIO	237
INTRODUCCIÓN	243
I. COMPLEJO ARTICULAR DEL HOMBRO	245
II. COMPLEJO ARTICULAR DEL CODO	301
III. COMPLEJO ARTICULAR RADIOCUBITAL	319
IV. COMPLEJO ARTICULAR DE LA MUÑECA	331
V. LA MANO, ÓRGANO DE LA PRENSIÓN	355
VI. FASCIAS DEL MIEMBRO SUPERIOR.	389
VII. INERVACIÓN DEL MIEMBRO SUPERIOR. PLEXO BRAQUIAL.	395
VIII. VASCULARIZACIÓN DEL MIEMBRO SUPERIOR	417

Miembro inferior: anatomía de la bipedestación y de la marcha

SUMARIO	437
INTRODUCCIÓN	443
I. OSTEOLOGÍA Y ARTROLOGÍA	445
II. SISTEMAS MUSCULARES DE LA BIPEDESTACIÓN Y DE LA MARCHA	503
III. FASCIAS O APONEUROSIS DEL MIEMBRO INFERIOR	557
IV. INERVACIÓN DEL MIEMBRO INFERIOR	567
IV. VASCULARIZACIÓN DEL MIEMBRO INFERIOR	583
BIBLIOGRAFÍA	605

PRÓLOGO

El profesor José Manuel Chamorro Ortega, catedrático de Anatomía Humana en la Facultad de Medicina de la Universidad de Granada, fue desde el comienzo de su carrera universitaria un gran profesor y maestro, dotado de unas cualidades docentes excepcionales.

Convencido de la importancia de la claridad de conceptos y la adecuada sistematización de la materia para alcanzar los objetivos docentes, se propuso en su día, confeccionar un texto en el que quedaran plasmadas sus ideas sobre los contenidos de las asignaturas de Anatomía y su metodología al explicarlas. En ello trabajó durante varios años; si bien sus circunstancias personales le impidieron dar fin a todo su proyecto, lo consiguió en lo que se refiere a la materia del aparato locomotor. Su obra quedó reflejada en una serie de capítulos perfectamente ordenados y acabados, que acompañó, además, de los dibujos esquemáticos correspondientes, y que fue conformando, según el ritmo y la materia de las clases que impartía. Con la capacidad docente que siempre le ha caracterizado consiguió elaborar un texto claro, fácil y también completo, pues aunque evita ser prolijo en detalles, no olvida nada necesario para la adecuada comprensión y preparación del alumnado. Convencido de la trascendencia de la anatomía funcional, se detiene especialmente en ella, dándole la importancia que merece, añadiendo en este sentido y en lo que al aparato locomotor se refiere, conceptos interesantes e innovadores. Ha estudiado el sistema locomotor en todas sus facetas, es decir explica una anatomía del movimiento pero también de la estabilidad y el equilibrio, tan importantes para el ser humano como la propia movilidad, y de las diferentes posiciones o posturas.

Al mismo tiempo, como magnífico dibujante que es, hizo acompañar cada tema de los esquemas anatómicos que normalmente elaboraba en la pizarra durante sus clases, fáciles de entender y de copiar, siempre partiendo de una base ósea sencilla y escueta, sobre la que iba añadiendo otros detalles musculares, vasculares y nerviosos que el alumno podía dibujar sin problemas.

Hemos utilizado durante muchos años estos capítulos que a nosotros y a otros profesores han servido de guía y apoyo, pues su claridad y capacidad de síntesis

nos han resultado inapreciables en una época en que con un horario más reducido debíamos impartir prácticamente la misma materia. Nos ha parecido por ello totalmente imprescindible la publicación de estos trabajos docentes, como él mismo había proyectado, y lo hacemos mediante este texto que creemos con seguridad que es una importante aportación al conocimiento y docencia de esta asignatura.

Nuestra labor ha sido la de revisar y añadir nuevos datos y hacer la transcripción de los dibujos. La presencia de los esquemas hace a este libro de anatomía único, ya que en la actualidad éstos tienden a desaparecer de la metodología docente, con gran disgusto por parte del alumnado, según hemos podido comprobar.

El texto que ofrecemos contiene la materia correspondiente al aparato locomotor, aunque se ha omitido la referente al cráneo, ya que su estudio se efectúa actualmente junto al del sistema nervioso central.

En cuanto a la bibliografía, se han reflejado textos que, según hemos podido constatar, el profesor Chamorro utilizó y que siguen teniendo total vigencia para el actual conocimiento anatómico, añadiendo nuevos datos de trabajos más recientes que hemos consultado.

Esperamos que este libro sirva a alumnos y a profesores, si no como sus irrepetibles clases, al menos de ayuda y apoyo, cada vez más necesarios en estos tiempos complicados que vive la enseñanza de la anatomía, y que sea al mismo tiempo un merecido homenaje a su autor, el profesor Chamorro, como el gran docente e insigne anatómico que es.

Debemos dar las gracias de forma especial por su colaboración a la arquitecta Belén Trillo Gálvez que con una paciencia infinita ha copiado gran parte de los dibujos con el programa de ordenador apropiado, ya que no poseíamos los originales sino copias que no permitían la impresión adecuada. Lo mismo queremos agradecer el estupendo trabajo de José Molina Aupi que ha ayudado a completarlos y revisarlos. Reciba también nuestro agradecimiento el profesor Girón Irueste por su constante ayuda en la revisión del texto.

M.^a TERESA PASCUAL

MIGUEL GUIRAO

*Profesores de Anatomía y Embriología Humanas
de la Universidad de Granada*

INTRODUCCIÓN

LA Anatomía Humana es una rama de la Biología que estudia la forma del cuerpo humano vivo, desde el punto de vista macroscópico, deteniéndose en la descripción tanto de su exterior como de su interior, en su conjunto y en las diferentes partes que lo constituyen. Esta ciencia tiene por objeto no solo la morfología del ser vivo adulto, sino la de todas las fases de su vida desde el periodo embrionario, siguiendo por las etapas de infancia, pubertad y, tras el estudio del ser humano adulto, la senectud.

Aunque el cuerpo humano debe considerarse siempre de una manera integral, puesto que es así como funciona, para facilitar su estudio se divide en tres partes: cabeza, tronco y extremidades (miembros superiores e inferiores). En el tronco, en el que incluimos el cuello, se estudian las paredes, continente, y el contenido que alberga en su interior, es decir los órganos o vísceras torácicas y abdominales; igualmente ocurre con la cabeza que constituye el continente del encéfalo y de los órganos de los sentidos.

Desde el punto de vista didáctico, en la ciencia anatómica distinguimos el estudio del **Aparato Locomotor**, que comprende la descripción de la forma y función de los huesos, articulaciones y músculos, así como de sus vasos y nervios; la **Esplacnología** (del griego *splagkhnon*: víscera) que tiene por objeto el conocimiento de la forma y función de las vísceras; y **Neuroanatomía** o estudio del sistema nervioso central, es decir el encéfalo y la médula, también desde el punto de vista descriptivo y funcional.

Los primeros estudios anatómicos científicos se hicieron apoyándose en la observación de la superficie corporal y, sobre todo, en la disección de cadáveres; por ello es lógico que la Anatomía fuera en un principio **descriptiva** y, al ser abordada por regiones o zonas, **topográfica**, como base para la práctica de la cirugía. Siempre esta observación de la forma llevaba implícito el de la función del órgano de que se tratara; por ello, con el tiempo se le dio a dicha función cada vez más importancia, ya que el desarrollo de la anatomía microscópica y de la fisiología propiciaban un conocimiento más profundo de este aspecto, llegando a ser entonces la Anatomía más **funcional**. Sobre todo, teniendo en cuenta que además del estudio básico de la

forma, el conocimiento anatómico ha perseguido siempre actuar sobre la enfermedad, que altera la forma, la función, e incluso, como ahora es conocido, la estructura microscópica y química del cuerpo. Más tarde se quiso conocer el origen y el porqué de esa forma por lo que, tomando como base los conocimientos filogenéticos, tuvo lugar un importante desarrollo de la **embriología** humana. En realidad, desde sus comienzos la Anatomía, junto a la búsqueda del conocimiento de la forma y de la causa de la muerte, tuvo una orientación clínica.

El aprendizaje de estos nuevos aspectos influyó de manera clara en la sistemática y en el estudio de la anatomía e incluso dejó su impronta en la nomenclatura.

Es muy interesante para el alumno saber que el extenso lenguaje anatómico —más de 7.500 términos— va a servir de base para todo su futuro léxico profesional. Por ello, se ha intentado unificar el contenido de los conceptos anatómicos mediante la utilización de un idioma común, el latín, creándose la **Nómina Anatómica**, que puede ser empleada internacionalmente por los profesionales de las ciencias médicas, usando así conceptos precisos y comunes para todos. En este texto aparecen, junto a las denominaciones en español, los términos de la **nómina latina** que nos han parecido más significativos e importantes para la comprensión de la Anatomía y de las materias clínicas que han de estudiar en el futuro.

Dado que el ser humano vivo tiene capacidad para colocarse o estar en múltiples posturas y efectuar distintos movimientos, los términos anatómicos deben referirse a una posición determinada, que sirva como patrón o guía, al explicar la situación o topografía de las zonas que han de estudiarse. En efecto, existe una posición base: la llamada **posición anatómica**, que es la de un individuo en posición erecta, de manera que ambos pies estén en contacto por su borde interno, con los brazos paralelos al cuerpo, manos con la palma hacia delante, cabeza erguida y ojos también hacia el frente (fig. I.1).

Para facilitar el estudio de la anatomía han sido aceptados internacionalmente una serie de términos referentes a planos de corte, posiciones y movimientos, que son utilizados en las descripciones relacionadas con la forma, situación y movilidad.

Se tratan de ejes y planos imaginarios que ayudan a dar una idea exacta de la posición de las partes estudiadas y de las relaciones de los diferentes elementos entre sí y con el resto del cuerpo. La mayoría son palabras de uso normal pero que adquieren una significación especial al referirse a las descripciones de nuestro organismo.

Utilizamos los planos **sagital**, **frontal** y **horizontal**. El denominado **plano sagital** es cualquier plano vertical que pasando en sentido anteroposterior divide al cuerpo en dos zonas, una derecha y otra izquierda; es **sagital y medio** cuando lo hace en dos partes iguales; los demás paralelos, se denominan **parasagitales o paramedianos**. El **plano frontal** (paralelo a la frente) es también vertical pero perpendicular al sagital, por lo que separa una zona anterior y otra posterior de nuestro cuerpo. Por último el **plano horizontal** es transversal y limita una zona superior de otra inferior siendo también perpendicular a los otros dos mencionados. Todos estos

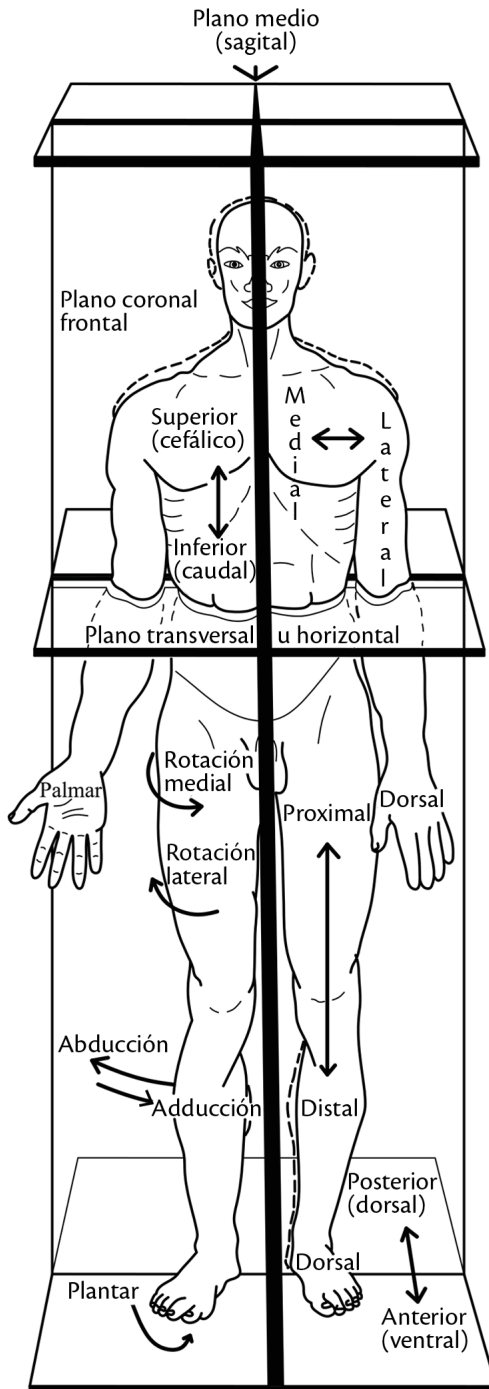


Fig. I.1. Esquema de una figura en posición anatómica y los diferentes ejes, planos y movimientos.

planos están referidos a la posición anatómica y a través de ellos pueden imaginarse secciones que llevan el nombre del plano y que ayudan a describir nuestro interior.

Se habla también de secciones longitudinales que siguen el eje mayor del cuerpo y pueden utilizarse al hacer referencia a otras posiciones diferentes a la anatómica. También pueden referirse a planos oblicuos.

Buscando siempre precisión en las descripciones se utilizan una serie de términos que relacionan unas zonas o elementos con otros como **superior, cefálico o craneal** (hacia la parte más alta, cráneo o cabeza); **inferior o caudal** (hacia la zona más baja o cola, haciendo referencia a la situación de la cola en el embrión). El término **anterior, frontal o ventral** se refiere a la parte más cercana a la superficie frontal o anterior del cuerpo; **ventral** es un adjetivo que, como otros, tiene origen en las descripciones embriológicas, ya que hace alusión a la situación anterior del vientre del embrión, puesto que en la descripción de éste no puede partirse de la posición anatómica. **Posterior o dorsal** es la zona más cercana a la superficie posterior o del dorso corporal. El término **medial o interno** se refiere a lo más cercano a la zona media del cuerpo, al contrario que **lateral o externo** que sería la más alejada. Se utilizan también **superficial**, para referirse a lo más próximo a la superficie corporal, y **profundo**, para indicar puntos más alejados de dicha superficie. Todos estos términos se utilizan de una manera flexible ya que pueden usarse con puntos de referencia diferentes, por ejemplo: en un órgano determinado, donde para describir la situación de sus diferentes partes o elementos se tomarán como base los planos referidos en particular al elemento de que se trate.

En la descripción de las miembros se usan además otras denominaciones como **proximal**, más cercano a la raíz del miembro o **distal**, más alejado; **palmar** relativo a la palma de la mano y **plantar** a la planta del pie. En la mano el término **dorsal** designa la zona contraria a la palmar, es decir, posterior, partiendo de la posición anatómica, mientras que en el pie el **dorso** se refiere a su parte superior; otra consecuencia de la influencia de la embriología, ya que esta zona del pie se encuentra en el embrión en la parte dorsal del esbozo del miembro, que luego gira hasta su posición definitiva.

Ya conocemos que el objetivo de la ciencia anatómica es el hombre vivo que adopta posturas, varía de posición y se mueve, por ello existen una serie de términos referidos a estas posibilidades de cambio.

Los movimientos se producen básicamente entre dos elementos unidos a nivel de una articulación y se efectúan alrededor de los ejes horizontal, vertical o anteroposterior. En general debemos pensar que alrededor de un eje se producen dos movimientos: uno y el contrario, que irán adquiriendo nombres específicos según la articulación de que se trate. Así, alrededor del eje **horizontal** se producen los movimientos de **flexión** en los que se acercan las dos zonas móviles, cerrándose en ángulo, y de **extensión** donde por el contrario la parte o partes móviles se separan; la extensión puede llamarse también **flexión dorsal**. Alrededor del eje **anteropos-**

terior se producen los movimientos de **abducción** (con la preposición latina **ab** que significa lejos de) o **separación** del eje medio del cuerpo, y **aducción** (con **ad**, cerca de) **aproximación**; y, finalmente, alrededor del eje vertical los movimientos de **rotación interna** y **externa**, según el giro se efectúe hacia el plano medio corporal o separándose de éste. Estos movimientos de rotación reciben en los miembros diferentes nombres; cuando brazo, antebrazo y mano giran de manera que la palma termina situándose hacia atrás, desde la posición anatómica, se llama movimiento de **pronación**. Por el contrario cuando el giro se hace, de forma que la mano se coloca con la palma hacia delante se efectúa un movimiento de **supinación**. En la extremidad inferior los músculos situados en la pierna llevan al pie a una posición de **eversión** cuando levantando su borde externo, la planta gira separándose de la superficie del suelo, o de **inversión**, que es el movimiento contrario, si el giro lleva la planta hacia la línea media, por elevación del borde interno.

Cuando se efectúan movimientos combinados de flexión, abducción y rotación, y sus opuestos, se produce la llamada **circunducción**, de manera que la parte móvil describe un círculo que es la base de su cono de desplazamiento. Este movimiento tan completo es típico de las articulaciones con mayor movilidad, como ya se estudiará en su momento.

Por último y antes de abordar el estudio de la Anatomía, debemos hacer unas consideraciones que a nuestro juicio son fundamentales, y que no tienen otro objetivo que llamar la atención del alumno sobre la importancia y valor de lo que va a estudiar: **el cuerpo del ser humano vivo**. Cada organismo es único, irrepetible, una verdadera obra maestra y como tal lo hemos de observar y tratar. Aunque la necesidad nos haga separarlo para entenderlo, lo consideraremos siempre en su **totalidad**, en su **conjunto**, pues así es como el hombre vive y actúa; de tal manera que un daño, por mínimo que sea, en cualquiera de sus zonas, repercutirá en la totalidad del organismo. Tomando como ejemplo el aparato locomotor, objeto de nuestro estudio, hoy sabemos que incluso una simple alteración de un tejido como es la fascia que envuelve a diferentes elementos en una parte de nuestro organismo, puede repercutir en cualquier zona, dada la continuidad funcional existente, incluso entre las envolturas.

Hay que observar y tener en cuenta que, tanto en la movilidad como en la quietud, **la función motora se efectúa de una forma impecable, armoniosa y efectiva a través de los nervios, bajo la dirección perfecta del sistema nervioso central y con un gasto mínimo de energía**.

Desgraciadamente, tendemos solo a observar esta armonía excepcional cuando algo falla o se lesiona y aparece una descoordinación, un temblor, una disminución de la potencia muscular, movimientos involuntarios o, simplemente, en la repercusión que tiene sobre el resto del organismo al sufrir una mínima fractura. Es tanta la coordinación entre la mente y nuestros movimientos, que ya sea al gesticular, al efectuar cualquier acción motora o incluso en las diferentes posiciones de inmovilidad,

cada individuo deja su impronta en aquellos, haciéndolos propios y característicos, transformándose así en otra forma de expresión o de lenguaje: **el lenguaje corporal**.

Por tanto, debemos aprender a valorar las numerosas posibilidades que nos brinda nuestro aparato locomotor, gracias a la **maravillosa coordinación** de músculos, articulaciones y nervios, y que nos permite mantenernos en pie, y efectuar movimientos que pueden llegar a conseguir una impresionante fuerza, una velocidad vertiginosa o una precisión inusitada.

Seamos conscientes de nuestra **capacidad**, pero no solo en los movimientos de virtuosismo, sino también en los más simples de nuestra vida cotidiana, reconociendo la perfección que es necesaria para conseguir la efectividad y coordinación que permiten mantenerse cómodamente en pie o en una determinada postura, o la facilidad al moverse o desplazarse, la exactitud al coger un objeto, adaptándose a su forma y a la distancia en que se encuentra, con una medición perfecta, la destreza al efectuar los finos movimientos que requiere la escritura, o la exactitud para pronunciar las palabras y modular el sonido, gracias a lo cual conseguimos algo tan preciado como es el lenguaje hablado etc.; actos que además somos capaces de efectuar automáticamente sin requerir una orden expresa.

Señalemos igualmente que, aunque a lo largo de su historia y desarrollo la ciencia anatómica siempre ha sido considerada como fundamental para los estudios de medicina, en la actualidad la aparición de las nuevas técnicas de imagen, gracias a las cuales el interior de nuestro organismo puede observarse con un detalle y precisión absoluta e inimaginable, el conocimiento de la Anatomía en todas sus facetas es más necesario y obligado que nunca.

EMBRIOLOGÍA
BÁSICA DEL APARATO
LOCOMOTOR



SUMARIO

- I. CONSIDERACIONES PRELIMINARES

- II. DESARROLLO DEL TRONCO Y EXTREMIDADES
 - A. DESARROLLO DEL TRONCO**
 - 1. *Desarrollo del esqueleto del tronco*
 - 2. *Desarrollo de la musculatura del tronco*
 - B. DESARROLLO DE LAS EXTREMIDADES**
 - 1. *Desarrollo del esqueleto de las extremidades*
 - 2. *Desarrollo de la musculatura apendicular*
 - C. DESARROLLO DE LA INERVACIÓN**
 - D. DESARROLLO DE LA VASCULARIZACIÓN**
 - 1. *Desarrollo de las arterias*
 - 2. *Desarrollo del drenaje venoso*
 - 3. *Desarrollo del drenaje linfático*

EMBRIOLOGÍA BÁSICA DEL APARATO LOCOMOTOR

SABEMOS que la Anatomía como ciencia, estudia la forma de nuestro organismo en las distintas etapas de su evolución a través de la vida; la Embriología como parte de ésta, analiza y describe la primera fase, es decir, la de su formación. Esta ciencia surge cuando el hombre, al observar y estudiar el cuerpo humano, quiso conocer el porqué de su forma, ahondar en su origen, siguiendo el camino por el que sus diferentes partes han llegado a su morfología definitiva en el adulto; por ello se llama también a la ciencia embriológica Biología del Desarrollo. Su estudio lleva consigo el conocimiento de las variaciones e incluso de las alteraciones, ocurridas en el período de formación del ser humano, que se traducen en la aparición de anomalías, variaciones o malformaciones, necesarias de comprender, pues forman parte de nuestra anatomía, tanto como la propia morfología, que estudiamos como tipo, en el organismo adulto. En un principio esta ciencia fue puramente descriptiva, pero en la actualidad con el desarrollo de otras materias como la genética y la bioquímica, ha podido seguirse la evolución del ser humano paso a paso, de manera exhaustiva, no sólo en sus diferentes etapas sino también en sus últimas causas.

En épocas anteriores la embriología se ha estudiado como necesaria introducción, en los diferentes capítulos de la materia anatómica, e incluso como asignatura independiente; por ello nos ha parecido oportuno introducir un apartado en el que, aunque de manera totalmente somera, se traten algunos conceptos embriológicos, que puedan servir de base para completar y aclarar ciertos aspectos de la morfología del aparato locomotor, objeto de nuestro estudio, intentando dar una idea del porqué de las formas definitivas de éste. Y por otra parte ayudar a comprender la aparición de sus variaciones y alteraciones en el desarrollo.

I. CONSIDERACIONES PRELIMINARES

El aparato locomotor está constituido por huesos, articulaciones y músculos que tienen el mismo origen desde el punto de vista embrionario, sin embargo, aunque su desarrollo siempre sea un proceso interrelacionado, sus diferentes elementos, en algunos casos, siguen caminos independientes; salvo algunas excepciones, proceden de la hoja mesodérmica, ya presente en la etapa de embrión trilaminar.

Recordemos que desde el momento de la fecundación del óvulo por el espermatozoide, las células procedentes de ese cigoto, comienzan a multiplicarse de una manera ordenada y según los patrones genéticos. Ese grupo celular pasa por diferentes fases ya conocidas (puesto que el alumno ya tiene noticias de embriología general), hasta llegar a la de blástula, en la que el cúmulo de células limita en su interior una cavidad doble; separando ambas vesículas queda un tabique constituido por dos láminas de células, que constituyen el **disco embrionario**: una capa celular, endodermo o hipoblasto, en contacto con la llamada cavidad vitelina y otra, el ectodermo o epiblasto, limitando la cavidad amniótica. Esta doble lamina celular del mencionado disco, constituye la fase de embrión **bilaminar**. Posteriormente, la capa de ectodermo produce una serie de células, que, al introducirse a través de un surco, llamado línea primitiva, situado en el extremo caudal, van penetrando hasta colocarse entre las capas ya existentes para formar una tercera lámina entre ambas, que recibe el nombre de capa **mesodérmica o mesoblasto intraembrionario**, de la que derivan, como ya hemos comentado, la mayoría de los órganos que constituyen el aparato locomotor (fig. E 1).

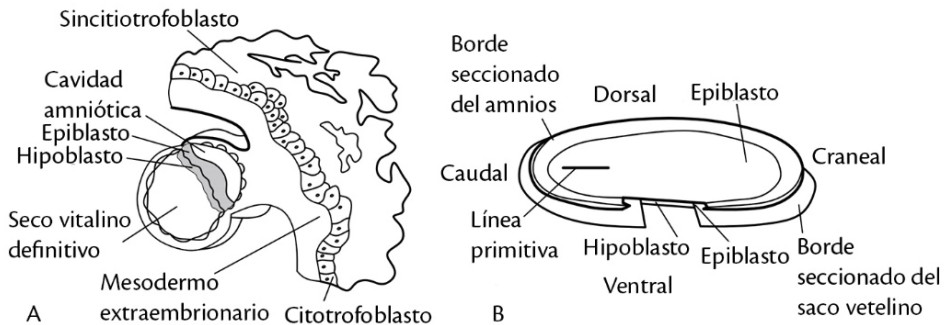


Fig. E.1. A. Embrión en la etapa bilaminar, anclado en la pared uterina, fase anterior a la de embrión trilaminar. B. Disco embrionario aislado, tras la sección del amnios.

En un embrión trilaminar, en el que están ya diferenciadas las **hojas endodérmica, mesodérmica y ectodérmica**, la capa intermedia comienza a engrosarse hasta constituir un cilindro central hueco, situado en la línea media embrionaria, que termina siendo macizo y que recorre casi todo el embrión; se trata de la **notocorda**, elemento organizador fundamental en el desarrollo, cuya formación acaba alrededor del vigésimo segundo al vigésimo cuarto día embrionario; se forma prácticamente de tejido mesodérmico, si bien el endodermo contribuye en cierto momento a su constitución. A ambos lados de ella el mesodermo restante se separa en dos bloques paralelos que constituyen el llamado **mesodermo paraxial**; situado lateralmente con relación a éste se encuentra el **mesodermo intermedio**, y externo a este último el **mesodermo lateral** (fig. E.2).

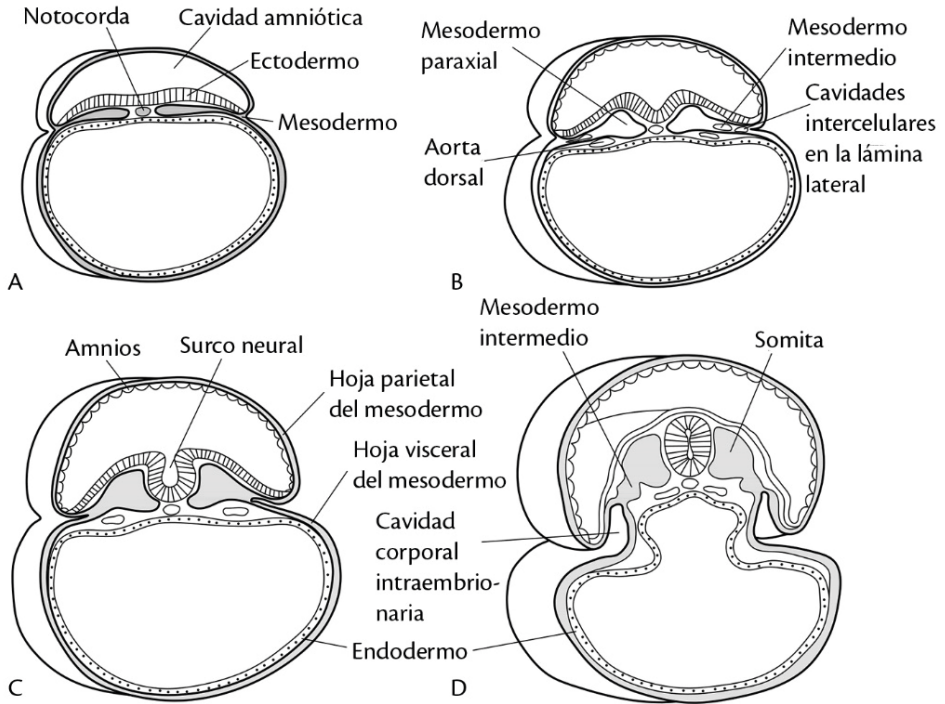


Fig. E.2. Cortes transversales en los que puede apreciarse el desarrollo de la hoja germinativa mesodérmica. A. Día 17. B. Día 18. C. Día 20. D. Día 21. La delgada hoja mesodérmica da origen al mesodermo paraxial (los futuros somitas), el mesodermo intermedio y la lámina del mesodermo lateral, que se separa en las hojas de mesodermo parietal y visceral que revisten la cavidad amniótica y vitelina embrionaria.

El mesodermo paraxial comienza a segmentarse, de manera regulada, bajo el control de factores de crecimiento (fibroblásticos y de la proteína *Wnt-3^a*), según se ha podido conocer experimentalmente en los mamíferos; estos segmentos mesodérmicos que primero se insinúan a lo largo de todo el embrión son **los somitámeros**, y luego se conforman en verdaderos bloques, pasando a ser **somitas o somitos**, cuya aparición sigue una determinada secuencia dependiendo de la zona en que se encuentren, con lo que comienza la disposición segmentaria de nuestro organismo (fig. E.3)¹.

1. Las ilustraciones de este capítulo han sido tomadas o modificadas de J. Langman; K.L Moor; T.V.N Persaud y B. M. Carlson.

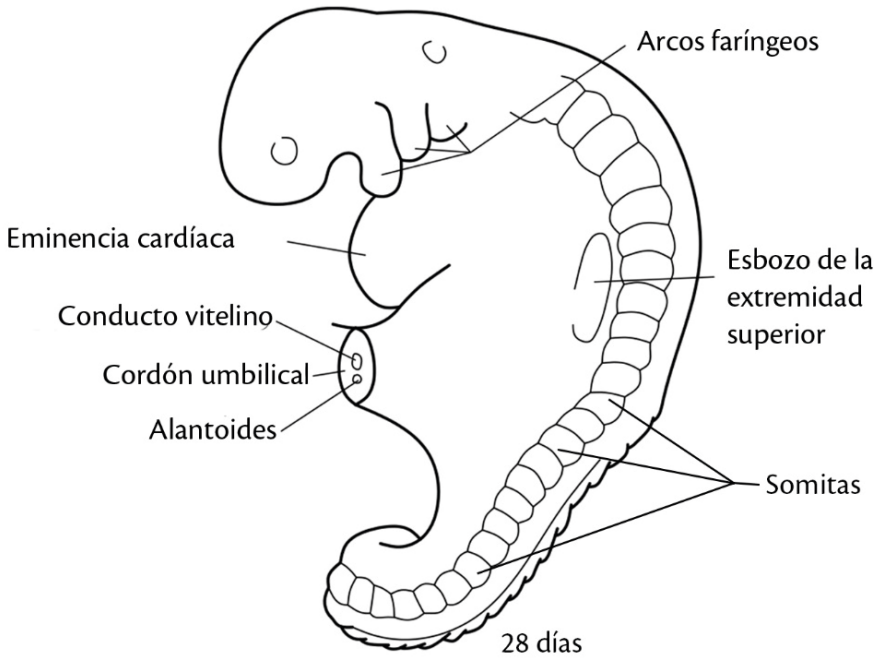


Fig. E.3. Lado izquierdo de un embrión de 25 somitas, alrededor de 28 días de edad. Se advierten los tres primeros arcos faríngeos y las placodas óticas y del cristalino.

Los somitas acompañan bilateralmente al tubo neural (procedente de la hoja ectodérmica, que de forma paralela se ha ido formando desde la zona cefálica hasta la caudal), y se desarrollan en progresión craneocaudal hasta el día treinta del desarrollo. Los bloques cefálicos occipitales aparecen los primeros, el resto a continuación, y serán cervicales, torácicos, etc., según la región en que se sitúen.

Cada uno de estos segmentos mesodérmicos va a formar *a posteriori* una cavidad en su interior para después diferenciarse en dos porciones: **esclerotomo**, en la zona ventromedial cercana a la notocorda y al tubo neural, y **dermatomiótomo**, en la parte más dorsal y lateral (figs. E.2 y E.4).

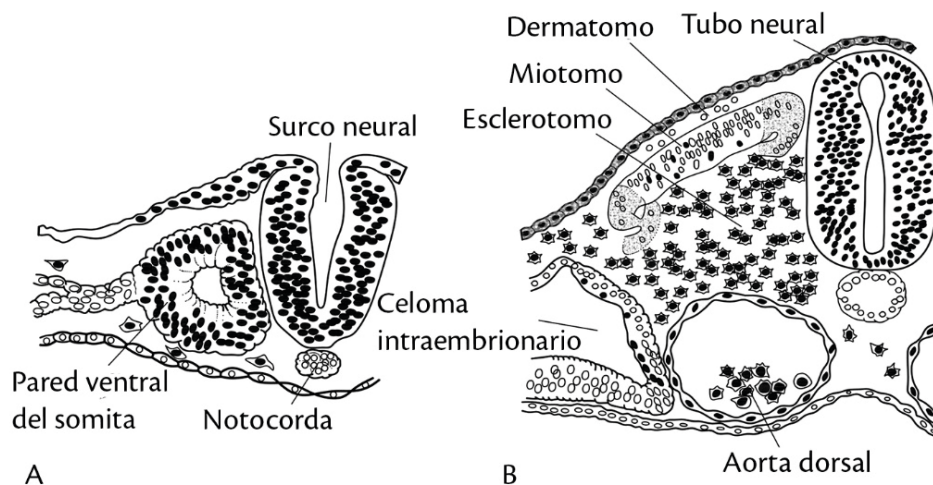


Fig. E.4. Sección horizontal de la zona dorsal de un embrión en fase somítica. A. Somita en fase de vesícula. B. Somita en fase de dermatomo, miotomo y esclerotomo.

II. DESARROLLO DEL TRONCO Y EXTREMIDADES

A. DESARROLLO DEL TRONCO

1. Desarrollo del esqueleto del tronco

Las células del esclerotomo rodearán por una parte a la notocorda englobándola, para formar el cuerpo vertebral y los discos intervertebrales, y por otra al tubo neural para constituir los arcos vertebrales; de manera que en conjunto conforman el conducto raquídeo donde se alberga la médula espinal, que simultáneamente se va constituyendo a partir del tubo neural de las diferentes zonas.

El esclerotomo, por tanto, dará lugar a la formación de las vértebras. Para ello, cada esclerotomo, como puede verse en la figura, se divide en dos mitades, una caudal y otra craneal, la mitad inferior se une a la superior del esclerotomo contiguo, por lo que cada vértebra se forma a partir de dos esclerotosmos; así los nervios que salen del esbozo medular a cada lado, desde el comienzo van a su somita correspondiente, no quedando englobados en las vértebras en formación, sino que pasan entre ellas hasta abordar al miotomo respectivo. En cuanto a los discos intervertebrales la zona central o núcleo pulposos —aunque durante mucho tiempo se ha creído que se forma a partir de la notocorda englobada— actualmente se ha podido observar cómo se constituye a partir de células de mesodermo cercanas, tras desaparecer los restos de notocorda; la porción periférica o anillo fibroso se desarrolla a partir del esclerotomo (figs. E.5 y E.6).

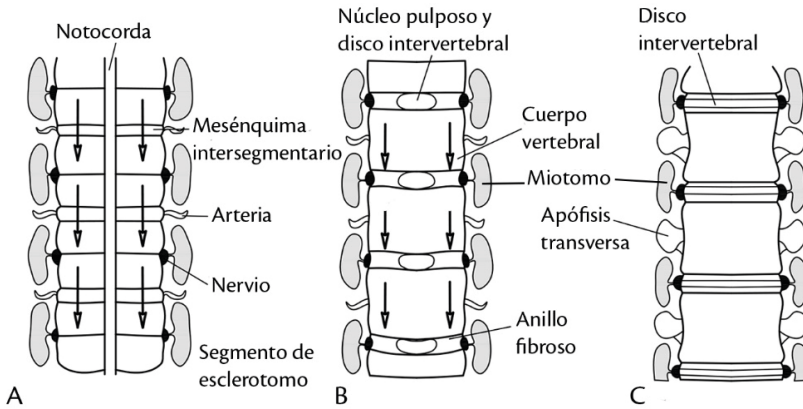


Fig. E.5. Formación de la columna vertebral en diversas etapas del desarrollo. **A.** En la cuarta semana, los segmentos de esclerotomo están separados por tejido intersegmentario menos compacto; con las arterias intersegmentarias a este nivel. Obsérvese la posición de los miotomos junto a los nervios segmentarios. La proliferación de la mitad caudal de un esclerotomo tiene lugar en el mesénquima intersegmentario y en la mitad craneal del esclerotomo subyacente (en la fig. A, B) (flechas). **B.** Se observa la aparición del disco intervertebral entre los cuerpos vertebrales en formación. **C.** Los cuerpos vertebrales se constituyen por las mitades superior e inferior de dos esclerotomos sucesivos y por el tejido intervertebral segmentario. Los miotomos, origen de los futuros músculos, se disponen a manera de puente sobre los discos intervertebrales y por lo tanto podrán luego mover la columna vertebral.

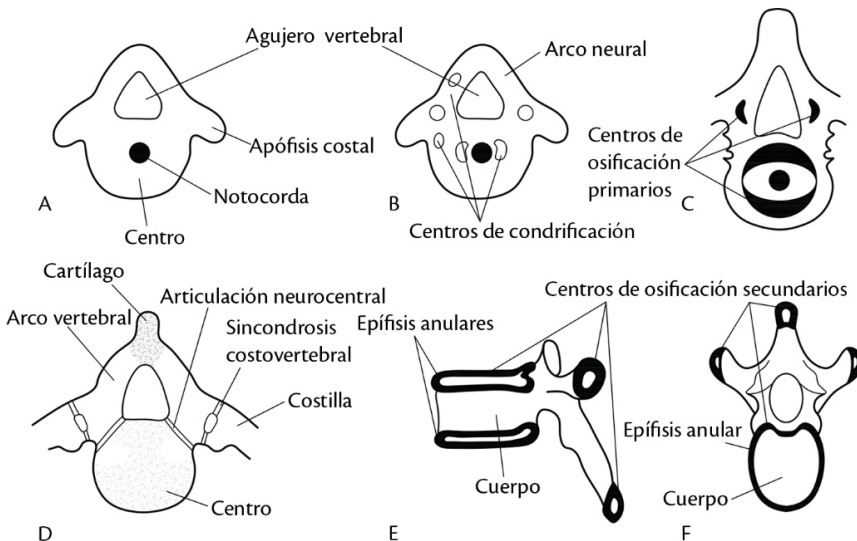


Fig. E.6. Etapas del desarrollo vertebral. **A.** Vértebra mesenquimatosa a las 5 semanas. **B.** Centros de condricación de una vértebra mesenquimatosa a las 6 semanas. El arco neural es el rudimento del arco vertebral. **C.** Centros de osificación primarios en una vértebra cartilaginosa a las 7 semanas. **D.** Vértebra torácica en el nacimiento formada por tres partes óseas. Obsérvese el cartilago entre las mitades del arco vertebral y entre el arco y el centro (articulación neurocentral). **E y F.** Dos imágenes de una vértebra torácica típica en la pubertad, que muestra la localización de los centros de osificación secundarios.

Del **proceso costal** de los esbozos de las vértebras dorsales en desarrollo se originarán **las costillas** y para algunos embriólogos, también el esternón en la parte anterior, si bien su formación seguirá un proceso más complicado. Las costillas se osifican luego por una **osificación endondral**, es decir, a través de un molde cartilaginoso que se transformará en hueso. Los **centros de osificación**, que aparecen cerca del ángulo de la costilla pueden observarse a la sexta semana del desarrollo; la costilla se termina de modelar a partir de centros de osificación secundaria con la cabeza y tubérculo costal. Los procesos costales en desarrollo en las regiones cervical y lumbar quedan como vestigios, formando parte de las vértebras correspondientes, mientras que en la zona sacra constituirán, al fusionarse, las aletas del sacro, y el resto del hueso a partir de la unión de las otras porciones de las vértebras sacras en formación. Los centros de osificación de los huesos, en general, aparecen en una edad determinada; basándose en ello los radiólogos, gracias a la ecografía, pueden evaluar la edad ósea y conocer si el crecimiento fetal se corresponde con la edad gestacional. Cuando falla el proceso se producen alteraciones a nivel del cuerpo o del arco vertebral con la correspondiente agenesia o malformación de las vértebras o costillas. En el apéndice final puede observarse la relación de las malformaciones vertebrales con las de la médula espinal.

2. *Desarrollo de la musculatura del tronco*

Como ya hemos indicado existe otra parte del somita, el **dermatomiotomo** que se dividirá en una zona dorsal, el **dermatomo** y otra anterolateral, el **miotomo**. El dermatomo contribuirá a la formación de la dermis, incluyendo el tejido adiposo y conjuntivo del cuello, espalda y región ventral y lateral de tronco, si bien el resto procede de otras zonas del tejido mesodérmico. El tejido del miotomo se diferencia en células miógenas y se divide en dos estructuras, una dorsal, el **epimero**, a **partir del cual se forman los músculos epiaxiales** o de los canales vertebrales, y **otra el hipomero** que dará lugar a la **musculatura hipoaxial**, de la pared lateral y anterior de tórax y abdomen. En la región cervical el hipomero originará la musculatura anterior y lateral del cuello, músculos hioideos y escalenos, y en la región lumbar al músculo cuadrado lumbar (fig. E.7).

En el extremo cefálico del embrión se formará el cráneo, cuyo desarrollo embriológico no abordaremos ahora, ya que su estudio en el adulto no forma parte de la materia de este libro.

Los somitos cefálicos darán lugar a la musculatura de los **arcos branquiales o faríngeos**, unos relieves separados por hendiduras, que aparecen alrededor de la cuarta semana en la región anterior del cuello del embrión, y que formarán los **músculos branquiales**, a partir de los mioblastos emigrados de los somitas occipitales y que más tarde señalaremos (fig. E.8).

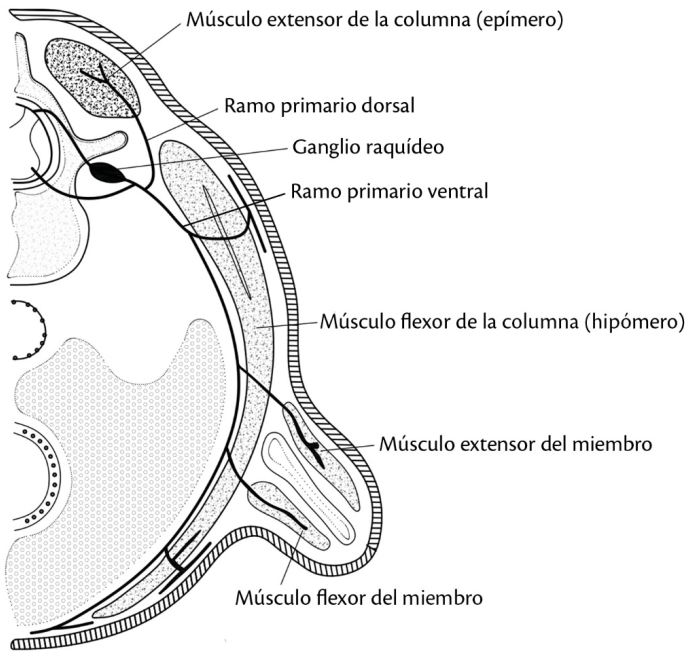


Fig. E.7. Corte transversal que pasa por la zona de origen del primordio de la extremidad. Se observan los componentes musculares dorsal (extensor) y ventral (flexor) del miembro.

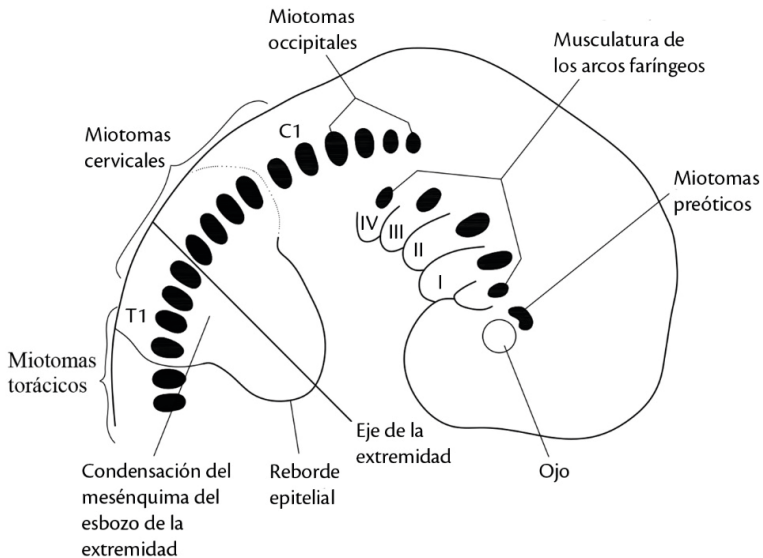


Fig. E.8. Miotomas de las regiones de la cabeza, el cuello y el tórax en un embrión de 7 semanas. Se aprecia la localización de los miotomas preóticos y occipitales, y la condensación del mesénquima en la base del esbozo de la extremidad.

B. DESARROLLO DE LAS EXTREMIDADES

Externo a los somitas, como ya indicamos, se sitúa el mesodermo intermedio y el lateral, siendo de esta última zona de donde va a derivar gran parte del aparato locomotor restante: los miembros. En efecto, aunque los mioblastos procedentes de los somitas parecen invadir los esbozos de las extremidades en desarrollo para dar lugar a la musculatura de los miembros, el esqueleto y las restantes formaciones de origen mesodérmico, como las fascias, derivan del propio mesodermo apendicular procedente del mesodermo lateral; exactamente de una parte de él que tapiza las cavidades embrionarias (**la somatopleura**), y en la actualidad parece que, tras experiencias con células marcadas, se ha llegado a la conclusión de que los tendones y fascias de los músculos de las paredes, también derivan del mesodermo somatopleural.

En la cuarta semana del desarrollo, alrededor del día veinticuatro, aparecen a ambos lados del cuerpo del embrión unas prominencias a una altura que viene a corresponder con los segmentos C5 y C8. Estos relieves van aumentando de tamaño, de manera que al final de la cuarta semana forman unas crestas orientadas paralelamente al eje del embrión, son **los esbozos de las extremidades superiores**. Alrededor de cuatro días más tarde ocurre este mismo proceso, en los niveles correspondientes a los segmentos L3 y L5, son **los esbozos de las extremidades inferiores**, cuyo desarrollo lleva siempre un cierto retraso en relación al de las superiores (fig. E.9).

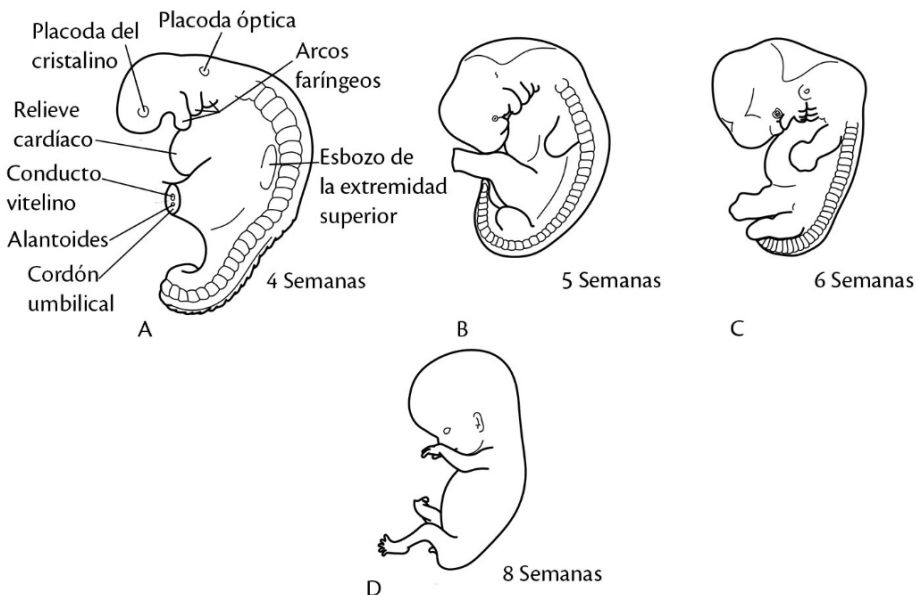


Fig. E.9. Cuatro estadios en los que se puede observar la secuencia de aparición de los miembros.

Cada esbozo está formado por un núcleo central de mesodermo cubierto por una capa ectodérmica. A lo largo del borde distal del esbozo, dicho ectodermo aumenta de grosor, constituyendo la llamada **cresta ectodérmica apical** (C.E.A.). La aparición de dichos esbozos se debe a la inducción de los somitas sobre el mesodermo lateral, pero es la cresta apical la que tiene una función primordial en el crecimiento de la extremidad. Experimentalmente se ha podido observar cómo la extirpación quirúrgica de la C.E.A. conlleva la detención del crecimiento de la porción distal del miembro (fig. E.10).

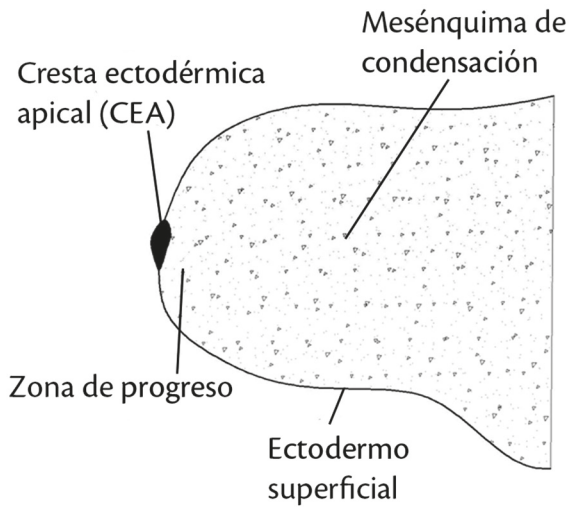


Fig. E.10. Cresta apical de un esbozo de miembro.

En el día treinta y tres del desarrollo pueden ya verse las placas de las manos en el extremo de los esbozos de los miembros superiores, mientras los de los inferiores comienzan a alargarse; **al final de la sexta semana** se distinguen varios segmentos en **ambas extremidades**; el tejido mesodérmico se va condensando en las zonas de las manos y engrosándose en su parte distal, hasta formar la llamada **placa digital al final de esta semana**, y en las **zonas podálicas** para formar el futuro pie **al final de la séptima**. En dicha placa digital aparecen, unos engrosamientos radiales, **los radios digitales**, en cuyo vértice, la cresta apical induce sobre el mesénquima la formación del esqueleto de las falanges. Un proceso de **apoptosis** o muerte celular programada, separa un radio de otro, consiguiéndose así la separación de los dedos o espacios interdigitales. Al final de la octava semana se diferencian ya los distintos componentes de los miembros superiores e inferiores. La alteración de esta zona o de las circundantes dará lugar a la agenesia o falta de alguna porción del miembro, y si ésta ocurre en el desarrollo de los radios digitales o de la apoptosis, el proceso

de separación digital fallará dando lugar a malformaciones como la mano en pinza, sindactilia, polidactilia, etc.²

1. Desarrollo del esqueleto de las extremidades

Se desarrolla como ya hemos mencionado a **partir de condensaciones** del **mesodermo** de los esbozos, que suelen aparecer en la quinta semana a lo largo del eje mayor de la extremidad; en la sexta ya se forman, de dichas condensaciones de mesénquima, los moldes cartilagosos de los huesos, típicos de la osificación encondral, para comenzar el proceso de sustitución por el tejido óseo definitivo a partir de la octava semana. Como podría estudiarse en el capítulo de generalidades. Al final del periodo embrionario todos los huesos se encuentran en fase cartilaginosa habiendo iniciado su osificación encondral.

2. Desarrollo de la musculatura apendicular

Va constituyéndose al mismo tiempo que lo hacen los huesos, pues a medida que se forman éstos, los mioblastos procedentes de los miotomos correspondientes dan lugar a unos aglomerados anteriores y posteriores que serán, más tarde, la futura musculatura dorsal y ventral. El origen de estos mioblastos está en discusión pues mientras para unos investigadores proceden del mesodermo somítico, para otros es el mesodermo lateral contenido en los esbozos, el origen de la musculatura, como ya comentábamos.

La masa muscular dorsal forma en general los extensores y supinadores de la extremidad superior y los extensores y abductores de la inferior, mientras que la masa muscular ventral dará origen a los flexores y pronadores de la extremidad superior, y los flexores y aductores de la inferior. Aunque esa regla no se cumple de manera absoluta, pues muchos de los músculos emigran de su lugar de origen para cumplir funciones diferentes.

Al principio de la séptima semana los miembros se extienden de manera ventral es decir hacia delante; más tarde tanto los superiores como los inferiores giran en direcciones opuestas en diferentes grados; en su comienzo la cara flexora es la ventral mientras que la extensora es la dorsal. Posteriormente los miembros superiores giran lateralmente 90° sobre su eje longitudinal, por lo que los futuros codos se mueven

2. Se sabe que en el crecimiento y conformación esquelética intervienen una serie de genes del grupo *hoxd*. Como ejemplo indicaremos que en el hombre se expresan cuatro grupos de genes en una secuencia de 3 a 5 a lo largo del ADN de sus cuatro cromosomas respectivos; en último término es posible relacionar la formación de cada uno de los segmentos de los miembros con la expresión de esos genes.

hacia atrás o hacia la espalda, quedando los músculos extensores en la región posterior; mientras los miembros inferiores giran hacia la línea media otros 90° y como consecuencia las futuras rodillas se dirigen hacia delante y los músculos extensores quedan situados en la región anterior (fig. E.11).

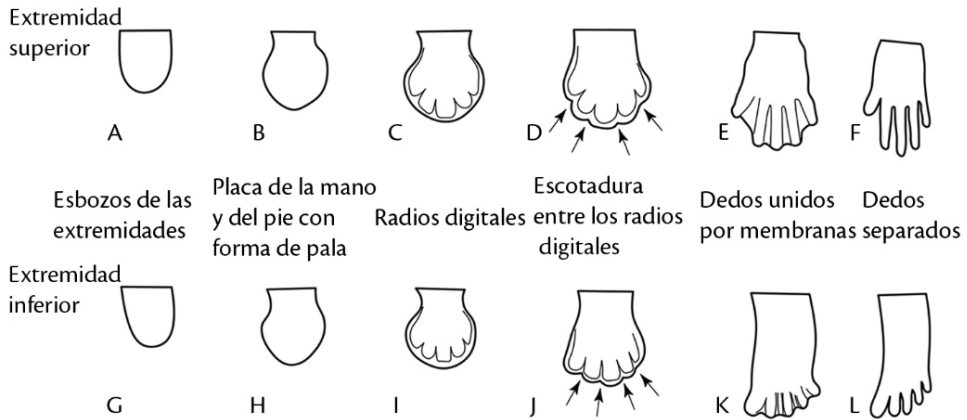


Fig. E.11. Ilustraciones del desarrollo de las manos y pies entre la cuarta y octava semana. Las etapas iniciales de desarrollo de las extremidades son similares, excepto en que la mano va uno o dos días por delante del pie. A. A los 27 días. B. A los 32 días. C. A los 41 días. D. A los 46 días. E. A los 50 días. F. A los 52 días. G. A los 28 días. H. A los 36 días. I. A los 46 días. J. A los 49 días. K. A los 52 días. L. A los 56 días. Las flechas en D y J indican los procesos de degradación del tejido que separan los dedos de la mano y el pie.

Como en el caso de los huesos y de los músculos, **el desarrollo de las articulaciones**, se estudiará con más profundidad tras las características generales, en su capítulo correspondiente. En general puede decirse que **aparecen como evolución del tejido conjuntivo situado entre los esbozos de los huesos**. Las más completas, las sinoviales, se comienzan a formar al inicio del periodo fetal, cuando el embrión tiene más de treinta milímetros (fig. E.12).

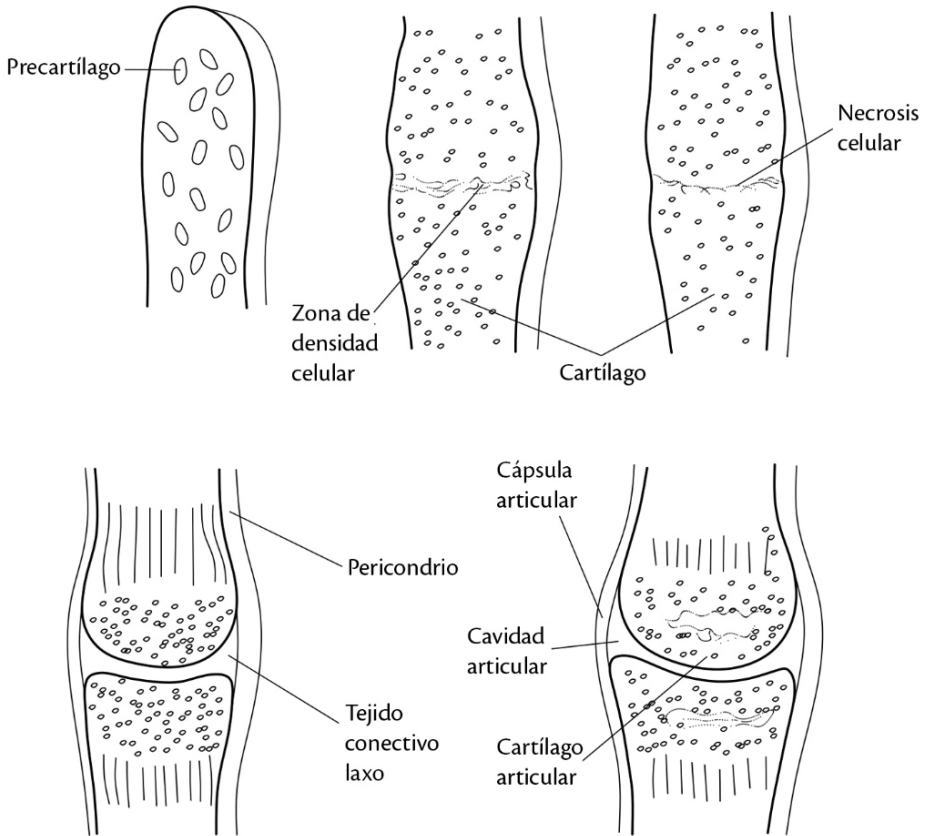


Fig. E.12. Secuencia de la formación de las articulaciones de las extremidades.

C. DESARROLLO DE LA INERVACIÓN

Durante la quinta semana crecen los **nervios periféricos**. Al salir de la médula se dirigen a su somita correspondiente, dividiéndose en dos ramas primarias, **una dorsal y otra ventral**; pero el camino no es fácil, los conos de los axones de esos nervios al avanzar por el mesénquima evitan en su crecimiento el tejido de consistencia más densa o el que contiene glucosaminoglicanos que lo dificultan; de esta manera su camino está dirigido a lo largo de "**vías permitidas**". Los axones motores cuando llegan a la raíz del miembro se entremezclan dando lugar a los **futuros plexos**. Cuando las fibras motoras encuentran al músculo para el que están destinadas, las fibras sensitivas se ponen en contacto con las terminaciones sensoriales de la zona correspondiente. La rama ventral inervará a los músculos de los miembros, mientras que la dorsal terminará en los de la masa muscular posterior que se situará en los canales vertebrales (fig. E.13).

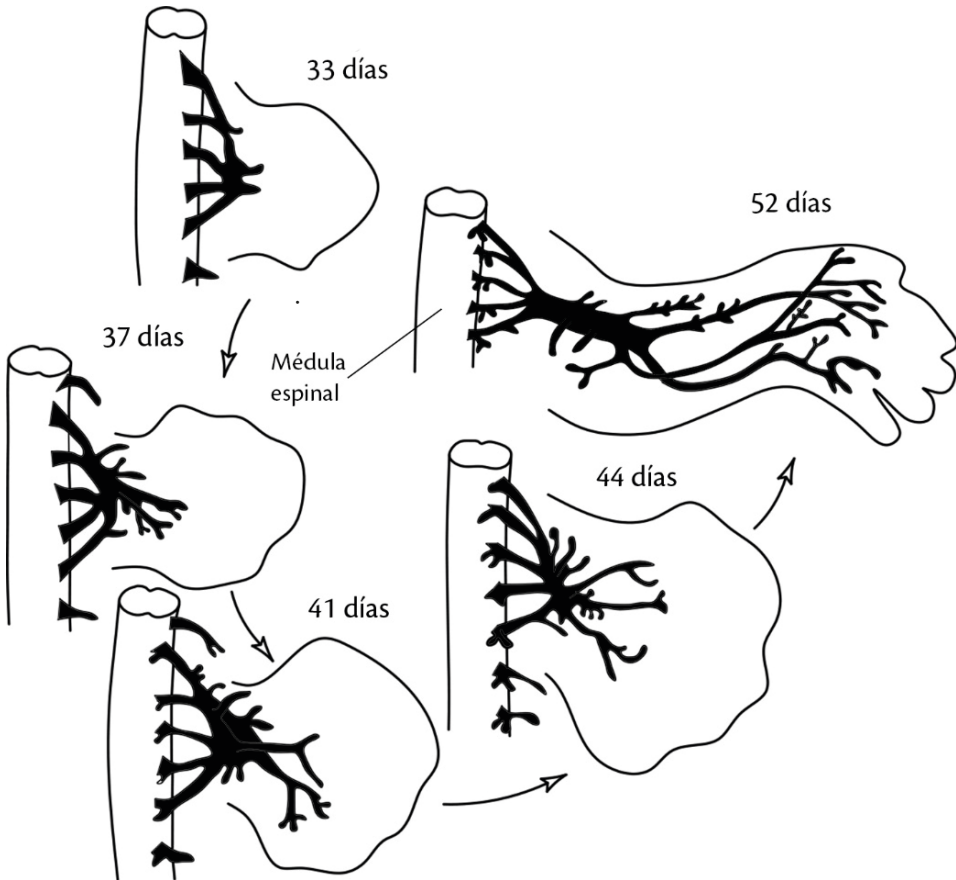


Fig. E.13. Desarrollo del patrón de la inervación de la extremidad superior humana.

Al mismo tiempo, esos nervios periféricos llevan fibras procedentes de la zona llamada **dermatomo o área de piel inervada por cada nervio raquídeo**. Al principio los nervios sensitivos se distribuyen en bandas segmentarias, que en los lugares de emergencia de las extremidades se alargan al crecer el miembro, pero **debido a los cambios de posición**, las zonas de inervación de cada rama se imbrican, por lo que la pérdida de función de un nervio sólo significa una disminución ligera de la sensibilidad de esa zona (fig. E.14).

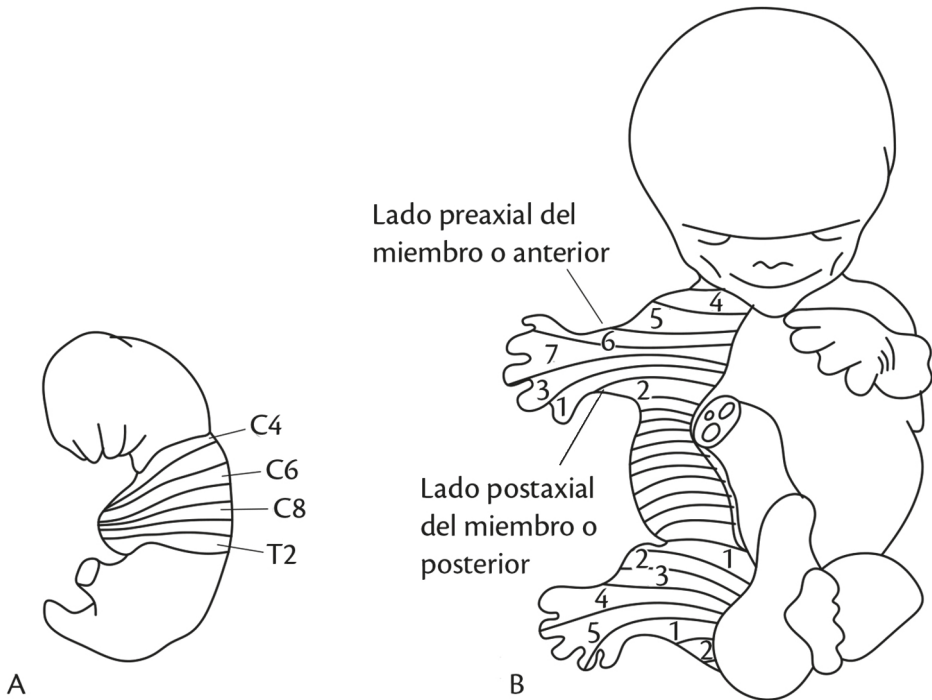


Fig. E.14. Esbozos de las extremidades indicando sus segmentos de origen y el patrón de dermatomas. A medida que avanza el desarrollo el patrón segmentado desaparece, sin embargo, aún en el adulto es posible reconocer una secuencia ordenada del patrón de dermatomas. A. Esbozo de los dermatomas de la extremidad superior. B. Esbozo de la extremidad superior a las 6 semanas.

D. DESARROLLO DE LA VASCULARIZACIÓN

1. Desarrollo de las arterias

La irrigación del tronco se hace por las **arterias intersegmentarias dorsales**, procedentes de las **aortas dorsales embrionarias**, una a cada lado, y que se acompañan de **venas intersegmentarias** que drenarán en las **venas cardinales** correspondientes (figs. E.15 y E. 17).

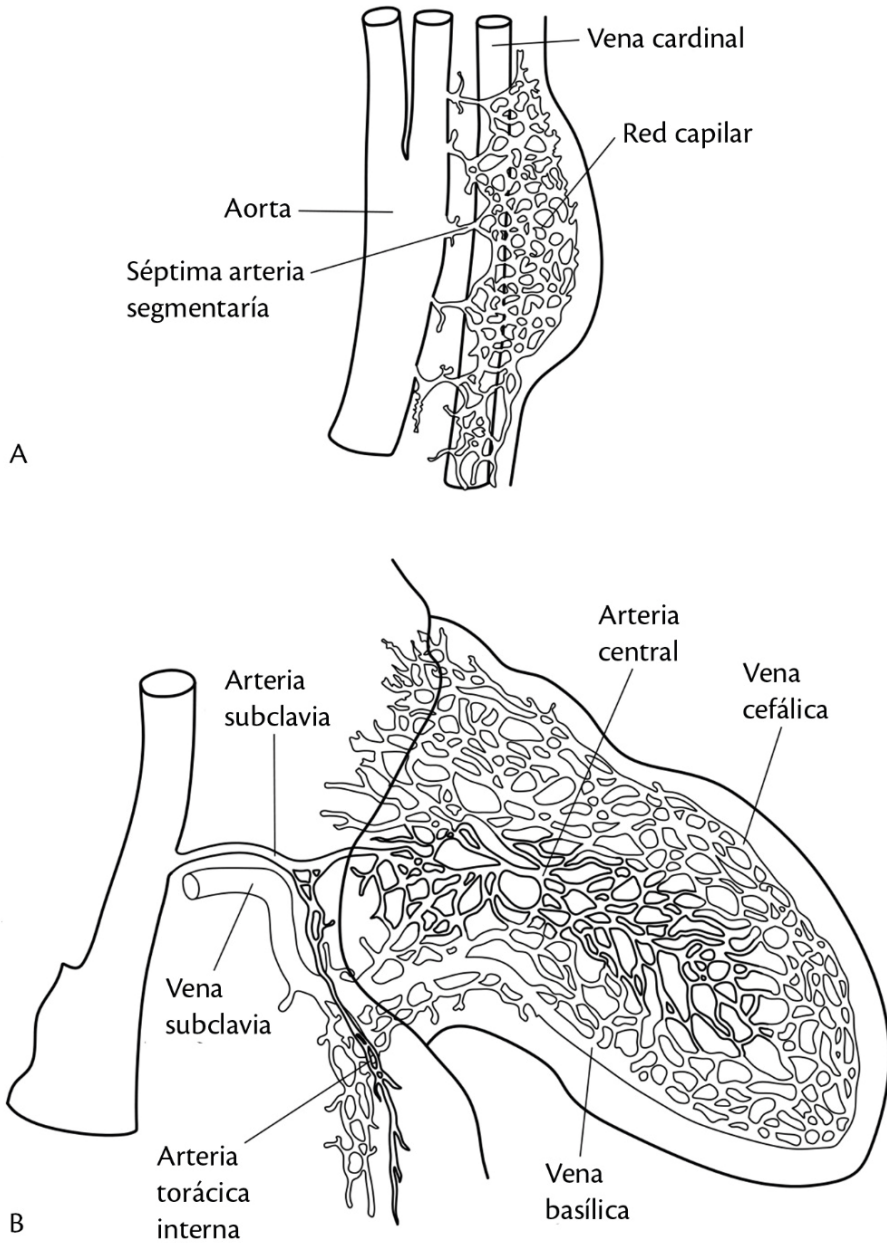


Fig. E.15. Primera etapa del desarrollo del patrón vascular en la yema de la extremidad de los mamíferos. **A.** Equivalente al embrión humano de 4 semanas de edad. **B.** Equivalente al embrión humano de 6 semanas de edad. El territorio arterial se señala más oscuro.

La irrigación de los miembros superiores se hace a partir de **las siete arterias segmentarias superiores de cada lado**, procedentes de las aortas dorsales derecha e izquierda del embrión (fig. E.17); estos vasos abordan los esbozos uniéndose en uno que sigue el eje, llamado por ello **arteria axial**, de la cual van a derivar todas las arterias de los miembros superiores y que ya se ve formada a los treinta días del desarrollo. El tronco de la arteria axial primitiva será más tarde la **arteria braquial** y posteriormente dará lugar a la **subclavia definitiva** (fig. E.16).

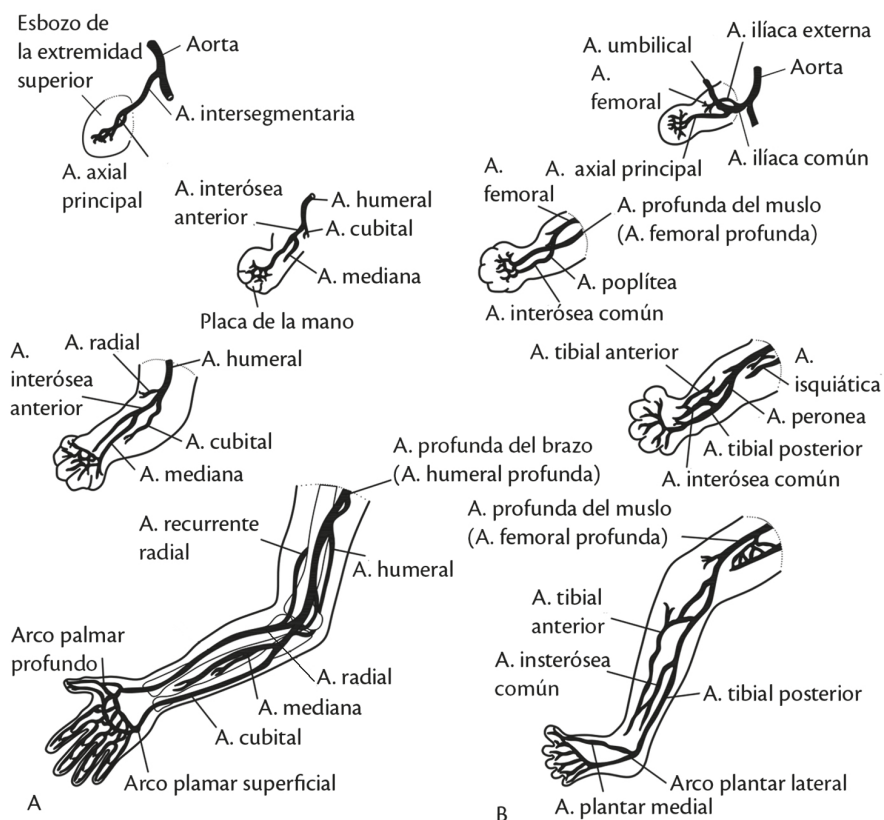


Fig. E.16. Desarrollo de las arterias de las extremidades. Esbozo del sistema vascular primitivo en un embrión a partir de la 4.ª semana. **A.** Desarrollo de las arterias en la extremidad superior. **B.** Desarrollo de las arterias en la extremidad inferior.

Las arterias de los miembros inferiores son las axiales inferiores llamadas luego arterias isquiáticas; se **forman a partir** de las **quintas arterias intersegmentarias lumbares** —las futuras arterias ilíacas del adulto— que reciben conexiones de otros vasos como las arterias umbilicales, dando lugar luego a las arterias femorales y sus diferentes ramas en un intrincado proceso.

2. Desarrollo del drenaje venoso

Siempre complicado en el embrión, se efectúa hacia las ramas de las llamadas **venas cardinales** formadas a partir de la red venosa que recoge la sangre de la porción distal del cuerpo embrionario (fig. E.17).

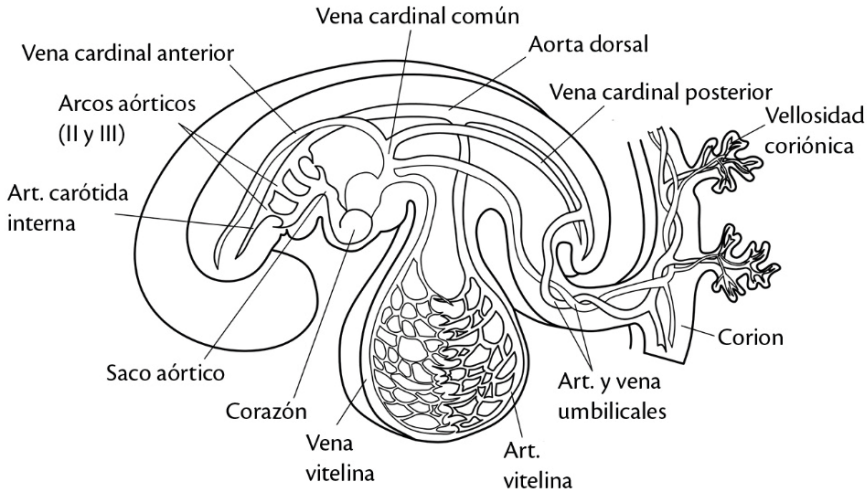


Fig. E.17. Principales arterias y venas intra y extraembrionarias en un embrión de 4 mm (al final de la cuarta semana). Sólo se han representado los vasos del lado izquierdo del embrión.

3. Desarrollo del drenaje linfático

La red linfática se forma de manera similar a la venosa y conecta con ella, puesto que el líquido linfático termina uniéndose a la sangre venosa, como ya es sabido. Puede observarse en la imagen (fig. E.18) la red de vasos linfáticos embrionarios que termina en un reservorio común, el saco linfático retroperitoneal, del que parten dos conductos torácicos, derecho e izquierdo, que ascienden buscando los grandes troncos venosos.

Los linfáticos de los esbozos de los miembros superiores drenan en **los esbozos de los conductos torácicos derecho e izquierdo** del embrión respectivamente, como también lo hacen los linfáticos del tronco. Los vasos de lo que será cada miembro inferior drenan en el **saco linfático ilíaco** del lado correspondiente. De ellos parte una red que termina en el saco linfático retroperitoneal; de este reservorio salen dos vasos, los conductos torácicos derecho e izquierdo, que más tarde se anastomosarán para formar un vaso único el conducto linfático definitivo, a partir preferentemente del derecho, que drena en el tronco venoso braquiocefálico del mismo lado;

éste prácticamente recoge la linfa de todo el cuerpo, excepto de la parte superior izquierda. El resto del conducto linfático izquierdo formará la gran vena linfática que recoge la linfa de la zona superior izquierda, antes mencionada, y desembocará en el confluente venoso yugulosubclavio izquierdo (fig. E.18).

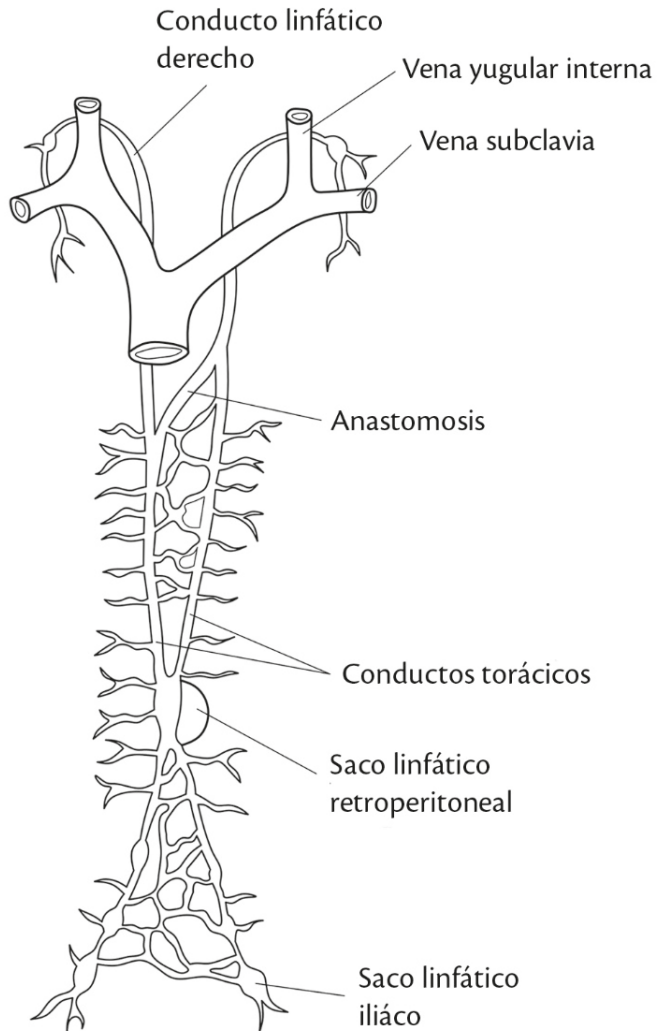


Fig. E. 18. Desarrollo del sistema linfático.

APÉNDICE A LA FORMACIÓN DE LA VÉRTEBRA Y SU RELACIÓN CON EL SISTEMA NERVIOSO

Nos detenemos en este tipo de malformaciones por su importancia, al afectar también al sistema nervioso (fig. E.19).

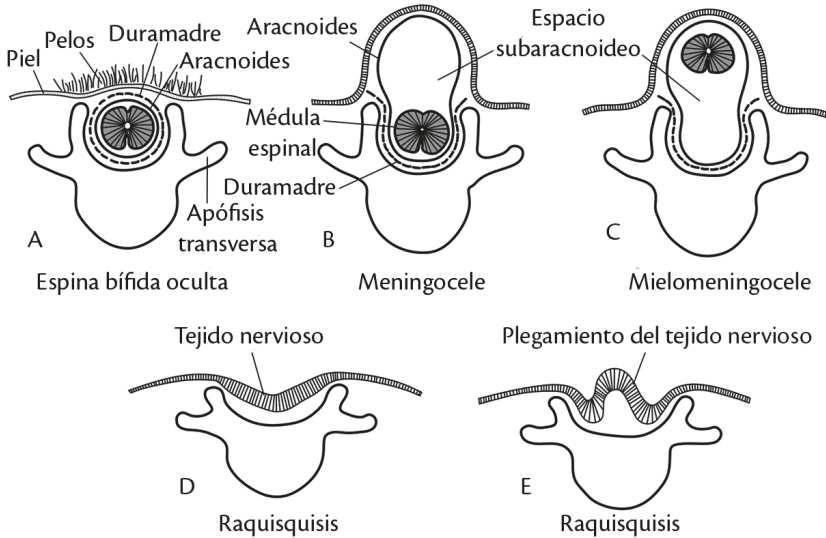


Fig. E. 19. Representación de distintas anomalías del conducto raquídeo tubo neural que afectan a la médula espinal.

El término espina bífida se aplica a todos los defectos en los que el arco óseo de una o más vértebras no se ha fusionado en el sector dorsal. En algunos casos (A), la anomalía ósea está cubierta por piel, espina bífida oculta, pero la médula espinal y sus cubiertas meníngeas se hallan indemnes. Esta anomalía a menudo es detectable ya que un mechón de pelo oscuro crece sobre el área afectada. En los casos de meningocele (B), solamente hace protrusión un saco de meninges lleno de líquido a nivel de la alteración, mientras que en el mielomeningocele también hay tejido nervioso en el saco (C). La raquisquisis designa a las malformaciones del tubo neural en las que éste no se cierra y da origen a una espina bífida y a la exposición del tejido nervioso que frecuentemente experimenta necrosis (D, E). Se puede producir raquisquisis en la médula espinal o en las regiones craneales del tubo neural y éstas son las malformaciones más graves; en la médula espinal, se las denomina espina bífida quística. Los defectos de la médula espinal asientan sobre todo en la región lumbar.